

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»

На правах рукописи

Степанова Ольга Владимировна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И ДЕЙСТВИЯ ЙОДА
В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ
ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

03.02.08 – экология (биология)

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
А.В. Синдирева

Омск - 2018

Оглавление

Введение.....	4
1.Йод в системе почва-растение-животное-человек (обзор литературы).....	11
1.1. Микроэлементы в системе почва-растение-животное-человек.....	11
1.2. Йод в объектах окружающей среды	13
1.3. Йод в почве	17
1.4. Содержание и биологическая роль йода в растениях.....	23
1.5. Йод в организме человека и животных	32
1.6. Решение проблемы йододефицита	35
1.7 Обогащение микроэлементами зерновых культур	43
2. Объекты, условия и методика проведения исследований.....	47
2.1. Характеристика объектов исследования.....	47
2.1.1. Характеристика почвы опытного участка.....	47
2.1.2. Зерновые культуры, используемые в исследованиях.....	51
2.2. Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований.....	54
2. 3. Методика проводимых исследований.....	62
3. Микробиологическая активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы в условиях применения йода.....	69
3.1. Содержание йода в лугово-черноземной почве.....	69
3.2. Численность микроорганизмов в лугово-черноземной почве в условиях применения йода.....	71
3.3. Влияние йодсодержащих удобрений на ферментативную активность лугово-черноземной почвы.....	88
3.4. Влияние йодсодержащих удобрений на фитотоксичность почвы.....	94
4. Влияние соединений йода на начальные показатели роста и	

развития зерновых культур.....	97
4.1. Влияние на всхожесть и начальные показатели роста зерновых культур	97
4.2. Влияние йода на рост и развитие зерновых культур.....	104
5. Влияние различных доз и способов применения йода на урожайность качества яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева	119
5.1. Влияние йодсодержащих соединений на биометрические показатели яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева.....	119
5.2. Урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях применения йода.....	127
5.3.Химический состав зерна в условиях применения йода.....	133
5.3.1. Содержание йода в зерне и соломе пшеницы.....	133
5.3.2. Отношения между макроэлементами и йодом в зерне пшеницы...	137
5.3.3. Содержание и соотношение микроэлементов в условиях применения йода.....	142
5.4. Показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы.....	154
5.5. Физиолого-химическая характеристика потребности в йоде яровой мягкой пшеницы.....	158
6. Эколого-системный подход к оценке действия применения йода при обогащении зерновых культур.....	163
Заключение	178
Список литературы.....	180
Приложения.....	206

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных экологических проблем является проблема микроэлементов - патологических состояний, вызванных дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов, которая на сегодняшний день стоит остро и недостаточно освещена. Существует большое количество заболеваний, связанных с дефицитом различных микроэлементов в окружающей среде. Прогрессирующий дефицит микроэлементов в пище человека является причиной нескольких десятков заболеваний, что явно выражено в регионах с неблагоприятной экологической обстановкой. В связи с этим весьма важным является потребление в повседневном рационе продуктов растительного происхождения, обогащенных этими микроэлементами. Поэтому становятся актуальными исследования, направленные на определение содержания и накопления микроэлементов в растениях, в зависимости от сортовой специфики и условий выращивания, а также на разработку приемов оптимизации их содержания. Проблема дефицита йода, признана такими международными организациями, как ООН, ВОЗ, мировой проблемой, проявляющейся все острее с возрастанием техногенного воздействия на человека и окружающую среду (Delange F. с соавт., 1998, Деланж Ф., 2003). От количества поступающего ежесуточно йода в организм человека зависит успешная работа органов эндокринной системы, которая отвечает за внешность, самочувствие, настроение, интеллект, темперамент, половое созревание. При недостатке йода наблюдаются нарушения в обмене веществ, ослабляется сердечная деятельность, понижается артериальное давление, возникает общая слабость (Валдина Е.А., 1993). Учёные Всемирной организации здравоохранения пришли к выводу, что коэффициент интеллекта IQ напрямую зависит от содержания йода в организме.

Омская область является дефицитной по содержанию йода в почве, кормах, организмах человека и животных (Савченков М.Ф., 2002, Ильин В.

Б., 2007, Сысо А.И., 2008, 2016, Конарбаева Г.А., 2012, Вильмс Е.А., 2015, Турчанинов Д.В., 2013).

Одним из перспективных мероприятий по увеличению содержания йода в продуктах питания является агрохимический метод, т.е. обогащение растений, составляющих кормовую базу животных и человека, путем применения удобрений, содержащих йод, позволяющий не только перевести их в безопасную и доступную для животных органическую форму, но и улучшить урожайность и качество растениеводческой продукции. В результате проведения исследований, выявлено, что путем применения йодсодержащих соединений можно регулировать содержание йода в растениеводческой продукции в необходимых концентрациях (Кашин В.К., 1987).

На основании многолетних данных ряда исследователей было установлено, что применение йода в почве в качестве микроудобрения для сельскохозяйственных культур, выращиваемых на почвах, обедненных этим элементом, оказывает не только положительное влияние на их рост и развитие, но и необходимо им (Кашин В.К., 1995, Каббата-Пендиас, А., 1989). В то же время обнаружено отрицательное влияние избыточных концентраций йода на растения (Кашин В.К., 1987). Тема обогащения сельскохозяйственных культур микроудобрениями, содержащими йод, мало изучена в России, в том числе и в Западной Сибири. Пределы содержания микроэлементов в живых организмах имеют узкую грань между токсичностью и необходимостью. При этом с целью оптимизации питания растений микроэлементами возникает необходимость определения оптимальных и критических концентраций в объектах окружающей среды в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Также представляется необходимой разработка нормативных показателей действия йода в системе почва-растение в определенных экологических условиях.

Степень разработанности темы. Большое количество исследований посвящено изучению содержания йода в почвах (Конарбаева Г.А., 2003, 2004, 2011, 2012, 2014, 2016; Сысо А.И., 2008, 2016, Гилязова И.Б., 2017, Дибирова А.П, 2005, 2009, Мальгин М.А., 2001, Синдирева А.В., 2016), в растениях (Кашин В.К., 1984, 1987, 2008; Ковальский В.В., 1972, 1974, 1982; Мальгин М.А., 2001, Конарбаева Г.А., 2006, Гаджимусиева Н.Т., 2016, 2017). Изучались способы внесения и дозы йода, применяемые в качестве микроудобрения для различных овощных и зерновых культур и ягод (Smolen S., 2011, 2012; Caffagni A., 2011, 2012; Lawson, P.G., 2015, Chun-Lai Hong, 2008, Medrano-Macias, 2016, Равашдех X., 2005, Яковлева Е.А., 2015, 2016, Голубкина Н.А., 2015, Шеуджен А.Х., 2015, 2016).

Остается не разработанным вопрос о нормировании содержания и действия йода на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири, влияние его на показатели роста и развития зерновых культур, урожайность и качество зерна. Не изучено взаимовлияние ионов йода и макро- и микроэлементов, а также накопление йода в растениях зерновых культур.

Цель исследования – экологическая оценка действия йода в системе почва-растение в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Задачи исследований:

- оценить влияние иодида калия на содержание йода и микробиологическую активность лугово-черноземной почвы;
- определить действие различных концентраций йода на лабораторную всхожесть семян, урожайность и качество зерна зерновых культур;
- выявить наиболее отзывчивую на использование йода в качестве микроудобрения зерновую культуру;
- установить экологические количественные характеристики содержания йода в растениях;
- изучить антагонизм и синергизм ионов макро- и микроэлементов при поступлении йода в растения;

- определить оптимальные и критические уровни содержания йода в системе почва-растение.

Научная новизна. Впервые в условиях южной лесостепи Омской области определено влияние йода на его содержание в лугово-черноземной почве, ее фитотоксичность и микробиологическую активность. Данная экологическая оценка содержания йода в почве и растениях зерновых культур с учетом агрономических, санитарно-гигиенических аспектов.

Определены оптимальные уровни микроэлемента при применении его в качестве микроудобрения. Изучен антагонизм и синергизм ионов макро- и микроэлементов при поступлении в растение яровой мягкой пшеницы и их оптимальное соотношение.

Теоретическая и практическая значимость работы. Данные, полученные в диссертационном исследовании, позволили экспериментально обосновать роль йодсодержащих соединений в формировании урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке практических рекомендаций по возделыванию сельскохозяйственных культур в условиях йододефицита. Установленные закономерности необходимы для разработки мероприятий по обогащению зерновых культур йодом. Обоснованы наиболее эффективные способы применения удобрений при выращивании яровой пшеницы. Установлено накопление йода в почве при внесении различных доз микроэлемента, влияние его на микробиологическую и ферментативную активность почвы и на фитотоксичность. На основе комплексного подхода предложены нормативные показатели содержания и действия микроэлемента в системе почва-растение с учетом экологических условий региона.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Йод в дозах 1–21 кг/га положительно влияет на микробиологическую активность лугово-черноземной почвы, не оказывая фитотоксического действия.

2. Йод оказывает стимулирующее влияние на показатели роста и развития растений.

3. Применение йодсодержащих соединений повышает содержание йода в системе почва-растение. Используемые дозы микроэлемента не приводят к токсическому уровню накопления йода для растений.

Методология и методы диссертационного исследования.

Диссертационные исследования проводились с использованием лабораторных, вегетационных и полевых методов исследования. Статистическая обработка результатов проводилась методами дисперсионного и корреляционного анализа (Доспехов Б.А., 1985; Лакин Г.Ф., 1980). Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ STATIST, EXCEL.

Степень достоверности результатов. Данная диссертационная работа является завершенным и самостоятельным научным исследованием, в котором приведенные результаты принадлежат автору. Все опыты проведены согласно общепринятым методикам в экологических, почвенных, агрохимических, микробиологических исследованиях. Результаты получены в ходе многолетних исследований, подтверждены статистической обработкой полученных результатов.

Апробация результатов исследований.

Результаты работы были представлены на XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) (г. Пермь, 2013), конференции по Методологии научных исследований аспирантов ОмГАУ (г.Омск, 2014), международной школе-семинаре молодых исследователей (г. Тюмень, 2014), международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, 2015 г.), национальной научно-практической конференции с международным участием «Экологические проблемы региона и пути их решения», проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-

ВООМ» (г.Омск, 2016), конференции «Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития», посвященной 20-летнему юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии ОмГАУ (г.Омск, 2016), международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)» (ОмГАУ, г.Омск, 2017), межвузовской экологической научно – практической конференции с международным участием, посвященной Году экологии (ОмГМУ, г.Омск, 2017), III Международной школы-семинара молодых исследователей (г. Тюмень, 2018).

Основные результаты работы ежегодно докладывались на заседаниях кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ (2013-2017 гг.)

Публикации. По материалам исследований опубликована 21 работа, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации.

Диссертационное исследование представлено на 231 странице и состоит из введения, обзора литературы, методической и практической частей, заключения, списка литературы, приложений. Работа включает 57 рисунков, 44 таблиц и 26 приложений. Список используемой литературы состоит из 244 наименований, в том числе 37 иностранных авторов.

Личный вклад автора состоит в разработке методики, самостоятельном сборе и обработке фактического материала, его анализе, проведении лабораторных и полевых исследований, формулировке научных положений и выводов, подготовке научных публикаций, написании и оформлении текста диссертации.

Благодарности. Автор выражает свою глубокую признательность за регулярную всестороннюю помощь и за доброжелательное отношение своему научному руководителю, доктору биологических наук, доценту А.В, Синдиревой.

При проведении автором исследований регулярную помощь оказывала доцент кафедры экологии, биологии и природопользования, канд. с.-х. наук Г.И. Чуянова, за что автор выражает ей признательность. За помощь в проведении лабораторных исследований автор благодарит заведующих лабораториями кафедр экологии, биологии и природопользования и кафедры агрохимии, студентов 3-4 курсов факультета агрохимии, почвоведения, экологии, прироообустройства и водопользования.

Опыты по микробиологической активности почв были проведены в лаборатории микробиологии ФГБНУ СибНИИСХоз (ныне ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»), за что автор благодарит заведующего лабораторией, канд. с.-х. наук О.Ф. Хамову.

Определение содержания йода в образцах вегетационных опытов проводились на базе кафедры химии ОмГПУ, за что автор выражает свою признательность заведующему кафедрой, д-ру пед. наук О.И. Курдумановой. Определение йода в растениях полевого опыта проводилось в Испытательном центре Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур (Москва), за что автор благодарит сотрудника центра, канд. биол. наук Е.Г. Кекину.

За помощь и консультации в статистической обработке данных автор благодарит профессора, д-ра с.-х. наук Н.А. Воронкову.

1. ЙОД В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ-ЖИВОТНОЕ-ЧЕЛОВЕК

1.1. Микроэлементы в системе почва-растение-животное-человек

В процессе познания закономерностей взаимосвязи между живой и неживой материей В.И. Вернадский уделял особое внимание миграции в биосфере и физиологической роли химических элементов, содержащихся в организмах в бесконечно малых концентрациях, именуя их микроэлементами. Многочисленными исследованиями, проведенными такими выдающимися учеными, как В.И. Вернадский, В.В. Ковальский, А.П. Авцын и др., было установлено, что микроэлементы являются не случайными компонентами тканей и биологических жидкостей живых организмов, а составным элементом древнейшей регуляторной системы практически всех жизненных функций (Ковальский В.В., 1982, Авцын А.П., 1991).

Одним из важнейших базовых элементов гомеостаза живых организмов является содержание, соотношение и состав растворенных в жидкостях живых организмов микроэлементов. Согласно утверждению ученых, потребности всех живых организмов биосфера в дыхании, питании, обмене веществ и размножении обеспечиваются никогда не прекращающимся потоком атомов химических элементов из космоса, атмосферы, литосферы и гидросферы через специфические микробиоценозы в живое вещество и обратно. В биосфере выживают только те организмы, которые сохраняют, максимально проявляют и постоянно совершенствуют систему гомеостаза атомовитов (микроэлементов) (Сусликов В.Л., 2000)

Все элементы минерального питания растений можно разделить на две категории:

- 1) необходимые для построения клеток;
- 2) выполняющие в клетках каталитическую функцию.

Ко второй категории относятся многие микроэлементы. Микроэлементами являются такие элементы, содержание которых в сухой

массе растений находится в пределах 0,01-0,0001% (Шеуджен А.Х., 2003). Микроэлементы, к числу которых относят около 80 элементов Периодической системы, составляют 0,14 % общей массы земной коры. Однако эти элементы играют важную роль в питании растений и животных.

Основным источником микроэлементов в растении считается почва, в почве – почвообразующие породы, в океане – продукты водной эрозии дна и берегов, речной сток и подводный вулканизм, в аэрозолях – продукты вулканизма и ветровой эрозии почв и горных пород.

Роль любого микроэлемента и характерные черты его поведения в метаболическим процессах в растении могут быть изложены на основе описания следующих главных процессов и явлений:

- 1) потребление (поглощение) и перенос в растении;
- 2) энзиматические процессы;
- 3) концентрации и формы их нахождения;
- 4) дефицитность и токсичность;
- 5) конкуренция и взаимодействие ионов (Каббата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Для ряда микроэлементов-компонентов питания эти процессы относительно хорошо изучены, но для многих других микроэлементов, они нуждаются в дальнейшем изучении.

Реакции растений на химические стрессы, вызванные недостатком или избытком микроэлементов, нельзя рассматривать как нечто постоянное, потому что у растений в ходе эволюции и в течение жизни индивида (онтогенез и филогенез) вырабатываются механизмы, приводящие к адаптации и нечувствительности к изменению и нарушению химического баланса в окружающей среде. Поэтому реакции растений на микроэлементы в почве и атмосфере должны всегда исследоваться для конкретной системы почва-растение.

В настоящее время с учетом нашего уровня знания в области физиологико-биохимических значений каждого химического элемента в жизни

растения десяток микроэлементов относятся к жизненно необходимым. Для ряда других элементов доказано, что они необходимы небольшому количеству видов, а остальные оказывают стимулирующее действие на рост живых организмов. К таким микроэлементам относится йод (Кашин В.К., 1987, Шеуджен А.Х., 2003). В настоящее время накоплено много данных, подтверждающих зависимость элементного состава живых организмов, в том числе и человека от содержания химических элементов в среде обитания, то есть состав внутренней среды организма испытывает влияние внешней среды (Авцын А.П. , 1991, Ковальский В.В., 1974, Сусликов В. Л, 2000, Merian E., 2004). Между живыми организмами и химическими элементами окружающей среды имеется непосредственная связь, которая осуществляется как на молекулярном, так и на организменном уровне (Ковальский, 1974). Рассматривая с точки зрения экологической биогеохимии каждый компонент системы почва-растение-животное, можно предположить пути решения проблемы микроэлементозов, в том числе йододефицита, в конкретном регионе.

1.2. Йод в объектах окружающей среды

Йод - I, химический элемент VII группы периодической системы Д.И. Менделеева: относится к галогенам. Атомный номер йода 53, атомная масса 126,9. Природный йод состоит из одного стабильного изотопа с массовым числом 127. Известны 24 радиоактивных изотопа йода с массовыми числами от 117 до 139, включая два изомера (^{121m}I и ^{126m}I) (Кашин В.К., 1978).

Йод образует небольшое число самостоятельных минералов, но присутствует во многих других в виде изоморфной примеси. К известным минералам йода относятся иодиды некоторых металлов, например AgI , CuI , $Cu(OH)(IO_3)$, а также полигалиды, иодаты и периодаты (Каббата-Пендиас А., 1989). Его кларк в земной коре составляет 0,4 ppm. Содержание йода в

различных осадочных породах определяется условиями их образования и наличием органического вещества. Наименьшим содержанием йода характеризуются песчаные породы и известняки, которые на 95-99% состоят из кремнезема и углекислого кальция и обеднены другими элементами. Глинистые и суглинистые породы в связи со значительным содержанием органического вещества и вторичных глинистых минералов обладают высокой емкостью поглощения и поэтому содержат больше йода, чем песчаники и известняки. По абсолютному содержанию йода осадочные породы образуют следующий убывающий ряд: глины > суглинки > известняки > пески (Кашин В.К., 1987).

Основные источники поступления йода в атмосферу – моря, океаны и вулканическая деятельность, а в глубине континентов некоторый вклад вносят почвенный и растительный покров. Разлагающееся органическое вещество и различные виды топлива, при сжигании которого йод освобождается и улетучивается в воздух. Почти вся масса йода (99%) поступает в атмосферу из океана при испарении. Атмосферные осадки морского происхождения — один из важнейших источников йода на континенте. В глубине континента содержание йода в дождевой воде в 7 раз меньше, чем на морском побережье (Кашин В.К., 1987). Для внутренних континентальных регионов, таких, как юг Западной Сибири, йод атмосферы существенного значения в балансе галогена играть не может. Очевидно, что круговорот элемента здесь осуществляется преимущественно за счет запасов, которые находятся в почвах и почвообразующих породах (Конарбаева Г.А., 2004). Основные химические формы йода в атмосфере – иодорганические соединения, иодиды, свободный йод и др. Между этими формами происходят постоянные взаимопревращения и изменения их соотношений в воздухе (Кашин В.К., 1987).

В приморских областях количество йода в 1 м³ воздуха может достигать 50 мкг, в местностях, удаленных от океана или отгороженных от морских ветров горами - 1-3 или даже 0,2 мкг. Так, на высоте 1000 м над

уровнем моря воздух теряет 62,5 % йода, а 50 % теряется уже на высоте 700 м. Движение атмосферы и некоторые другие условия незначительно изменяют эти данные.

Природный йод-127 не представляет особой опасности для окружающей среды, чего нельзя сказать о его радиоактивных изотопах. Существует целый ряд изотопов йода с массовыми числами 115-126 и 128-141, из которых йод-129, образующийся в значительных концентрациях в литосфере и гидросфере при спонтанном делении урана и в результате космических реакций, может стать наиболее опасным загрязнителем. При прогнозируемых темпах развития ядерной энергетики сброс изотопа йода-129 в окружающую среду вызовет его накопление в компонентах биосфера из-за большого периода полураспада, равного $1,7 \cdot 10^7$ лет, что приведет к устойчивому загрязнению почв (Конарбаева Г.А., 2010).

Йод наряду с бромом, содержащиеся в органическом топливе, выбрасываются в атмосферу при его сжигании, так как данные галогены ассоциируются с углеродом. Содержание йода в каменных углях (г/т) может варьировать от 3,1 до 22,9 (Иванов В.В., 1996). Содержание йода в золе углей Кузбасса составляет 45-675 г/т. Это приводит к накоплению микроэлемента в золоотвалах, откуда в дальнейшем часть йода улетучивается, часть аккумулируется в почве, а другая часть в виде водорастворимых форм мигрирует с талыми и дождовыми водами (Конарбаева Г.А., 2012).

Основные природные источники йода – почва, грунтовые воды, растительность, а также морепродукты (водоросли, рыбы, морские животные). Высокая степень концентрирования йода в морских организмах объясняется спецификой обмена веществ и образованием органических соединений, в которой он вступает в прочную связь типа I – C (Кашин В.К., 1987).

Содержание йода в природных водах определяется высокой растворимостью большинства его соединений и гидрохимическими условиями, благоприятными или неблагоприятными для водной миграции

ионов. Йод в морской воде находится в растворенном состоянии в виде неорганических ионов Γ , IO_3^- и в форме комплексных органоминеральных соединений в составе биомассы живых и отмерших организмов. Мировой океан определяет йодный состав гидросферы и является мощными аккумулятором и источником поступления йода на континент. Среднее содержание йода в морской воде составляет 50 мкг/г, а в речной – 2 мкг/л (Виноградов А.П., 1967). Содержание йода в реках изменяется от 1 до 42 мкг/л (Магомедов Л.А., Салманов А.Б., 1966).

Йод находится в глубоких слоях почвы и обнаруживается в содержимом нефтяных скважин. В настоящее время на территории России подземные воды нефтяных и газовых месторождений служат единственным источником промышленного получения йода.

В целом, чем старее поверхность почвы и чем более она была подвержена в прошлом различным разрушительным воздействиям (например, эрозиям), тем меньше в ней йода. Наиболее обеднены йодом почвы в горных местностях, которые подвергались частому выпадению дождей со стоком воды в реки. Важную роль в потере йода из почвы в данных регионах играют и ледники. Нередко недостаточность йода наблюдается и в долинах крупных рек.

Одними из антропогенных источников поступления йода в почву могут быть аварии на атомных станциях (такие, как аварии на АЭС «Фукусима-1» (11 марта 2011 г.), и на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 г.). Отнесены к максимальному 7-му уровню радиационной опасности по шкале INES (Международная шкала ядерных событий). В плане радиационного воздействия на людей наиболее важными радионуклидами являются йод-131 и цезий-137 (Котенко К.В. с соавт., 2012).

Антропогенное загрязнение природных вод изотопами I^{129} происходит при применении в сельском хозяйстве пестицидов и гербицидов, а также вблизи предприятий по переработке ядерного топлива. Выводы сделаны на основе анализа вод 40 рек США, Канады и Западной Европы (Oktay Sarah

D., Peter H. Santschi., 2002). Наибольшие показатели содержания I^{129} были в таких реках как Рио-Гранде в районе города Браунсвилле (212 мкг/л) и Санта-Круз (219 мкг/л) в районе Туксон.

1.3. Йод в почве

По сравнению с основными и ультраосновными породами земной коры почвы на один-два порядка богаче «летучими» микроэлементами, к числу которых относится йод (Гладышев В.П. с соавт., 2003).

Поведение йода в почвах изучается в связи с оценкой его доступности для растений. Исследование распределения йода в почвах тесно связано с выявлением районов распространения эндемичного зоба среди населения. В целом концентрации йода в поверхностном слое почв различных стран изменяются от 0,1 до 40 мг/кг при среднем значении 2,8 мг/кг. Однако в почвах некоторых островов (например, Ирландии, Японии, Новой Зеландии) содержание йода может достигать почти 80 мг/кг (Каббата-Пендиас А., 1989).

Там, где почва бедна этим микроэлементом (таежно-лесная нечерноземная, сухостепная, пустынная, горная зоны), значительная часть населения страдает йоддефицитными заболеваниями.

До сих пор поведение йода в природных объектах остается малоизученным. В 1950-1980 гг. в этой области проводились активные исследования (Розен Б.Я., 1970, Мальгин М.А., 1981, Имади Т.Х., 1966, Бумбу Я.В., 1983). В работах Имади Т.Х. представлены данные по содержанию и закономерности миграции йода в почвах, растительности, грунтовых водах и в воздухе для типичных ландшафтов дерново-подзолистой, лесостепной, черноземной, каштановой и сухой субтропической зон Европейской части СССР по меридиану Москва - Курск – Симферополь – Ялта (Имади Т.Х., 1966). В исследованиях Я.В. Бумбу показаны биогеохимические закономерности баланса, миграции, распределения и концентрирования некоторых микроэлементов (йода,

кобальта цинка, меди, марганца) в системах почвообразующие породы- почвы, почвы-растения, почвы- природные воды в Молдавской ССР (Бумбу Я.В., 1983).

В последнее десятилетие в некоторых регионах России, например, в Туве (Пузанов А.В., 2005), в Забайкалье (Кашин В.К., 2008) и на юге Западной Сибири (Конарбаева Г.А., 2008) по йоду собран значительный экспериментальный материал. Определено валовое содержание этого микроэлемента, содержание водорастворимой и солерасторимой форм в профиле различных типов почв, выявлены основные почвенные компоненты, концентрирующие данный галоген, предложены наиболее вероятные механизмы взаимодействия йода с органическими соединениями почвы.

Содержание и закономерности распределения йода в различных типах почв (Виноградов А.П., 1957, Кашин В.К., 1987, Розен Б.Я., 1970) свидетельствует о том, что существует ряд факторов, ответственных за его аккумуляцию и миграцию в почвах. К ним относятся: содержание органического вещества в почвах, их гранулометрический состав, реакция почвенной среды, тип водного режима, а также химические свойства самого микроэлемента. Содержание йода в почве контролируется определенным сочетанием названных выше факторов и химических свойств самого галогена. Это означает, что все компоненты сочетания должны иметь одинаковую направленность. Если они имеют разнонаправленный характер, то есть конкурируют, это негативно скажется на аккумуляции йода, и доминирующим может стать процесс его миграции (Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., 2014).

Атом йода в соответствии с электронным строением может находиться в почвах в виде анионов: иодид – Γ , гипоидод – IO^- , иодат – IO_3^- , периодат – IO_4^- и в виде свободного йода. При этом элементарный йод может присутствовать в почвах не только с кислой реакцией среды, но и с щелочной (Конарбаева Г.А., 2004).

Легкие почвы гумидных районов обычно обеднены йодом, а сильногумусовые и оглеенные почвы богаты им. На распределение йода в почвах большое влияние оказывают близость моря и районов современного оледенения.

В работах Г.А. Конарбаевой объясняются причины большей аккумуляции йода в сильногумусовых почвах (Конрабаева Г.А., 2003, 2011). Известно, что органическое вещество почвы играет доминирующую роль в процессах аккумуляции галогена. Большему количеству гумуса соответствует и более высокое содержание элемента. (Мальгин М.А., 1988, Кашин В.К., 1987) . Органическое вещество влияет непосредственно на содержание галогена в почве: входящие в состав гумуса алифатические, ароматические и гетероциклические соединения и их производные вступают в химическое взаимодействие с йодом за счет своих активных функциональных групп (карбонильных, гидроксильных и карбоксильных). Эти реакции в некоторых случаях приводят к образованию прочных связей с йодом, что способствует увеличению его концентрации в гумусовом горизонте (Конрабаева Г.А., 2001, 2003).

Содержащиеся в гумусе гуминовые кислоты имеют ароматическую составляющую 39 %. (Beyer L., 1996). А, как известно, при взаимодействии ароматических соединений с галогенами, последние связываются наиболееочно при внедрении в бензольное кольцо (Каррер П., 1960). Поэтому, в почвах, богатых гумусом, содержание йода выше.

Влияние гранулометрического состава почв на процесс аккумуляции в них галогена может быть очень разнообразным. Тяжелый глинистый состав почв, насыщенный илистыми частицами, благодаря процессам сорбции способствует накоплению йода. Например, в солонцах юга Западной Сибири, максимальная концентрация йода (10 - 18,7 мг/кг) отмечена в солонцовом горизонте целого ряда разрезов, в которой содержание илистой фракции было равно примерно 39-45% (Конарбаева Г.А., 2014).

Реакция почвенной среды влияет на поведение галогена двойственным образом. Кислая среда способствует потерям микроэлемента из-за процессов окисления, приводящим к образованию свободного йода. В условиях щелочной среды отмечается накопление галогена, так как происходящие в этих условиях реакции с участием йода приводят к образованию устойчивых его анионов Γ и IO_3^- . В (Конарбаева Г.А., 2003,2014). Влияние реакции среды на поведение галогена связано, прежде всего, с его способностью легко окисляться и восстанавливаться. В удержании йода в почве немаловажное значение имеют окислительно-восстановительный потенциал и содержание оксидов железа и марганца. Нормальный потенциал E° реакции $2\Gamma \rightarrow \text{I}_2$ в сильнокислой среде равен 0,535 В, что ниже потенциалов систем $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ и $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$, равных соответственно 0,771 и 1,23 В. Поэтому в кислых условиях Fe^{3+} и Mn^{4+} легко окисляют йод до элементарного состояния, способствуя его улетучиванию. В то же время система $\Gamma \rightarrow \text{IO}_3^-$ имеет в кислой среде потенциал 1,19 В, величина которого препятствует ее осуществимости. В условиях щелочной обстановки окисление свободного йода в йодат-анион проходит очень легко, так что галоген в почвах представлен преимущественно этими двумя анионами (Конарбаева Г.А., 2004).

Столь же неоднозначна и роль водного режима. Промывной и периодически промывной типы водного режима усиливают миграцию йода, так как большинство его солей хорошо растворимы. Из переувлажненной почвы после ее инкубации в водную вытяжку переходит почти весь йодат-анион (Akiyama R., 1990). Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что в условиях переувлажнения галоген не сорбируется. Данные Г.А. Конарбаевой (2003) подтверждают это.

Очень важна роль живого вещества в аккумуляции йода. Различные почвенные микроорганизмы используют йод в процессе своей жизнедеятельности и концентрируют его в соединениях, которые сами создают. Известны, например, созданные бактериями железные конкреции,

содержащие много йода. После их отмирания йод вновь возвращается в почву (Конарбаева Г.А., 2004).

С точки зрения экологической характеристики территории Западной Сибири, по содержанию йода найденные пределы его концентраций в почвах северных территорий при сравнении их с данными по южным территориям, показали существенно меньшее содержание этого микроэлемента. Концентрация йода в почве снижается в северном направлении - от лесостепи к тундре (Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., 2014)

Экологическую ситуацию с содержанием йода в почвах северных территорий Западной Сибири следует признать крайне неблагоприятной. В почвах северной и средней тайги содержание йода изменяется от следовых количеств до 1 мг/ кг. В почвах тундры и лесотундры содержание галогена еще более низкое - 0,2 - 0,6 мг/кг. В соответствии с критериями Ковальского (Ковальский В.В., 1972) по содержанию валового йода в почвах (5,0 – недостаточное, 5,1 – 40,0 - нормальное, больше 40,0 – избыточное), изученные почвы севера Западной Сибири крайне обеднены йодом,

Содержание йода в почвах юга Западной Сибири больше, чем на севере, но тоже недостаточное. В группе зональных почв йодом наиболее богаты черноземы с содержанием йода в пределах 1,21 - 6,4 мг/кг (Конарбаева Г.А., 2012, Гилязова И.Б., 2017, Шишинина Е.А., 2017).

Помимо определения валового содержания йода в почвах, необходим анализ и его водорастворимой формы, так как накопление йода растениями определяется содержанием его подвижных, и прежде всего, водорастворимых форм. Значение этой формы йода, доступной для растений, огромно, так как поступление его из йодно-гумусовых комплексов ограничено. Содержание водорастворимой формы йода в почвах принято интерпретировать, основываясь на критериях Ю.Г. Покатилова: 0,011-0,03 мг/кг – низкое, 0,03 – 0,05 – пониженное, 0,05 – 0,10 мг/кг - оптимальное (Покатилов Ю.Г., 1993).

В почвах юга Западной Сибири содержание подвижной формы йода изменяется от следовых количеств в дерново-подзолистых почвах до 0,5 мг/кг

в черноземах, что в процентном соотношении от общего содержания составляет 0,05-4,73% (Конарбаева Г.А., 2004). Содержание водорастворимой формы йода достаточно полно отражает геохимические особенности этого микроэлемента. Они выражены распределением его по профилю изученных почв: верхние горизонты зональных почв наиболее богаты растворимым йодом, вниз по профилю его содержание уменьшается. В зональных почвах юга Западной Сибири содержание водорастворимой формы йода оценивается как низкое и пониженное. Это связано не только с содержанием гумуса, уменьшающегося с глубиной, но и с интенсивным вовлечением микроэлемента в биологический круговорот.

Что касается интразональных почв, то здесь распределение подвижной формы йода приобретает иной характер. Содержание йода несколько возрастает. При этом, чем выше засоление почвы, тем больше концентрация подвижного галогена. Наибольшие концентрации йода присущи лугово-перегнойным солончаковым почвам, затем следуют солончаки, за ними солонцы и солоди (Конарбаева Г.А., 2004).

Исследования по содержанию йода в почвах, природных водах и растительности проводились во многих регионах России.

В Горном Алтае концентрация йода в почве (горно-лесные почвы) колеблется от следовых до 8,84 мг/кг, в воде - от 0,0008 мг/л до 0,0174 мг/л (Кузнецова О.В с соавт., 2006). В почвах горной зоны Дагестана (горно-луговые почвы) содержание подвижного йода находится в пределах от 0,84 до 14,67 мг/кг (Дибирова А.П. с соавт., 2005), в воде от 0,0002 до 0,00028 мг/л (Салихов Ш.К. с соавт., 2014). Анализ воды и кормов в Республике Саха (Якутия) показал, что содержание макро- и микроэлементов в них дает основание считать биогеохимические провинции Якутии зоной с недостаточностью кальция, фосфора, кобальта, йода (Аргунов А.В, 2011). Проведенные исследования распределения йода в почве и особенности развития фитопедоценозов в районах Курской области Центрального Черноземья показали малое содержание йода в почвах обследованных

населенных пунктов, которое колеблется от 0,335 мг/кг до 0,664 мг/кг (Глебова И.В., Ходыревская П.П., 2008, Ходыревская, 2009).

Имеются данные об исследовании почв на содержание йода в Брянской области (Коробова Е.М. с соавт. 2013; Коробова Е.М. с соавт., 2014), на Украине (Гунчак Р.В., 2016), Белоруссии (Коломиец Н.Д., 2014).

Таким образом, для каждой почвенной зоны требуется своя градация по содержанию йода. Почвы определяют йодный статус региона, так как поступление йода в растения, а затем в организмы человека и животных, обуславливается запасами, содержащимися в почвообразующей породе и другими эдафическими факторами.

1.4. Содержание и биологическая роль йода в растениях

Растения могут поглощать из окружающей среды практически все элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Известно около 30 микроэлементов, которые необходимы для прохождения нормального жизненного цикла, для синтеза витаминов, ферментов. Основные из них: бром, ванадий, железо, йод, кобальт, кремний, марганец, медь, молибден, селен, фтор, хром и цинк (Лейкин Ю.Л., 2014). Микроэлементы поступают в растения через почвы, осадки, талые воды, глобальные аэрозоли, содержащие космическое вещество, аэрозоли технического происхождения, мелиоранты, минеральные удобрения, химические средства защиты (Гладышев с соавт., 2003).

Йод, наряду с такими элементами, как Al, Na, Cl, F, V, Li, Se и др. относится к элементам, которые принято называть условно необходимыми, поскольку их «необходимость» экспериментально окончательно не установлена. (Шеуджен А.Х., 2003). Но, тем не менее, растения положительно отзываются на их внесение.

Согласно данным М.Я. Школьника, исключение йода из питательной среды приводит к нарушению физиологических процессов у растений (Школьник М.Я., 1974.)

По мнению В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987) йод оказывает существенное воздействие на протекание окислительно-восстановительных процессов в растениях путем изменения активности ферментов, перестройки ферментных систем в онтогенезе, изменения скорости дыхательного газообмена и энергетического баланса растений

Источники поступления йода в растения – почва (корневой путь) и атмосфера (осаждение йода на надземные органы). Растения обладают способностью адсорбировать йод из атмосферы через кутикулы, так и путем адгезии частиц из ворсистой поверхности листьев. Атмосферный йод является важным источником поступления данного элемента в растения. Среди систематических групп повышенным содержанием и большей интенсивностью накопления йода выделяются осоковые, мхи и лишайники. Причем у влаголюбивых растений отмечается повышенное содержание и накопление йода.

В начале вегетации практически весь йод в растения поступает из почвы, а в конце вегетации доля йода, имеющая почвенное происхождение, на дерново-подзолистой почве снижается до 35%, а на дерново-карбонатной – до 10%. Соответственно снабжение растений из атмосферы составляет 65 и 90% (Кашин В.К., 1987).

По В.В. Ковальскому, пороговые концентрации йода в растениях составляют до 0,07 – недостаток, 0,08–1,2 – норма, 0,8–2,0 мг/кг – избыток (Ковальский В.В., 1972). Среднее содержание йода в надземных частях растений, как правило, варьирует в достаточно узком интервале от 0,3 до 0,42 мг/кг сухого вещества (Добровольский В.В., 1983). Невысокие концентрации йода обусловлены, по-видимому, тем, что он является типичным барьерным элементом и накапливается растениями до определенного предела (Конарбаева Г.А., 2006). Это отмечалось как у растений зерновых и

овощных культур, произраставших на почвах с содержанием микроэлемента на уровне фонового и, обработанными растворами йодистых соединений увеличивающихся концентраций (Кашин В.К., 1987). По градации А.Л. Ковалевского (Ковалевский А.Л., 1971) йод относится к первой группе элементов, которые являются барьерными при кларковых содержаниях в почве.

Анализ имеющихся литературных данных позволяет выделить приоритетные факторы, влияющие на поступление галогена в растения. Это географические и экологические факторы, тип и свойства почвы, биологические особенности растений, использование удобрений, известкование (Конарбаева Г.А., 2006).

Отмечена вполне четкая зависимость снижения содержание йода в растениях по мере удаления от океанических и морских акваторий, атмосфера которых насыщена этим микроэлементом. Концентрация йода в растениях, произрастающих в континентальных районах, ниже, чем в приморских, примерно в 2-13 раз (Кашин В.К., 1987). Влияние антропогенных факторов на поступление галогена в растения проявляется следующим образом: интенсивность его поступления в растения зависит от степени удаленности от техногенных источников загрязнения: чем они дальше, тем менее загрязнена окружающая растительности. Источником загрязнения внешней среды (в том числе и почв) радиоактивными изотопами йода является предприятия ядерно-энергетического цикла.

Тип и свойства почвы оказывают значительное влияние на поступление йода в растения. Интенсивность его поглощения более заметна в тяжелых по гранулометрическому составу и соответственно более обогащенных этим элементом почвах. Накопление йода в растениях также зависит от концентрации его подвижных форм в почве (Конарбаева Г.А., 2006). Установлено, что от pH среды зависит величина поверхностного заряда на клеточных мембранах корневых волосков, являющегося важным фактором проницаемости мембран. В кислой среде отрицательный заряд на

мембранах снижается за счет подавления диссоциации кислотных групп фосфолипидов, вследствие чего стимулируется прохождение йода (Пашаев П.А., Цофина Л.М., 1968). В щелочной среде проходят противоположные процессы.

Различные растения отличаются по содержанию йода. Этот элемент довольно широко распространен в растениях. Так, некоторые морские водоросли, например фукус, ламинария, филлофора, накапливают йода до 1 % от общего веса. Концентрация галогена в таких водорослях иногда превышает содержание этого элемента в морской воде в 30 000 раз. Мясистые грибы и овощи содержат йода больше, чем другие растения суши (Каббата-Пендиас А., Каббата-Пендиас Х., 1989). По данным В.К.Кашина, при прочих равных условиях бобовые и разнотравье концентрируют йода больше, чем злаки и осоки (Кашин В.К., 1987), причина – биохимическое различие в метаболизме ассимилятов. Лесному высокотравью свойственны более высокие концентрации йода, что связано с его более высокой подвижностью в почвах с кислой средой (Мальгин М.А., 1988).

Преимущественное концентрирование йода происходит в подземных органах – корнях и корневищах. По мнению Т.В. Русиной, существует четко выраженная дискриминация йода на пути его транспорта из корневых систем в надземную вегетативную часть и далее в репродуктивные органы, проявляющаяся в многократном снижении коэффициента его накопления (K_h) в фитомассе в каждом последующем звене. В репродуктивных органах K_h в среднем на 2 порядка ниже, чем в вегетативных (Русина Т.В., 1985).

В надземной части растений наиболее высоким содержанием йода характеризуются листья. Опираясь на данные опытов В.К. Кашина, можно расположить органы и части растений по содержанию йода в следующий убывающий ряд: листья > стебли > семена (Кашин В.К., 1987).

Применение удобрений приводит к увеличению концентрации йода в произрастающей растительности. По данным опытов Г.А. Конарбаевой с картофелем различная интенсивность использования минеральных

удобрений в агроценозе отражается на поступлении галогена в растения, при этом концентрация этого элемента в вегетативной части (листья, стебли) была заметно выше, чем в запасающих органах (клубни) (Конарбаева Г.А., Якименко В.Н., 2014).

Механизм поглощения йода растениями изучен недостаточно. Установлено, что органические формы элемента растениями не усваиваются. Данный галоген становится доступным растительности только после разложения органических веществ бактериями. В литературе имеются только сведения о поступлении йода в морские водоросли (Sfaw T.I., 1959, 1960). Было доказано присутствие на внешней поверхности клеток водорослей ферментов, окисляющих йодиды до молекулярного йода, который при взаимодействии с водой дает иодноватистую кислоту. Эта кислота является основной формой поступления йода в водоросли. Йод в растении улучшает углеводный обмен, способствует повышению содержания аскорбиновой кислоты (витамина С), а в водных культурах стимулирует образование свободных аминокислот.

По мнению В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987), на метаболизм растений йод действует полифункционально:

- микроэлемент оказывает влияние на азотный, углеводный, энергетический и водный обмены, на ферментативную активность и окислительно-восстановительные процессы, биосинтез пигментов и фотосинтетическую деятельность, ростовые и продукционные процессы растений;

- влияние йода на процессы метаболизма (такие как водный обмен, повышение содержания связанной воды, стабилизации белкового обмена), способствует формированию повышенной устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды (прежде всего, к засухе);

- оптимальные дозы йода, вносимые в почву или вводимые в семена перед посевом, проявляют «секундерный» тип стимуляции физиологических

процессов: физиологическая активность у опытных растений повышается на поздних этапах развития и сдерживается на ранних;

- физиологическое действие йода в растениях осуществляется путем непосредственного участия в азотном обмене (путем включения в состав аминокислот и белков), а также неспецифическим влиянием постоянно присутствующих в клетках ионов йода, которые благодаря большим возможностям валентных превращений, влияют на активность ферментов и связанные с их деятельностью гидролитические и биосинтетические реакции метаболизма и на состояние воды в тканях.

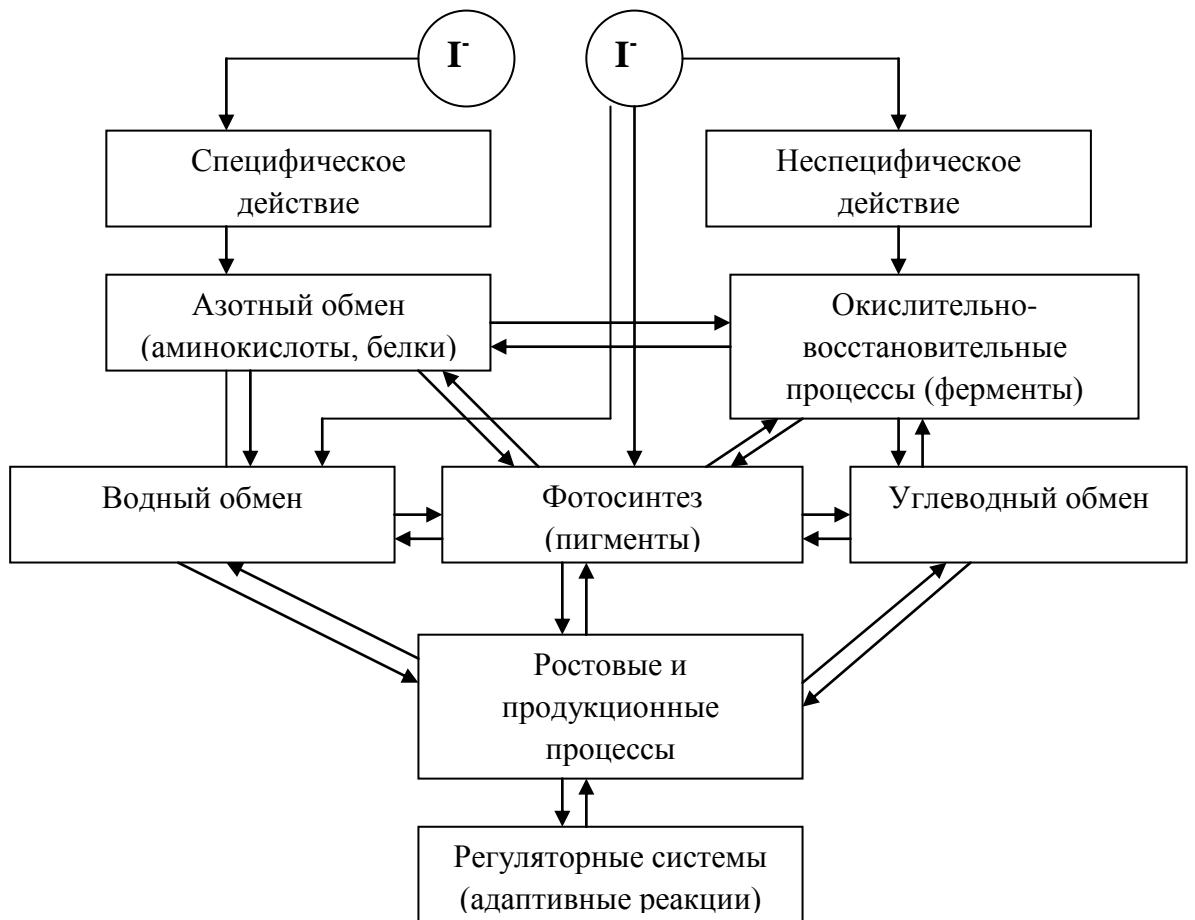


Рисунок 1.1 – Схема метаболизма йода в растениях (Кашин В.К., 1987).

Стимулирующее действие йода на растения отмечается при содержании 0,1 мг/кг в питательном растворе. Токсический эффект наблюдался при концентрации йода 0,5–1,0 мг/кг. Количество

содержание йода в некоторых растениях может значительно изменяться, но порядок его содержания зависит от вида растения. Установлена сезонная изменчивость содержания йода. Летом содержание йода в растениях наиболее низкое (Каббата-Пендиас А., Каббата-Пендиас Х., 1989). Наблюдается повышенное содержание йода в растениях в начальный период вегетации по сравнению с серединой и с концом ее. Так, при исследовании разнотравно-злаковой ассоциации на луговых почвах Дагестана, максимум содержания йода в надземной массе и корнях приходился на июнь (Гаджимусиева Н.Т., 2014). Накопление в стеблях и листьях растений достигает максимума в весенний период, оно связано с влиянием восходящих потоков влаги, способствующих сезонной концентрации элемента в вегетативных органах (Гаджимусиева Н.Т. с соавт., 2016, 2017). По данным А.И.Попова, при исследовании листьев голубики, максимум содержание йода приходился на май и август (Попов А.И., Дементьев Ю.Н., 2014).

Начиная с 30-х годов XX века стали появляться сообщения о необходимости йода для роста и развития растений. Исследования П.А. Власюка показали, что предпосевная обработка семян различных культур растворами йодида калия может заметно обогащать пищевые продукты йодом (Власюк П.А. с соавт., 1952).

Удобрения, содержащие йод, значительно увеличивают концентрацию йода в растениях. Например, использование йодистого калия в смеси с карбоаммофоской, а также карбоаммофоски, промышленным способом обогащенной йодистым калием (КІ – 300 г/га), привело к увеличению содержания йода в сене клевера-тимофеевки в 3 раза, а в овсе – в 5–6 раз (Коданев И.М., 1970).

Изменение содержания йода на лугово-черноземных почвах в результате применения удобрений положительно сказалось на формировании величины урожайности корнеплодов столовой свеклы (Ермохин Ю.И., Синдирева А.В., 2010). Авторами предложены коэффициенты корреляции между уровнем содержания доступного йода почвы и урожаем корнеплодов

свеклы. На среднеподзолистом суглинке под влиянием йодистого калия повышался урожай сахарной свеклы и увеличивалась ее сахаристость (Булыгин С.Ю., 2007).

Красноярскими учеными изучались особенности кумулятивной активности клубней топинамбура в отношении ионов йода, кобальта и селена, а также их взаимовлияние в условиях дополнительного внесения этих микроэлементов (Нестеренко О., 2008). В течение вегетационного периода растения трижды обрабатывались водными растворами этих микроэлементов. Для йода применялись 0,01, 0,1 и 1,0 % концентрации КI. Наибольшее накопление йода в корнях наблюдалось при концентрации 1,0 %. Там же для решения кобальтовой, йодной и селеновой недостаточности обогащались корни петрушки аналогичными концентрациями растворов этих микроэлементов (Нестеренко О., 2009).

Проводились эксперименты по обогащению йодом и селеном ягод красной и черной смородины, крыжовника. Впервые проведена оценка плодов ягодных культур по содержанию йода под воздействием внекорневых обработок. Йод активно аккумулировался в плодах особенно крыжовника (2,1-5,5 раза) выше чем в контроле при обработке по массовому цветению, эффект был в 5,5-5,7 раза выше, при обработке по зеленой ягоде был выше в 5,5-5,7 раза, чем по массовому цветению. Рекомендуемые концентрации: йод (КI) - 250 мг/л, селен (Na_2SeO_3) - 5,0 мг/л. (Равашдек Х., 2005).

В Горно-Алтайском университете проводились опыты по обогащению фасоли обыкновенной. Семена фасоли обрабатывались четырьмя растворами иодида калия (0,005, 0,01, 0,05 и 0,1%). Во всех случаях большее накопление микроэлемента наблюдалось в листве, нежели в плодах растения. Оптимальный полив фасоли рекомендуется при концентрации от 0,05 до 0,1%. Повышенная концентрация приводит к ухудшению роста растений (Кузнецова О.В. с соавт., 2006).

Волгоградскими учеными проводились эксперименты по изучению эффективности проращивания семян различных видов и сортов в среде

йодида калия. Представлены результаты исследования процесса биоконверсии йода из неорганической формы в биодоступную органическую в процессе прорастания семян сельскохозяйственных культур (нут, соя, фасоль белая и красная, горох). При внесении 0,225 г йодида калия на 1 кг семян содержание йода по сравнению с контролем увеличивается в 3,9–38,8 раза в зависимости от видовой и сортовой принадлежности семян. Максимальный эффект достигался при обогащении семян нута. Практическая значимость данного способа йодирования заключается в эффективности и дешевизне получения органического йода в процессе жизнедеятельности растения, что может быть использовано в профилактике йододефицита (Ранделин А.В. с соавт., 2013).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что за последние годы исследования по устранению йодного дефицита ведутся по всей территории России.

На содержание и действие йода в растительном организме влияет его взаимосвязь с другими химическими элементами. На примере растений четко прослеживается такой факт, как антагонизм йода и хлора. Содержание хлора под действием йода снижается, это имеет практическое значение в плане получения солеустойчивых форм растений, поскольку солеустойчивость растений повышается под влиянием йода (Градобоев Н.Д., 1960). Йод является синергистом по отношению к селену и антагонистом по отношению к кобальту (Нестеренко О., 2009).

Причем следует отметить, что взаимоотношение "йод-хлор" неоднозначно. Антагонистическая активность ионов йода по отношению к хлору в несколько десятков раз сильнее, чем у ионов хлора к йоду. Растения отличаются наличием определенной закономерности в плане накопления йода. Так, было установлено, что содержание йода в некоторых видах растений может существенно меняться, но порядок его содержания можно рассматривать как видовой признак.

Применение хлорида калия в эквивалентных дозах с иодидом калия в качестве сравнения влияния на растения, может привести к токсическому эффекту из-за разной химической активности хлора и йода, что доказывает биологическую стимулирующую роль йода в представленных в диссертации концентрациях. Хлористый калий рекомендован для легких почв: суглинки, песчанки, а лугово-черноземные почвы тяжелые, суглинистые. Все удобрения, содержащие хлор, лучше всего вносить в почву задолго до посева - осенью под перекопку, Хлор вымывается осадками, а калий хорошо поглощается почвой, в отличие от йодсодержащих удобрений, которые необходимо вносить непосредственно перед посевом ввиду летучести йода.

Наибольшая эффективность применения микроэлементов в качестве удобрения наблюдается при оптимальном содержании калия, фосфора и азота в почве (Ермохин Ю.И., Синдирева А.В., 2010).

1.5. Йод в организме человека и животных

Йод относится к группе веществ, которые постоянно содержатся в живых организмах, включаются в обмен веществ, входят в состав биологически активных соединений и являются незаменимыми.

В организм человека йод поступает с пищевыми продуктами растительного (34 %) и животного (60 %) происхождения, и лишь небольшая его доля поступает с водой и воздухом (по 3 %) (Авцын А.П., 1991). Йод поступает как в неорганической, так и в органической форме, всасывается в тонком кишечнике, его биодоступность достигает 100 %. Уже через 2 часа после всасывания йод распределяется в межклеточном пространстве, накапливается щитовидной железой, в почках, желудке, молочных и слюнных железах, в грудном молоке у кормящих женщин. При нормальном поступлении йода в организм его концентрация в плазме крови составляет 10–15 мкг/л. Большая часть йода (2/3) выводится из организма почками, а остальная — молочными, слюнными и потовыми железами.

В животный организм йод также попадает с пищей, водой и воздухом. Основной источник - растительные продукты и корма. Элементарный йод легко и быстро всасывается через кожу и слизистые оболочки, а в парообразном состоянии – через кожу и слизистые оболочки. Скорость всасывания его из желудочно-кишечного тракта во многом зависит от качественного состава пищи. Содержащиеся в ней белки и жиры связывают элементарный йод и замедляют его усвоение в кишечнике.

Общее содержание йода в организме человека составляет 15–20 мг, при этом почти половина его содержится в щитовидной железе, в основном в виде гормонов и около 1 % в виде йодид-иона. Щитовидная железа секretирует гормоны тироксин и трийодтиронин, которые регулируют обмен веществ в организме.

В организме млекопитающих животных концентрация йода, в среднем, составляет 50-200 мкг/кг массы, т.е. $0,5-2 \times 10^{-5}\%$, однако этот показатель может варьировать в больших пределах в зависимости от содержания йода в рационе. При обычном режиме кормления фонд йода в организме разделен примерно следующим образом: щитовидная железа – 70-80%, мышцы – 10-12%, кожа – 3-4%, скелет – 3%, прочие органы – 5-10% (Манукало С.А., Шантыз А.Х., 2010).

Потребность в йоде зависит от возраста человека и его физиологического состояния. Суточная потребность в йоде составляет от 100 до 200 мкг и в пересчете на 1 кг массы тела в сутки и снижается с возрастом. Если у недоношенных детей она составляет 30 мкг/кг, то у доношенных новорожденных — 15 мкг/кг и уменьшается почти в два раза к концу первого года жизни. Для взрослого человека эта потребность составляет 2 мкг/кг. В абсолютных количествах для новорожденного адекватный уровень потребления йода составляет не менее 90 мкг в сутки, для детей старше 6 месяцев — 110–130 мкг в сутки, в период полового созревания, во время беременности и лактации его требуется до 200 мкг в сутки (Валдина Е.А., 1993).

За всю жизнь человек потребляет 3–5 граммов йода, что эквивалентно содержимому примерно одной чайной ложки. Не следует также забывать и о том, что йод обладает токсическим действием. Одномоментный прием внутрь около 2–3 г йода заканчивается, как правило, летально.

Значение йода для человека определяется тем, что этот микронутриент является обязательным структурным компонентом гормонов щитовидной железы — тироксина (T4), содержащего 4 атома йода, и трийодтиронина (T3), в состав которого входят 3 атома йода. Следовательно, его адекватное поступление в организм является необходимым для физиологического синтеза и секреции тиреоидных гормонов.

При повышенной активности щитовидной железы (гипертиреоз) вследствие избыточного синтеза тиреоидных гормонов наблюдается ненормально увеличенная скорость метаболических процессов. При эндемическом зобе назначают препараты йода: йодид калия KI или натрия NaI в дозах, соответствующих суточной потребности человека в йоде (0,001 г KI). Представляется парадоксальным, что KI применяют и при гипотиреозе, и при гипертиреозе. При эндемическом зобе йодид-ион используют для синтеза гормонов, в то время как при гипертиреозе йодид-ион тормозит йодирование тирозина йодом. При неэффективности указанных препаратов для лечения гипертиреоза применяют препарат радиоактивного йода ^{131}I , излучение которого разрушает фолликулы щитовидной железы и уменьшает тем самым избыточный синтез гормонов (Астапенко В.Г. , 1978).

У животных при дефиците йода вследствие нарушения в организме метаболизма белков и углеводов снижаются рост, продуктивность и плодовитость, происходит угнетение их воспроизводительной способности, а также происходит увеличение щитовидной железы. При этом происходят нарушения процессов окислений, газообмена, сдвиги половых циклов у взрослых животных, перегул, яловость, выкидыши. Недостаток его особенно резко проявляется у высокопродуктивных животных в период лактации. Наблюдается снижение удоев (на 10-25%), понижения жирности молока (на

0,2 – 1,0%), настрига шерсти (на 10-30%) и замедления роста (на 5-30%). Нормальное содержание йода в сухом веществе щитовидной железы составляет 0,2-0,5%, при дефиците 0,1% и менее. Установлено, что при зобе интенсивность поглощения йода щитовидной железой возрастает в 10 раз и более (Манукало С.А., Шантыз А.Х., 2010).

В йододефицитных регионах концентрация йода в почве не превышает 2 мкг/кг. Содержание йода в продуктах питания значительно различается в зависимости от региона, сезона, длительности хранения и кулинарной обработки пищевых продуктов. Самая высокая концентрация йода — в продуктах моря (от 800 до 1000 мкг/кг), особенно богаты йодом морские водоросли. Фрукты и овощи содержат мало йода.

В настоящий момент десятки тысяч фундаментальных исследований по биохимии, молекулярной фармакологии и клинической медицине позволяют подтвердить, что в профилактике и терапии йододефицитных состояний следует учитывать неразрывную связь метаболизма йода с метаболизмом других микроэлементов — в первую очередь селена, как основного молекулярного синергиста йода, имеющего важнейшее значение в функционирования щитовидной железы (Панькив В.И., 2014, Бирюкова Е.В., 2017, Голубкина Н.А., 2015). Сочетанный прием йода и селена рекомендован Европейской тиреоидной ассоциацией (European Thyroid Association) с целью полноценной йодной профилактики в условиях природного дефицита йода (Hennemann G., 2004).

1.6. Решение проблемы йододефицита

В 1997 году ICCIDD, ЮНИСЭФ и ВОЗ в Мюнхене была организована конференция "Ликвидация йододефицитных заболеваний (ЙДЗ) в центральной и восточной Европе, СНГ и странах Балтии". На ней были представлены данные о распространенности и положении дел с профилактикой ЙДЗ в 28 странах этой части Европы. Было показано, что

йодный дефицит во многих регионах Восточной Европы представляет крайне серьезную проблему, и во многих странах, в частности, в России, после прекращения массовой йодной профилактики путем йодирования соли, отмечен значительный рост заболеваемости зобом и даже выявлены отдельные случаи эндемического кретинизма (Delange F., Robertson A., 1998).

На основании данных литературы, опубликованных к 2002 году, можно констатировать, что в 14 из 31 страны западной и центральной Европы достигнут нормальный уровень потребления йода. В странах, где имеется дефицит йода, для профилактики эндемического зоба к поваренной соли добавляют соединение йода в виде йодида или йодата (концентрацией от 5 (Босния, Норвегия, Словения) до 70 ppm (Швеция, Турция, Испания) (Деланж Ф., 2003). Исследования показали, что за счет увеличения производства, обеспечения и потребления йодированной соли, произошел существенный прогресс на пути ликвидации ЙДЗ в странах восточной Европы и Центральной Азии (Деланж Ф., 2003). Умеренный дефицит йода может присутствовать даже на прибрежных территориях, например в Латвии (Konrade I., с соавт., 2014), Австралии (Доклад департамента здравоохранения Австралии, Prepared for APHDPC December 2007).

В настоящее время около 300 миллионов человек в мире имеют клинические проявления недостатка йода в организме – эндемический зоб и гипотиреоз (снижение активности щитовидной железы). Еще полтора миллиарда человек имеют вполне реальный шанс к ним присоединиться из-за хронического дефицита йода в организме. Около 20 млн. человек в мире имеют недоразвитие интеллекта из-за того, что в детстве их организм не получал йода в достаточном количестве. В отличие от инфекционных заболеваний (натуральной оспы или полиомиелита) йоддефицитные заболевания (ЙДЗ) нельзя ликвидировать раз и навсегда. Причина их возникновения лежит в неустранимой экологической недостаточности йода в почве и воде, ведущей к дефициту этого микронутриента в продуктах питания (Осокина И.В., 2013). В странах Ближнего Востока и Северной

Африки ситуация с ЙДЗ варьируется между странами. В Тунисе, Иране, Исламской Республике проблема ЙДЗ решена (Azizi F., Mehran L., 2004). Проблема ЙДЗ в Ираке, Афганистане и Пакистане были признана тяжелой. В Марокко, Судане, Саудовской Аравии отмечается умеренной йододефицит (R.Alsanoush с соавт., 2012).

Более 50% субъектов Российской Федерации являются йоддефицитными. Более 60% населения проживает в регионах с природно-обусловленным дефицитом этого микроэлемента (Постановление Главного государственного санитарного врача, 2013). В настоящее время жители нашей страны в среднем употребляют 40–80 мкг йода в сутки, в то время как в США на среднего жителя приходится 400–800 мкг, в Японии – 1500 мкг в сутки (Ефремов А.А. с соавт., 2002).

В Российской Федерации практически не существует территорий, на которых население не подвергалось бы риску развития йоддефицитного зоба. Зарегистрировано значительное распространение дефицита йода различной степени выраженности. Местность относят к эндемической, если не менее 10% ее населения имеют эндемический зоб (Строев Ю. И., Чурилов Л. П., 2005).

Наиболее распространен йодный дефицит в предгорных и горных районах Северного Кавказа, Урала, Алтая, Дальнего Востока, Поволжья. Центром по йододефицитным заболеваниям Минздрава России при непосредственном участии региональных специалистов дефицит йода выявлен в 30 субъектах РФ. Таким образом, он зарегистрирован на одной трети административных территорий России. При высокой распространенности йодного дефицита, в некоторых регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока обнаружены очаги тяжелой йодной недостаточности (в республиках Саха- Якутия, Тыва, Хакасия, некоторых районах Архангельской области, Красноярском крае) (Горбачев А.Л., 2013, Осокина И.В., 2000, 2001, 2003, 2005, Osokina I.V., 2013).

Зобная эндемия рассматривается как проявление реакций тиреоидной дизадаптации человека на комплекс неблагоприятных природно-климатических и социально-экологических факторов. Зобная эндемия наблюдается не только в йоддефицитных, но и в экологически неблагополучных регионах, в биосфере которых присутствуют природные струмогены (зобогенные факторы). Учитывая значительное распространение в России регионов как дефицитных по йоду, так и экологически загрязненных, эндемический зоб в настоящее время чаще имеет смешанный характер, т. е. в генезе зоба принимают участие так называемые «неспецифические» струмогены. К их числу относят и нарушенный микроэлементный фон окружающей среды. Избыток или дефицит некоторых эссенциальных микроэлементов (Se, Co, Cu, Mn), контролирующих синтез йодированных гормонов, может блокировать усвоение йода, нарушать синтез и обмен тиреоидных гормонов, что включает структурные механизмы усиления функции щитовидной железы (Горбачев А. Л. С соавт., 2007; Schomburg L., Köhrle J., 2008; Кубасова Е.Д., Кубасов Р.В, 2009; Schumm-Draeger P.M., 2004).

Согласно рекомендациям ВОЗ в мире используется четыре метода йодной профилактики: йодирование соли (Северная Америка, Европа, в том числе СНГ), хлеба (Австралия, Голландия, Россия), масла (Южная Америка), прием йодистых препаратов (антиструмин, раствор Люголя) (А.А. Жучков, Р.П. Беликов, 2013). В ряде стран использовались программы иодизации воды: Мали, Буркина Фасо, Центрально – Африканская Республика, Судан, Таиланд, Малайзия, Китай, Чили, Мексикаи Камбоджа (Hetzel B.S., 1996, Gerasimov G., 2008)

Рациональная профилактика способна ликвидировать эндемический зоб и оздоровить население России, на территории которой дефицит йода неоднороден. В большинстве районов России зоб смешанного генеза. Дефицит и избыток йода равно зобогенные. Одна йодная профилактика не приведет к полной ликвидации зоба. Поголовная йодная профилактика в

регионах без дефицита йода может привести к тиропатиям. Высокая частота аутоиммунного тироидита требует осторожности с поголовным применением йодированной соли и морской капусты (ламинарии). Программа снабжения населения йодированной солью должна быть научно обоснованной и базироваться на данных содержания йода в продуктах питания (Строев Ю. И, Чурилов Л. П., 2005). В Саудовской Аравии возникла проблема передозировки йода у населения в связи с избыточным йодированием поваренной соли, которая может обернуться риском неблагоприятных последствий для здоровья, таких как йод-индуцированный гипертиреоз и аутоиммунные заболевания щитовидной железы. (R. Alsanousy с соавт., 2012).

Применение витаминно-минеральных комплексов (ВМК), содержащих йод не всегда эффективно. В Омске проводилось контролируемое экспериментальное эпидемиологическое исследование для оценки влияния курсового приема ВМК с фитонутриентами «Nutrilite Double» производства США. Эта добавка содержала 9 микроэлементов, в том числе, йод. Эффект двухмесячного приема ВМК оценивался по изменению содержания химических элементов в волосах, определяемому методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. В исследовании зарегистрированы низкие уровни содержания йода. Эффективность ВМК в отношении улучшения обеспеченности йодом не установлена (Турчанинов Д.В., 2013).

Поваренная соль с добавками йодида калия мало эффективна, так как во время хранения теряет йод. Потеря упаковкой ее герметичности приводит к снижению содержания микроэлемента в соли в течение 2 месяцев на 40-65%. При хранении пищевой соли, йодированной йодистым калием, в течение 3 месяцев потери составляют 65-100% (Спиридов А.А., 2010). Кроме того, при нагревании йод частично улетучивается, поэтому добавлять такую соль целесообразно только в холодные блюда. Соль также обогащают йодатом калия – более устойчивым соединением, но при применении такой

соли в пищу становится актуальной проблема передозировки йода. Были предложены другие методы обогащения продуктов питания йодом: йодированные дрожжи, йодированные яйца (в корм курам добавляли йод), а также обогащение куриного мяса и коровьего молока при помощи йод-полимерного лекарственного средства для животных (Спиридов А.А., 2010). По результатам проведенных исследований доказано: йод в дрожжах не сохраняется, а содержание его в яйцах очень низкое (Жучков А.А., Беликов Р.П., 2013). Однако, в Таиланде проводились исследования потребления яиц, обогащенных йодом на добровольцах. Результаты показали, что средний уровень йода в моче до и после употребления обогащенных яиц отличался, а также, что этот метод устранения йодного дефицита относительно недорог (W. Charoensiriwatana с соавт., 2010). В Республике Тыва в 2002 году совместно с KIWANIS International, Университетом Дьюка (США) и правительством республики осуществлен проект — йодизация соли для животных (Осокина И.В., 2013).

Для здорового питания населения Сибирского региона наиболее удачной формой продуктов питания являются кедровые орехи, содержащие добавки таких микроэлементов, как йод и селен. Такие работы начаты в Красноярском торгово-экономическом институте с целью создания наиболее сбалансированных блюд, способных насытить растущий организм необходимыми ингредиентами для укрепления здоровья (Ефремов А.А. с соавт., 2002).

В настоящее время в качестве йодсодержащей добавки широко используется «Йодказеин» – аналог природного соединения йода с белком молока. Он стабилен, хорошо сохраняется, что позволяет точно дозировать содержание йода в продукты. Во многих регионах страны выпускают йодированные хлебобулочные изделия, йодированные колбасные изделия, йодированный кефир, также ведется разработка рецептур других обогащенных йодом молочных продуктов (Жучков А.А, Беликов Р.П., 2013). В Орловской области проводился маркетинговый опрос населения – «Какой

йодсодержащий продукт вы бы стали употреблять в пищу?» Подавляющее большинство опрошенных предпочли бы принимать йодсодержащие продукты в виде хлебопродуктов, обогащенных йодом (Жучков А.А., Беликов Р.П., 2013).

Во многих индустриальных странах, таких, как США, Великобритания и странах Скандинавии основным источником потребляемого йода является не йодированная соль и не морепродукты, а молоко. Это объясняется использованием йодофоров при промышленном производстве молока и/или добавлением йода в корм домашним животным (Phillips D.I.E., 1997, Осокина И.В., 2013).

В России также применяется технология обогащения молочных продуктов биодоступными формами йода и селена, так как полноценное функционирование йода в организме затруднено при дефиците селена. Йод и селен метаболически тесно связаны. Селен – синергист йода.

Используется кормовая добавка «Йоддар-Zn» - ТУ 9226-002-99709146-2009 - органическая форма микроэлемента (активный компонент йод в форме йодказеина), которая обладает большей биологической доступностью по сравнению с неорганическими солями – йодидом калия, например (Короткова А.А., Горлов И.Ф., 2012). Добавление препарата в корм козоматок увеличивало содержание йода в молоке в 3,6 раза. Этот же препарат успешно применялся при откармливании бычков, выращиваемых на мясо (Горлов И., 2011). Выявлено положительное влияние кормовой добавки на интенсивность роста, формирование мясной продуктивности, убойные качества, химические и биохимические составы мяса.

Также при откорме животных на мясо применяются стабилизированные соли йодида калия в премиксах и солебрикетах (Дубкова Н.З. с соавт., 2010).

Проводился мониторинг по содержанию йода и селена в основных продуктах питания и сельскохозяйственной продукции, выращенной в России. Йод в значительных количествах присутствует в овсяных хлопьях,

фасоли, мясе, морской рыбе и сухом молоке. Необходимое суточное поступление в организм человека составляет 0,06–0,20 мг/сутки (Горбунов А. В. с соавт, 2011).

В 2011 г. состоялся круглый стол «Профилактика заболеваний, связанных с дефицитом йода в России» в ФГБУ ЭНЦ Минздравсоцразвития. Участники круглого стола установили, что предпринимаемые в течение 15 лет меры по йодной профилактике практически не оказали влияния на распространенность заболеваний, связанных с дефицитом йода в России (Осокина И.В., 2013).

Одним из перспективных мероприятий по увеличению содержания йода в продуктах питания является агрохимический метод, т.е. обогащение растений, составляющих кормовую базу животных и человека, путем применения удобрений, содержащих йод, позволяющий не только перевести их в безопасную и доступную для животных органическую форму, но и улучшить урожайность и качество растениеводческой продукции.

Итальянскими агрономами проводятся работы по обогащению йодом растений в рамках итальянского национального проекта IODOPLANT (A. Caffagni с соавт., 2012). Исследовались четыре культуры - фруктовые (нектарин и слива), а также овощные культуры (картофель и помидоры). Результаты показали лучшее накопление йода в овощных культурах, а также для лучшего сохранения йода при термической обработке предпочтительней овощи запекать, нежели отваривать.

В Китае при обогащении йодом использовали четыре овощных культуры: салат, пекинская капуста, помидоры и морковь (Chun-Lai Hong, с соавт., 2008). Удобрения применяли двух видов - KI и удобрение, содержащее органический йод, полученное из морских водорослей. KI вносился в почву из расчета 10, 25, 50, 100 и 150 мг на кг почвы. Овощи по содержанию йода в съедобной части располагаются следующим образом: пекинская капуста (высокое содержание Й) > салат > морковь > помидоры (низкое содержание Й). Органическое удобрение показало меньшую

токсичность, нежели неорганическое. При концентрации более 50 мг наблюдался хлороз и замедление роста растений.

Таким образом, из сведений, приводимых в литературных источниках, следует, что питание среднестатистического жителя центрального региона России следует считать по поступлению селена «маргинальным», а по уровню поступления йода, безусловно, дефицитным.

1.7. Обогащение микроэлементами зерновых культур

Одной из самых острых проблем в современной экологии является проблема дефицита доступных для растений форм микроэлементов в почве и их влияние на урожайность культур. Они являются источником питания растений и микроорганизмов. Пшеница является одной из главных хлебных культур России, поэтому повышение ее продуктивности – одна из важнейших задач современной агрохимической науки. Одним из резервов повышения урожайности этой культуры являются микроэлементы, применение которых в качестве микроудобрений позволяют обогащать растениеводческую продукцию.

Обогащение пищевых продуктов недостающими макро- и микроэлементами – это серьезное вмешательство в традиционно сложившуюся структуру питания человека. Поэтому осуществлять его можно только с учетом научно обоснованных и проверенных практикой принципов (Тутельян В.А., 2002). В первую очередь, следует использовать те микронутриенты, дефицит которых реально существует, достаточно широко распространен и опасен для здоровья. В условиях России, это прежде всего витамины С, группы В, а из минеральных веществ – йод, железо, цинк и кальций. Для максимального эффекта от обогащения пищевых продуктов, ВОЗ были предложены следующие критерии:

- пищевые продукты, выбранные в качестве носителя питательных веществ, должны быть доступны представителям соответствующих групп риска. К таким продуктам в первую очередь относятся мука и хлебобулочные изделия, соль, сахар, молоко, напитки;
- количество добавляемого питательного вещества не должно оказывать токсического или иного вредного действия при потреблении обогащенного продукта в большом количестве. (Тутельян В.А., 2002). Ради успеха мер, направленных на улучшение питания и здоровья населения, эти меры должны иметь рекомендательный характер.

Большая работа по исследованию влияния микроэлементов на показатели качества озимой пшеницы ведется на Кубани. На основании полученных экспериментальных исследований установлено, что некорневая обработка озимой пшеницы такими микроэлементами как бор, цинк, медь, марганец, молибден и кобальт положительно влияет на минеральное питание растений, количество и качество урожая (Шеуджен А.Х., 2014). Также изучалось действия цинка, меди, кобальта, марганца, лития, бора, применяемых в виде некорневой подкормки современными хелатными комплексами на продуктивность и качество озимой пшеницы (Лебедовский И. А. с соавт., 2012).

Там же разработан патент на изобретение, которое относится к биостимулирующим и рострегулирующим средствам, предназначенным для использования при выращивании растений, с целью повышения урожая. Изобретение позволяет повысить урожайность озимой пшеницы за счет оптимизации состава питательного раствора удобрений для некорневой подкормки (Александрова Э. А. с соавт., 2009).

В Оренбурге изучали влияние поздних некорневых подкормок озимой пшеницы «Оренбургской-105» медью, селеном и йодом в сочетании с азотом. Подкормки производились на южном черноземе в начале колошения и в фазу молочной спелости. Медь вносилась в виде $(CuSO_4)$ – 0,30 кг/га; селен – в форме селенистокислого натрия (Na_2SeO_3) – 0,0025 кг/га,

йод – в форме йодистого калия (КІ) – 0,2 кг/га. Азот вносился в форме карбамида с дозой 30 кг д.в. на 1 га. Анализ результатов показал, что лучшим является вариант с внесением смеси селена, йода и азота в начале молочной спелости (Щукин В.Б. с соавт., 2009 г.). Там же проводились исследования по влиянию целого ряда микроэлементов, таких как цинк, бор, медь, селен на фотосинтетические показатели озимой пшеницы (Щукин В.Б. с соавт., 2006), также исследовались предпосевная обработка яровой пшеницы такими микроэлементами как кобальт и молибден (Харитонова С.В. с соавт., 2009.).

В полевых опытах на лугово-черноземной почве в Омске установлено, что растения озимой пшеницы положительно отзываются на опудривание семян солями таких микроэлементов, как медь, марганец, цинк. Установлено улучшение качественных показателей зерна озимой пшеницы, влияние удобрений на величину и структуру урожая (Бобренко И. А. с соавт., 2014).

В работе М.С. Дуля и др. доказаны преимущество и необходимость обогащения пшеничной муки и хлебобулочных изделий молочным йодированным белком «Биойод». Приведены результаты практического применения «Биойода» на мельнице и при выпечке хлеба. Приведены методы контроля йода (Дуля М.С. с соавт., 2014). В заключении следует отметить примеры зарубежного опыта обогащения микроэлементами, т.ч. йодом. Итальянскими агрономами проводятся работы по обогащению йодом растений в рамках итальянского национального проекта IODOPLANT (Caffagni A. , 2011, 2012, Kiferle C., 2013), есть работы по биофортifikации йодом в Китае (Chun-Lai Hong, 2008, Weng, H. X., 2008), селеном (Голубкина Н.А., 2015, Александровская А.Ю., 2016).

Применение йодсодержащих соединений для обогащения сельскохозяйственных культур представляет научный и практический интерес. На сегодняшний день существуют различные методы и дозировки применяемых йодсодержащих удобрений, которые могут использоваться для повышения, продуктивности культурных растений и качества урожая, для

повышения содержания в них микроэлемента йода, что в свою очередь приведет к улучшению йодного статуса региона. В этой связи исследования по изучению обогащения зерновых культур лугово-черноземных почвах Западной Сибири имеют особую актуальность.

2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с поставленной целью и задачами в 2013-2015 гг. были проведены полевые и лабораторные исследования, включающие 4 основных блока (2 лабораторных, вегетационный, полевой опыты).

Объектами исследований являлись: микроэлемент йод в виде иодида калия, лугово-черноземная почва южной лесостепи Омской области, зерновые культуры: яровая мягкая пшеница сортов Памяти Азиева и Омская 36, озимая пшеница сорта Омская 4, озимая рожь Сибирь, яровой овес сорта Иртыш 13, яровой ячмень сорта Омский 87.

2.1.Характеристика объектов исследования

2.1.1. Характеристика почвы опытного участка

По выраженности природных условий и по приуроченности почв к ландшафтам территории Омской области разделена на три зоны: южно-таежную лесную, лесостепную (с подразделением ее на северную и южную) и степную (Мищенко Л. Н., Мельников А. Л., 2007).

Полевые опыты проводились на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Омской области.

При ведущих зональных факторах почвообразования (климат, растительность, рельеф) и одновременном действии местных интразональных (многочленные или засоленные почвообразующие породы, высокий уровень грунтовых вод, нередко минерализованных, микрорельефность и слабая дренированность территории) факторов в Западной Сибири сформировался исключительно сложный комплексный почвенный покров, сильно отличающийся от европейской части России (Градобоев Н. Д., 1960; Рейнгард Я. Р., 2009).

Ведущим почвообразовательным процессом в Западной Сибири является черноземный. Черноземы и лугово-черноземные почвы занимают 25,9% площади Омской области. Почвы южной лесостепи отличает сочетание черноземов обыкновенных, лугово-черноземных почв в комплексе с солонцами, солончаками, солодяями. Согласно классификации и диагностики почв (Фридланд В.М., 1977, Национальный атлас почв Российской Федерации, 2011) к типу лугово-черноземных почв отнесены полугидроморфные аналоги черноземов, сформировавшиеся при уровне грунтовых вод 3-6 м или при дополнительном поверхностном увлажнении на слабодренированных пространствах.

По морфологическим признакам в пределах первого метра лугово-черноземные почвы не отличаются от черноземов. Для них характерен тот же гумусовый профиль небольшой мощности с низким и средним содержанием гумуса, глыбисто-комковатой структурой и трещиноватым сложением. Показателями луговости являются: влажность, увеличивающаяся книзу и глубинное оглеение. Наиболее четко оглеение прослеживается на подсушенных образцах. Потечность гумуса, некоторая слоистость структуры образцов породы, расплывчатые пятна карбонатов - характерные признаки луговости (Мищенко Л. Н., 1991).

Отличительной чертой омских почв является высокий процент фракции крупной пыли и мелкого песка, придающих этим почвам удовлетворительную водопроницаемость.

Агрономическая оценка лугово-черноземных почв зависит от погодных условий: в нормальные по увлажнению годы они не уступают по плодородию черноземам, в сухие – урожай может оказаться выше, в холодные – ниже. Управлять плодородием этих почв сложно (Мищенко Л.Н., 2007).

Характерной особенностью почвенного покрова южной лесостепи Западной Сибири является большая пестрота и малая мощность гумусового слоя (30 – 40 см). Маломощность гумусового слоя объясняется

гидротермическими условиями, глубоким промерзанием, поздним оттаиванием и запасами «зимнего» холода, что в целом препятствует развитию и распространению корней вглубь профиля. Отрицательным свойством этих почв является их засоленность, в основном сульфатная или хлоридно-сульфатная (Мищенко Л. Н., 1991).

Поскольку лугово-черноземные почвы имеют большое распространение в условиях южной лесостепи Западной Сибири, они и послужили объектом исследования.

Характеристика почвы опытного участка. Почвенный покров опытного поля Омского ГАУ представлен лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвой, морфологическая характеристика которой показана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Морфологическая характеристика лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы

<i>Anax</i> 0 – 28 28 см	Пахотный, увлажненный, темно-серый, слабоуплотненный, комковато-пылеватый, тяжелосуглинистый, встречаются корни. Переход в гор. В ₁ по цвету резкий.
<i>B₁</i> 28 – 54 26 см	Переходный, увлажненный, бурый с серыми потеками гумуса, среднеуплотненный, комково-пылеватый, тяжелосуглинистый. Переход в гор. В _{2к} по цвету заметный.
<i>B₂</i> 54 – 111 57 см	Переходный, увлажненный, бурый с резкими потеками гумуса, среднеуплотненный, бесструктурный среднеуглинистый. Переход в гор. В _{3к} по цвету постепенный.
<i>B_{3к}</i> 111 – 153 42 см	Переходный, увлажненный, бурый с редкими потеками гумуса, среднеуплотненный, бесструктурный, среднесуглинистый, карбонатный. Переход в гор. С _{kg} по цвету постепенный.
<i>C_{kg}</i> 153 – 193 40 см	Материнская карбонатная оглеенная порода, влажная, неоднородная, бурая с сизыми и ржавыми пятнами оглеения, бесструктурная, глинистая.

Таблица 2.2 – Агрохимическая характеристика лугово-черноземной почвы опытного участка

Годы исследования	Содержание в слое 0-30 см почвы, мг/кг		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
2013	11,0	63,0	169,0
2014	15,6	61,6	118,3
2015	14,5	64,1	127,2
среднее	13,7	62,9	138,2
Оптимальное для зерновых культур [*]	32,0	69,0	84,0

* - По Ермохину Ю.И. (Ермохин Ю.И., 1983, 1995)

Из данных таблицы 2.2 видно, что в среднем перед посевом культурных растений содержание в почве нитратного азота было недостаточно, более чем в два раза меньше оптимальной нормы, подвижного фосфора – чуть ниже оптимальных значений, содержание обменного калия превышало оптимальное значение в среднем за три года в 1,6 раз.

Таблица 2.3 – Содержание подвижных форм микроэлементов почвы опытного участка в слое 0-30 см (2013-2015 гг.)

Вариант	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы					
	Cd	Ni	I	Zn	Pb	Cu
Фактическое содержание	0,04– 0,08	0,4– 0,6	2-4,4	0,5– 0,8	0,5– 1,5	0,2– 0,4
ПДК	0,5*	4**	5-40***	23**	6**	3**

Примечание: * ПДК представлено по литературным источникам (Ильин В. Б., 1991; Ермохин Ю. И. с соавт., 1998)

** Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

*** Оптимум (согласно критериям В.В. Ковальского)

Согласно данным таблицы 2.3 содержание микроэлементов в лугово-черноземной почве не превышало установленных ПДК. Что касается йода, то из-за отсутствия установленного ПДК, его содержание в почве соотнесено с критериями В.В. Ковальского (Ковальский В.В., 1972), согласно которым, количество микроэлемента в лугово-черноземной почве недостаточно (глава 3).

2.1.2. Зерновые культуры, используемые в исследованиях

В опытах использовались следующие зерновые культуры: яровая мягкая пшеница сортов Памяти Азиева и Омская-36, озимая пшеница сорта Омская-4, озимая рожь Сибирь, яровой овес сорта Иртыш 13, яровой ячмень сорта Омский 87.

Яровая пшеница (Triticum aestivum) сорт *Памяти Азиева*. Сорт мягкой яровой пшеницы Памяти Азиева создан в Государственном научном учреждении Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук (СибНИИСХоз).

Сорт среднераннего типа, созревает за 79 суток. Авторы сорта: В.А. Зыкин, В.С. Суслаков, И.А. Белан и др. Родословная сорта: Саратовская 29 / Лютесценс 99/80-1. Масса 1000 зёрен 35-36г.

Высокоурожайный, максимальная урожайность составила 52,0 ц/га. Устойчивость к полеганию на уровне стандарта (4,6-4,9 балла). Устойчивость к засухе и к мучнистой росе высокая. Среднеустойчив к пыльной головне; к твердой головне и бурой ржавчине сильно восприимчив. Хлебопекарные качества соответствуют требованиям, предъявляемым к сильной пшенице. Характеризуется высокой потенциальной урожайностью, большим количеством зерен в колосе и продуктивностью колоса.

Пшеница сорта Памяти Азиева отличается высокой экологической пластичностью в комфортных условиях, средней стабильностью - в стрессовых. Сорт Памяти Азиева занесен в Госреестр по Средневолжскому и Западно-Сибирскому регионам с 2000 г. и рекомендован для возделывания в хозяйствах северной, южной лесостепи и степи нашего региона. Включен в список сортов сильной пшеницы. (Полевые культуры Западной Сибири, 2002, Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011).

Яровая пшеница сорта Омская-36. Сорт мягкой яровой пшеницы Омская-36 создан в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (СибНИИСХоз) совместно с фирмой «Кургансемена». Масса 1000 зёрен 39–46 г Авторы сорта: В.А. Зыкин, И.А. Белан, Л.Р. Рассеева и др.

Биологические особенности на уровне сорта Памяти Азиева. Сорт среднеранний, вегетационный период 87 суток, Устойчивость к засухе высокая. Устойчивость к полеганию на уровне стандарта Памяти Азиева.

Сорт с высокой урожайностью и с хорошими хлебопекарными качествами зерна. Обладает устойчивостью к листовым патогенам. (Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011, /, Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

*Озимая пшеница (*Triticum aestivum L.*) сорта Омская 4.* Создан в Государственном научном учреждении Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Масса тысячи зерен: 34,2-45,6 г. Авторы сорта Р.И. Рутц, В.Р. Бородулин и др. Сорт среднеспелый. Основное достоинство – высокая продуктивность, устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды. Зимостойкий, устойчив к полеганию. По качеству зерна относится к классу ценных пшениц (Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011, / Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

Яровой овес (Avena L.) сорта Иртыш 13. Овес Иртыш 13 создан в Государственном научном учреждении Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Масса тысячи зерен: 37,6 -42,6 г. Авторы сорта: В.И. Богачков, Н.Г. Смишук, А.И. Мирошниченко и др. Благодаря высокому иммунитету к болезням, крупности зерна и довольно высокому потенциалу урожайности зерна и зеленой массы, сорт Иртыш 13 вполне конкурентоспособен в Западной Сибири.

Семена овса Иртыш 13 пользуются спросом в хозяйствах региона. В 2008г. площадь посева в Сибири составила более 45 тыс. га на зерно и почти столько же на посев однолетних трав.

Сорт может быть использован на зерно, кормовые цели и в пищевой промышленности. Иртыш 13 занесен в список ценных сортов. (Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011, Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

Озимая рожь (Secale cereale) сорта Сибирь Сорт озимой тетраплоидной ржи Сибирь создан в Государственном научном учреждении Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Авторы сорта: Р. И. Рутц, Е. В. Веревкин, И. С. Попова и др.

Основное достоинство – высокие зимостойкость, продуктивность технологичность, хорошее качество зерна. Средняя урожайность сорта по ГСУ варьировала от 1.55 до 5.16 т/га. По качеству зерна находится на уровне лучших сортов, имея массу 1000 зерен 34-35 г.

Коммерческая ценность сорта Сибирь состоит в его достоверных преимуществах: зимостойкости, продуктивности, устойчивости к засухе и полеганию, качестве зерна, высоких экономических показателей при выращивании в Омской, Кемеровской, Тюменской областях (Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

Яровой ячмень (Hordeum) сорта Омский 87 Сорт ярового ячменя Омский 87 создан в Государственном научном учреждении Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Масса тысячи

зерен: 47-54 г. Авторы сорта: Н.М. Федулова, Н.И. Аниськов, К.Г. Азиев, и др. (Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011, Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

Впервые для условий Западной Сибири получен среднеспелый сорт ярового ячменя, сочетающий в себе высокий потенциал продуктивности (3,0-6,2 т/га), отличные качества зерна, повышенную стабильность урожайности, а также устойчивости к абиотическим стрессорам.

Благодаря высокому и стабильному потенциалу продуктивности, хорошим кормовым, крупяным и пивоваренным качествам зерна Омский 87 вполне конкурентоспособен в Западно-Сибирском регионе России, где он внесен в Госреестр. Основное достоинство – повышенная стабильность урожайности в сравнении с районированными сортами. Включен в списки ценных сортов.

Коммерческая ценность сорта Омский 87 состоит в его достоверных преимуществах перед стандартом в плане стабильности урожайности, устойчивости к абиотическим стрессорам, технологичности возделывания и переработки зерна, хороших экономических показателей при выращивании в хозяйствах. Патент № 0009, выдан в 1993 г. (Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ, 2011, Полевые культуры Западной Сибири, 2002).

2. 2. Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований

Территория Омской области расположена на юге Западно-Сибирской низменности, по среднему течению р. Иртыш. Поверхность области представляет собой пологоволнистую равнину с незначительным уклоном с юга на север. Плоскоравнинный характер поверхности, открытость ее территории как с севера так и с юга способствует беспрепятственному

проникновению холодных арктических масс воздуха с севера и теплых сухих – из Средней Азии. Это обуславливает формирование резко континентального климата, который формируется под сильным воздействием физических свойств суши: суровой продолжительной зимы, короткого и жаркого лета, непродолжительного безморозного периода. Летом быстро и сильно прогревается, а зимой также быстро охлаждается. (Агроклиматические ресурсы, 1971, <http://omsk-meteo.ru/index.php?section=content&page=klimatomsk>).

Температурный режим отличается резкими колебаниями по годам, по месяцам и даже в течение суток. Абсолютная годовая амплитуда температуры воздуха довольно значительна ($80-90^{\circ}\text{C}$), что подчеркивает резкую континентальность климата. Характерна большая изменчивость средних температур.

Неблагоприятной чертой климата являются поздние весенние и ранние осенние заморозки, что обуславливает короткий безморозный период. Переход среднесуточной температуры воздуха через 10°C происходит весной в середине мая, осенью в середине сентября. Помимо резких колебаний температуры в течение года, климат области отличается сухостью, недостатком осадков, малой облачностью. Данные мониторинга современного климата России показывают тенденцию к потеплению. Рост среднегодовой температуры воздуха отмечается в основном за счет потепления зимне-весеннего периода. Летом рост температуры воздуха отмечается меньше, чем зимой. По изменениям среднегодовой температуры воздуха в г. Омске за весь период метеорологических наблюдений (124 года) прослеживается тенденция к потеплению. В г. Омске с 1888 по 2014 гг. средняя годовая температура воздуха составила $0,9^{\circ}\text{C}$ (<http://omsk-meteo.ru/index.php?section=content&page=klimatomsk>).

По степени влагообеспеченности зона южной лесостепи Западной Сибири относится к районам неустойчивого увлажнения. Среднегодовая сумма осадков составляет 300-350 мм, большая часть которых – 70-80 %

годового количества – выпадает летом. Это сглаживает их недостаток для роста и развития сельскохозяйственных культур (таблица 2.4) (Агроклиматические ресурсы, 1971, <http://omskmeteo.ru/index.php?section=content&page=klimatomsk>).

Осадки в период вегетации выпадают крайне неравномерно. Максимум их наблюдается в июле. Отличительной особенностью зоны являются частые раннелетние, июньские засухи (Мищенко Л.Н., 2007)

Обилие света и тепла в течение вегетационного периода в значительной мере возмещает краткость периода с положительными температурами и ускоряет вегетацию растений. Это является положительной стороной климата. В годы проведения исследований сложились различные метеорологические условия, количество осадков и температурный режим характеризовались типичным для зоны непостоянством (таблица 2.4) (Агрометеорологический бюллетень, 2013, 2014, 2015).

Таблица 2.4 – Характеристика климатических условий южной лесостепи

Омской области в период вегетации растений

Показатель	Значения
Период вегетации, дней	165 – 170
Безморозный период, дней	115 – 120
Период с температурой выше 10 °C, дней	125 – 130
Сумма среднесуточных температур воздуха за период выше 10 °C, °C	1900 – 2000
Осадки за год, мм	300 – 350
Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см к началу вегетации, мм	120 – 150
Осадки за май-август, мм	200 – 220
Суммарное испарение за период вегетации, мм	250 – 280
Коэффициент увлажнения по Ю. И. Чиркову	0,98
Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову	1,05
Коэффициент увлажнения по В. С. Мезенцеву	0,60

Метеорологические условия вегетационных периодов 2013-2015 гг. представлены в приложении 1.

Вегетационный период 2013 года характеризовался неравномерным выпадением осадков: значительные дожди проходили в мае, июле и августе, июнь же наоборот оказался засушливым, количество осадков резко снижено по сравнению с нормой. Средняя температура за период вегетации ниже на 2 - 8 °C, по сравнению с данными 2012 года, исключая май, где максимальная температура на 5,8 °C выше прошлогодней.

Май. Преобладала прохладная дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха за май составляла 8...11°C, что на 1,5-2,5° С ниже климатической нормы. Переход через +10°C осуществился в апреле 21 числа, раньше многолетних значений на 17-23 дня. Осадки выпадали во всех декадах, особенно дождливые были 1 и 2 декады. Месячная сумма осадков на большей части территории области составила 36-66 мм (103-194% от многолетнего количества). Солнце в течение месяца светило 109 - 132 часов, что на 20 - 25 часов больше чем обычно. Максимальная скорость ветра 12 - 20 м/с (Агрометеорологический бюллетень, 2013).

Июнь характеризовался прохладной погодой с большим недостатком осадков. Среднемесячная температура воздуха составила 14 - 17°C, что на 1-2°C ниже нормы. Осадки в июне выпадали ливневого характера, по территории и количеству распределялись неравномерно. Месячная сумма осадков составила 16 - 30 мм (35 - 60% от среднемноголетнего значения). По среднестатистическим данным такое малое количество осадков в июне в Омске отмечается 1 раз в 11 - 15 лет. Средняя относительная влажность воздуха составила 51 - 69, что около нормы. Солнце в течение месяца светило 340 - 380 часов, что на 45 - 70 часов больше чем обычно. Максимальная скорость ветра 11 - 19 м/с.

Июль. В первой декаде сохранилась прохладная погода с обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 18 - 19°C, что на 1°C ниже нормы, 2 июля отмечались заморозки интенсивностью -2.. -2,5°C.

Осадки выпадали во всех трех декадах, но наиболее интенсивнее наблюдались во второй. Месячная сумма осадков составила 80 - 140 мм (120 - 225% от нормы). По среднестатистическим данным такие обильные осадки в июле в Омске – отмечаются 1 раз в 8 лет. Средняя относительная влажность воздуха составила 69 – 77%, больше нормы на 6 - 10%. Солнце в течение месяца светило 265 - 316 часов, что на 10 часов больше чем обычно. Максимальная скорость ветра 12 - 19 м/с.

Август характеризовался теплой погодой с обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 16 - 18°C, что на 0,3 - 1,6°C ниже нормы. Осадки выпадали во всех трех декадах, но наиболее интенсивные наблюдались в первой и третьей. Месячная сумма осадков составила 55 - 84 мм (1 - 1,5 от нормы). Средняя относительная влажность воздуха составила 78-87%, больше нормы на 3 - 11%. Солнце в течение месяца светило 200-253 часов, что на 29 - 51 часов меньше нормы. Максимальная скорость ветра 11 - 17 м/с.

В *сентябре* преобладала умеренно теплая погода с недостатком осадков на большей территории области. Среднемесячная температура воздуха составила 9 - 11°C, что около нормы. Осадки выпадали во всех трех декадах, но наиболее интенсивные наблюдались в первой декаде сентября. Месячная сумма осадков составила 16 - 30 мм (40 – 80% от нормы). Средняя относительная влажность воздуха составила 65 – 81%, больше нормы на 1 - 5%. Максимальная скорость ветра 11-14 м/с.

Таким образом, вегетационный период 2013 года характеризовался относительно жаркой погодой с неравномерным распределением осадков по декадам.

Вегетационный период 2014 года.

В *мае* отмечалось повышение температуры больше нормы в первые две декады и недостаточное количество осадков. Третья декада характеризовалась температурой воздуха 9,5°C, что ниже среднемноголетней на 4°C. Переход среднесуточной температуры воздуха через +10°C в сторону

повышения осуществился 30.04 – 1.05 , на 8-21 день раньше средних дат. Средняя относительная влажность воздуха колебалась от 45% в начале месяца до 62%. Максимальная скорость ветра достигала 15-21 м/с. Солнце светило 267-339 часов на 18-43 больше, чем обычно.

Июнь. Преобладала теплая сухая погода. Первая декада июня характеризовалась недостаточным количеством тепла, в последующие дни месяца средняя температура воздуха была близка к среднемноголетней (15° - 20° С). Весь месяц наблюдался недостаток осадков (16-29 мм), общая доля осадков за месяц от среднемноголетнего количества составила 87%. Средняя влажность воздуха 52 – 63%. Максимальная скорость ветра достигала 15 м/с. В начале месяца наблюдалась небольшая засуха.

Июль. Месяц характеризуется большим количеством осадков, но недостатком тепла. Среднемесячная температура месяца составляла 15...18°C, что ниже нормы на 2,5-4°C. Такой холодный июль бывает один раз в 12-15 лет. Осадки выпадали во всех декадах, особенно в первой и второй. Количество осадков за месяц составило 87-185 мм, что составляет 1,5-2,5 нормы. Такие обильные осадки бывают 1 раз в 2-3 года. Относительная влажность воздуха – 63-81% (6-10% выше нормы). Максимальная скорость ветра 15-17 м/с.

В августе преобладала очень теплая, во второй декаде дождливая погода. Среднемесячная температура – 17...20°C. Отклонения составили 1,9° – 3,8°C. Это был самый теплый месяц лета. Такой теплый август наблюдался в центральных и южных районах области 1 раз в 20-25 лет. Наибольшее количество осадков выпало в течение второй декады августа. В целом за месяц количество осадков составило 28-57 мм, что составляет 62-108% от многолетнего количества. Максимальная скорость ветра 14-18 м/с. (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2014).

Таким образом, вегетационный период 2014 года характеризовался достаточно большим количеством влаги, неравномерно распределенным во времени и на территории. Количество осадков ниже нормы наблюдалось

только в июне, в июле и августе же количество осадков превышало норму практически в два раза, что компенсировало недостаток влаги в почве. Также вегетационный период 2014 года отмечался меньшими по сравнению с нормой температурами, превышение температуры над нормой наблюдалось в первой – второй декаде июня и в августе.

Вегетационный период 2015 года.

В мае преобладала теплая, дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха составляла 12...15°C, на 2-3°C выше климатической нормы. Переход среднесуточных температур воздуха через +15°C в сторону повышения осуществился в большинстве пунктов области 31 мая. Дожди выпадали во всех декадах. Месячная сумма их на большой территории области составила 29-39 мм (1-1,5 нормы). Средняя относительная влажность воздуха 55-67% (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2015).

Июнь характеризовался очень теплой дождливой погодой. Максимальная температура воздуха повышалась до 31-34°C. Минимальная температура воздуха понижалась до 3...10°C. Средняя температура воздуха составила в июне 19-21°C, что на 2-3°C выше климатической нормы. Интенсивные осадки выпадали в первой и второй декадах. На большей территории области осадков выпало 51-82 мм (100-186% от нормы).

В июле преобладала прохладная дождливая погода. Максимальная температура повышалась до 30°C. Минимальная температура понижалась до 5-7°C. Средняя температура воздуха 17-19°C оказалась ниже климатической нормы на 1-2°C. Месячная сумма осадков в большинстве пунктов области составила 51-92 мм. Средняя относительная влажность воздуха 66-75%. Максимальная скорость ветра 18-20 м/с.

В августе наблюдалась холодная, на большей территории дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха составила 13...17°C, что является ниже многолетних значений на 1-2°C. В приземном слое 24 и 25 августа в большинстве пунктов зарегистрированы первые заморозки

интенсивностью 0...-2°C. Осадки выпадали во всех трех декадах, самые обильные в третьей. За месяц в большинстве пунктов осадков выпало 42-102мм. Средняя относительная влажность воздуха 66-85% (около нормы). Максимальная скорость ветра 13-19 м/с.

В *сентябре* преобладала прохладная, с небольшим недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составляла 8...11°C, близка к многолетним значениям. Месячная сумма осадков составляла 28-45 мм (1-1,5 нормы). Средняя относительная влажность воздуха 71-80% (больше нормы на 1-3%).

В вегетационный период 2015 года наибольшее количество осадков выпало в августе. За период с мая по август норма месячных осадков была превышена в мае, июне и августе. В июле количество осадков снижено по сравнению с нормой. Также вегетационный период 2015 года отмечался меньшими по сравнению с нормой температурами в июле и в августе.

Таким образом, погодные условия в годы исследований были различны как по тепло-, так и по влагообеспеченности (приложение 1). В целом они отражали основные черты климата – недостаток влаги, высокие летние температуры и резкие их колебания.

2. 3. Методика проводимых исследований

Исследования проводились согласно схеме, представленной на рисунке 2.3



Рисунок 2.1. – Схема проводимых исследований

Влияние микроэлемента йода на агрохимические, микробиологические свойства почвы и ее фитотоксичность

Для изучения роли йода при различных способах внесения йодсодержащих удобрений на рост, развитие и продуктивность зерновых

культур использовали иодид калия. Иодистый калий, KI — калиевая соль иодоводородной кислоты. Бесцветная кристаллическая соль, широко используемая в качестве источника иодид-ионов. Хорошо растворим в воде. Молярная масса 166,003 г/моль. Массовая доля йода в составе молекулы — 76,4% (в пересчете на химически чистое вещество) (Розен Б.Я., 1970).

Большинством российских и зарубежных исследователей в качестве йодсодержащих удобрений для растений применяется иодид калия. Кашиным В.К. (Кашин В.К., 1987) использовались три вида микроудобрений: свободный йод, иодид калия и иодат калия, которые расположены в порядке уменьшения токсичности для растений. Выбор иодида калия в качестве удобрения связан с тем, что в растениях не возрастают количество нитратов, какое наблюдается при применении иодатов (возможно восстановление иодата до иодида под действием нитроредуктазы (Голубкина Н.А., 2015). Кроме того, показана эффективность применения иодида калия на лугово-черноземной почве южной лесостепи Омской области под овощные культуры (Ермохин Ю.И., 2010).

Лабораторный опыт по оценке влияния йода на микробиологическую активность почвы заложен в 3-х кратной повторности по следующей схеме: контроль, KI в дозе 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24,27 кг/га (0,4; 1,3; 2,5; 3,8; 5,0; 6,3; 7,5; 8,8; 10,0; 11,3 мг/кг).

Проводили компостирование почвы с инкубацией 21 сутки. По окончании эксперимента в почве в данных образцах определяли содержание йода, численность микроорганизмов, ферментативную активность почвы, фитотоксичность почвы.

В лаборатории микробиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (ФГБНУ СибНИИСХ) (ныне ФГБНУ «Омский аграрный научный центр») путем высея на твердые питательные среды по общепринятым методикам (Теппер Е.З., 1993) определяли численность почвенных микроорганизмов: бактерий, утилизирующих

органические соединения азота на мясо-пептонном агаре (МПА); микроорганизмов, потребляющих минеральный азот на крахмало-аммиачном агаре (КАА); олигонитрофилов на среде Мишустиной; фосфатмобилизующих бактерий на среде Муромцева-Герретсена. Водный выщелоченный агар с добавлением двойной соли фосфорной кислоты использовали для нитрификаторов, подкисленную среду Чапека – для грибов. Посев осуществлялся методом последовательных разведений (Аристовская Т. Е. и соавт., 1962).

Анализ ферментативной активности почвы проводился в воздушно-сухих образцах: инвертазы по Купревичу, уреазы по Гофману, каталазы – газометрически (Хазиев Ф.Х., 1982).

Фитотоксичность почвы определяли по методике В.Г. Минеева (Минеев В.Г., 1991), в качестве тест-объекта использовались семена редиса красного с белым кончиком. Из 11 почвенных проб получали почвенные вытяжки путем взбалтывания на ротаторе с дистиллированной водой в течение 2,5 часов. Семена редиса помещались в почвенные вытяжки на 24 часа, затем по 50 штук (3 повторности) раскладывались по стерильным чашкам Петри (всего 1650 семян). По окончании опыта (на трети сутки) исследовали всхожесть семян, а также измеряли длину самого длинного корня и ростка, затем рассчитывалась средняя длина корней проросших семян, а также процент снижения длины по сравнению с контролем. После проводили статистическую обработку данных. Достоверной считается снижение длины корня и ростка на 20% по сравнению с контролем.

Лабораторный опыт по изучению влияния йодсодержащих соединений на всхожесть и энергию прорастания семян зерновых культур, таких как пшеница яровая, озимая рожь, яровой овес, яровой ячмень. Опыт проводился по следующей схеме в шести повторностях:

1. Контроль - намачивание дистиллированной водой
2. Намачивание раствором КІ с концентрацией I 0,0025, 0,005, 0,01, 0,02, 0,04%.

По окончании опыта (на трети сутки) измеряли длину ростка и корня, а также всхожесть семян (ГОСТ 12038-84).

Вегетационный опыт:

Вегетационные опыты по оценке влияния йода на рост и развитие различных зерновых культур проводились на кафедре экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ в 2013-2015 годах. Вегетационный метод позволяет поддерживать постоянными и в более благоприятных границах различные внешние условия: обеспечение влагой растения, выровненное корневое питание и одинаковые для всех растений условия освещения и температуры. Опыты заложены согласно общепринятым методикам (Юдин Ф. А., 1980, Дорошкевич С.Г., 2004) в шестикратной повторности методами: а) предварительного намачивания семян зерновых культур за сутки до посева различными концентрациями раствора иодида калия, б) опрыскивания растений растворами таких же концентраций, в) внесения различных доз йода в почву перед посевом.

Схема опыта:

1. Контроль
2. Намачивание раствором КI с концентрациями I 0,005, 0,01, 0,02%.
3. Опрыскивание раствором КI с концентрацией I 0,005, 0,01, 0,02%.
4. Внесение в почву КI в дозах 9 кг/га (3,8 мг/кг), 12 кг/га (5,0 мг/кг) и 15 кг/га (6,3 мг/кг).

По окончании опыта определяли биометрические показатели растений и содержание йода.

Полевые опыты проводили на опытном поле сада им. Кизюрина ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

Опыты были заложены в 2013-2015 гг. по следующей схеме:

1. Контроль
2. Фон N₆₀ P₃₀
3. Фон N₆₀ P₃₀ + опрыскивание раствором КI с концентрациями I 0,005, 0,01, 0,02%;

4. Фон N₆₀P₃₀ + основное внесение в почву KI в дозах 9, 12, 15 кг/га.

Расчет доз по методике Ю.И. Ермохина (Ермохин Ю.И., 2010). В опытах использовался районированный сорт-стандарт яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева. Удобрения иодида калия в виде сухой соли вносились вручную в пахотный слой перед посевом, опрыскивание производилось перед фазой колошения (конец июня). Анализ данных о сроках проведения некорневых подкормок йодистыми микроудобрениями показывает, что наиболее эффективное действие от них наблюдается в случае опрыскивания в фазу кущения перед выходом в трубку (Кашин В.К., 1987). Согласно данным Н.Т. Гаджимусиевой (Гаджимусиева Н.Т., 2017), максимум потребления йода в растениях пшеницы приходится на июнь.

Опыт мелкоделяночный. Площадь одной делянки 2м² (1м x2м). Норма высева пшеницы яровой 5 млн. всхожих семян на гектар, на делянку высеваются 2 гр. Глубина заделки семян 2-3см, 8 строчек на делянку. Посев проводился рядовым способом сеялкой ССФК-7 на глубину 5...6 см с коэффициентом высева 5,0 млн всхожих семян на 1 гектар в срок посева – вторая декада мая.

Отбор почвенных образцов проводили для определения нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия и микроэлементов. Почву отбирали с каждой делянки тростевым буром на глубину до 30 см, через 10 см.

Учеты и наблюдения проводили по методике Б.А. Доспехова (Доспехов Б.А., 1968, 1985). Растительные образцы отбирали в фазу колошения (чтобы действие микроудобрения уже проявилось) и в фазу полной спелости согласно методике полевого опыта. Средние пробы составляли из 10 растений. В фазах колошения и полной спелости: проводились следующие биометрические измерения: высота растения, масса растения общая, длина и масса колоса. Кроме того, в фазу колошения определяли длину флагса, ширину флагса, массу и площадь листьев.

Площадь листа рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{2}{3} AB \approx 0,67 AB, \text{ где}$$

S – площадь листа, в см^2 ; A – ширина листа у основания, в см; B – длина листа, в см (Доспехов Б.А., 1985).

Расчет фотосинтетического потенциала (ФП).

ФП характеризует продолжительность работы определённой площади листьев за соответствующий отрезок времени ($\text{см}^2/\text{сутки}$). ФП определяется по формуле А.А. Ничипоровича (Ничипоровича А.А., 1961):

$$\Phi P = (1/2 \times (S1 + S2)) \times H_1 + (1/2 \times (S3 + S4)) \times H_2 + (1/2 \times (S_n + S_{n+1})) \times H_n, \text{ где: } \Phi P - \text{фотопотенциал растений, } \text{см}^2/\text{сут.};$$

Hn – количество суток;

S₁, S₂, S_n – площадь листьев в соответствующих фазах развития, см^2 .

Также в обе фазы в надземной части растения определяли сухое вещество в 3х-кратной повторности весовым методом. Остальной материал оставляли сушить для последующего определения содержания йода в зерне и соломе, а также содержания макро – и микроэлементов в зерне.

Опытные делянки пропалывали вручную. Уборку производили с каждого варианта полевого опыта сплошным способом.

Показатели качества зерна определяли в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (ФГБНУ СибНИИСХоз) по следующим показателям: натура – ГОСТ 10840-64, стекловидность – ГОСТ 10987-76, клейковина, ИДК – ГОСТ 13586.1-68, белок – ГОСТ 10846-91 (Национальный стандарт Российской Федерации. Пшеница. Технические условия. ГОСТ Р 52554-2006).

Определение содержания йода в почвенных и растительных образцах проводилось роданидно-нитритным методом по методике Г.Ф. Проскуряковой (Г.Ф. Проскурякова, 1976) и вольтамперометрическим методом в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (г. Москва) (ММУ 31-07/04 «Томъаналит»).

Содержание макро- и микроэлементов определяли в ФГБОУ ГСАС «Ишимская» (г.Ишим), в АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва). Микроэлементы Pb, Cd, Zn, Cu определяли атомно-абсорбционным методом. (МУ МСХ РФ (ЦИНАО). Калий определяли пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97), фосфор - фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97). Определение массовой доли азота осуществлялось методом Кельдаля (ГОСТ 32044.-2012). Остальные химические элементы - масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанный аргоновой плазмой (ИСП-МС).

По окончании исследования полученные данные всех опытов подвергали статистической обработке. Оценку опытных данных и выявление взаимосвязей в системе почва–растение производили методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов Б. А., 1985; Лакин Г. Ф., 1980). Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ STATIST, EXCEL. Наименьшая существенная разница (НСР), доверительный интервал рассчитаны с 5% уровнем значимости. Повторность приведенных лабораторных и вегетационных и полевых опытов - шестикратная.

3. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА

3.1. Содержание йода в лугово-черноземной почве

Накопление йода в тканях растений находится в прямой зависимости от наличия его подвижных форм в почве. Подвижность йода в почве определяется: общим содержанием элемента, рН среды, содержанием и состоянием органического вещества (Ковальский В.В., 1974). По данным Г.А. Конарбаевой (Конарбаева Г.А., 2012), в группе зональных почв юга Западной Сибири, йодом наиболее богаты черноземы с содержанием йода в пределах 1,21 - 6,4 мг/кг. В почвах северных территорий Западной Сибири, содержание йода колеблется от следовых до 1 мг/кг (Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., 2014).

В таблице 3.1 показано содержание валового йода в лугово-черноземной почве в зависимости от доз применяемого микроэлемента.

Таблица 3.1 – Содержание валового йода в лугово-черноземной почве в зависимости от доз применяемого микроэлемента
(в среднем за 2013-2015 гг.)

Доза вносимого йода		Содержание йода, мг/кг
кг/га	мг/кг	
0	0	4,4±0,6
1	0,4	19,3±0,9
3	1,3	31,5±0,7
6	2,5	33,5±2,1
9	3,8	34,5±2,4
12	5,0	42,2±1,1
15	6,3	43,0±1,2
18	7,5	43,5±1,6
21	8,8	47,5±0,4
24	10,0	61,4±2,8
27	11,3	66,3±4,9

По данным А.И. Сысо (Сысо А.И., 2008), почвы юга Западной Сибири содержат в среднем 4 мг/кг йода, наши данные подтверждают это. Установлено, что при увеличении дозы йода, содержание этого микроэлемента в почве увеличивается прямо пропорционально дозе вносимого элемента (рисунок 3.1). Согласно уравнению, полученному на рисунке, установлен коэффициент «*b*» интенсивности действия йода. 1 кг/га внесенного микроэлемента увеличивает содержание йода в среднем в 1,74 раза.

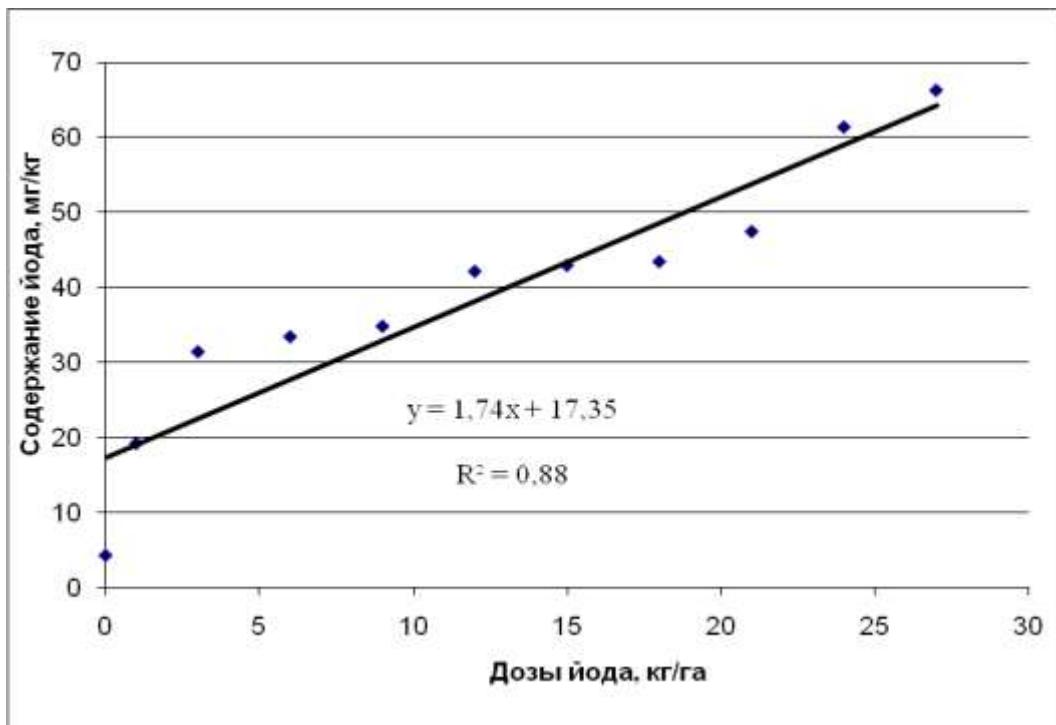


Рисунок 3.1 – Зависимость содержания валового йода от внесенной дозы

Согласно данным В.В. Ковальского (Ковальский В.В., 1974) пороговые концентрации йода в почвах таковы: меньше 2-5 мг/кг – недостаточное, 5-40 мг/кг – норма, больше 40 мг/кг – избыточное. Таким образом, почва без дополнительного внесения микроэлемента содержит недостаточное количество йода. Внесение удобрений от 1 до 18 кг/га повышает содержание йода до оптимального. Высокие дозы – свыше 21 кг/га приводят к избыточной концентрации микроэлемента в почве.

3.2. Численность микроорганизмов в лугово-черноземной почве в условиях применения йода

Широкое распространение микроорганизмов свидетельствует об их огромной роли в природе. Они обусловливают круговорот веществ и энергии в природе; от их деятельности зависит плодородие почв, формирование каменного угля, нефти, многих других полезных ископаемых. В результате их размножения происходит постоянное воссоздание живого вещества. (Ковальский В.В, 1974). Почва особенно богата микроорганизмами. Она является резервуаром и поставщиком микробов в воду и в воздух. Почвенным микроорганизмам принадлежит основная роль в превращениях, содержащихся в почве, органических и минеральных веществ. Вся масса органических веществ, которая ежегодно поступает в почву (остатки растений, трупы животных), под влиянием почвенных микробов разлагается на более простые соединения, которые являются питательным веществом для растений. (Мишустин Е.Н. , 1972, Александрова, Л.Н., 1980)

К главным микробиологическим явлениям в процессах круговорота вещества в почвах относятся: перенос элементов в клетки или из них, изменение заряда атомов элементов, взаимодействие элементов с органическими веществами, образование комплексов элементов с органическими кислотами и другими веществами, выделяемыми микроорганизмами, микробиологическая аккумуляция или мобилизация элементов, микробиологическая детоксикация загрязненной почвы (Каббата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Роль микроорганизмов в геохимических циклах макроэлементов хорошо изучена на глобальном уровне. Биогеохимические циклы микроэлементов привлекали гораздо меньше внимания. После того как стало ясно, что микробиологические трансформации соединений этих микроэлементов могут в ряде случаев приводить к повышению плодородия почв, а в других – к процессам загрязнения или очищения среды, участие

микроорганизмов в циклах микроэлементов, в особенности тяжелых металлов, стало изучаться более интенсивно (Илялетдинов А. Н., 1984).

Влиянию химических элементов на микробиологическую активность почвы в последнее время посвящены многие научные исследования. Так, например, изучено влияние в лабораторных и микрополевых опытах лантаносодержащих микроудобрений на нитрификационные процессы мерзлотных почв Забайкалья (Пигарева Н.Н., Кожевникова Н., 2009) и серых лесных почв (Маладаев А.А с соавт., 2010). Неодимсодержащие микроудобрения повышают урожай зеленой массы гороха и овощей, оказывают пролонгирующее действие на нитрификационную способность каштановой почвы (Кожевникова Н.М., Цыбикова Н.Л., 2008). Изучалось изменение микробиологической активности чернозема обыкновенного при внесении цинка и свинца (Богуславская Н.В., 2007), а также кальцийсодержащих соединений (Лазарев В.И., Трутаева Н.Н., 2007). На лугово-черноземных почвах также проводились исследования о влиянии селена на ферментативную активность и численность микроорганизмов (Синдирева А.В., Хамова О.Ф., 2011). В то же время избыточное содержание таких неметаллов как селен, бор, фтор и мышьяк приводит к ухудшению эколого-биологических свойств чернозема обыкновенного (Колесников С.И., 2008). В опытах В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987), на каштановых почвах применение йода в виде KI в дозах 5 кг/га оказалось высокое стимулирующее влияние на развитие нитрификаторов, денитрификаторов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Микроорганизмы являются важным звеном в обмене веществ в экосистемах, в основном выполняя роль редуцентов, но в некоторых экосистемах они — единственные производители биомассы — продуценты. Микроорганизмы, обитающие в различных средах, участвуют в круговороте серы, железа, фосфора и других элементов, осуществляют разложение органических веществ животного, растительного происхождения, а также

абиогенного происхождения (метан, парафины), обеспечивают самоочищение воды в водоемах (Мишустин Е.Н., 1987).

Микроорганизмы в почве образуют сложный биоценоз, в котором различные их группы находятся между собой в сложных отношениях. Дополнительное внесение микроэлементов в почву способно влиять на состояние микробного сообщества. Влияние избыточных количеств химических элементов на состояние почвенной биоты может выражаться в перераспределении микробного сообщества.

Азот – это один из основных биофильных элементов, необходимый компонент главных полимеров живых клеток – структурных белков, белков-ферментов, АТФ, нуклеиновых кислот. Он может стать доступным для живых организмов только в связанной форме, т.е. в результате азотфиксации. Круговорот азота на земле и перевод его в доступные для растений соединения осуществляются благодаря жизнедеятельности микроорганизмов. (Егоров Н.С., 1976 г.)

Азотфиксация – биологический процесс. И единственными организмами, способными его осуществлять, являются прокариоты (зубактерии и архебактерии). Эти микроорганизмы частью самостоятельно (несимбиотические группы), а частью в симбиозе с высшими растениями (симбиотические) превращают молекулярный азот (N_2) в органические соединения и интегрируют его (непосредственно или через растение) в белок, который попадает в почву. Микроорганизмы, фиксирующие молекулярный азот атмосферы называют азотфиксаторами или диазотрофами, т.е. использующими как N_2 , так и связанные формы азота. В качестве примера несимбиотических азотфиксаторов можно привести микроорганизмы родов *Clostridium* и *Azotobacter*. К группе симбиотических азотфиксаторов относят клубеньковые бактерии таких родов как *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*. Эти бактерии имеют наибольшее значение в обогащении почв связанным азотом.

К азотфиксирующим анаэробным микроорганизмам относят и олигонитрофилы. Эти бактерии фиксируют молекулярный азот в меньшей

степени, чем азотобактер (р. *Bacillus*, *Mycobacterium* и др.) (Егоров Н.С., 1976 г.)

Аммонификацией называются процессы разложения белка и других органических соединений азота с образованием аммиака. К аммонификации способны многие виды спорообразующих и не образующих спор бактерий, а также различные актиномицеты (микрофлоры-редуценты). Актиномицеты (ветвящиеся бактерии, лучистые грибки) играют большую роль в процессах почвообразования и создания плодородия почв. Им приписываются различные функции в оздоровлении почв. Актиномицеты трансформируют и разрушают сложные органические соединения (целлюлозу, гумус, хитин, лигнин и др.), недоступные многим другим микроорганизмам. Выявление численности этих микроорганизмов проводится высеиванием на КАА (крахмально-аммиачном агаре).

В условиях проведенного эксперимента установлены зависимости между дозой вносимого йода и содержанием ряда агрономически важных микроорганизмов почвы. В таблицах 3.2-3.6 и приложениях 2,3,4 представлены данные по численности микроорганизмов за 2013-2015 гг.

Таблица 3.2 – Численность микроорганизмов, участвующих в превращениях соединений азота (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Утилизирующие азот органический на МПА, млн. КОЕ/г					Утилизирующие азот минеральный на КАА, млн. КОЕ/г				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
Контроль	26,0	33,5	28,2	29,2	-	20,8	53,8	25,0	33,2	-
1	32,7	39,0	19,2	30,3	+3,7	26,5	45,4	25,0	32,3	-2,7
3	32,0	38,7	20,2	30,3	+3,7	26,5	29,3	20,0	25,2	-23,9
6	33,5	39,1	20,5	31,0	+6,2	22,2	31,4	18,0	23,9	-28,0
9	36,0	34,1	23,9	31,3	+7,2	21,3	33,5	19,3	24,7	-25,6
12	37,8	39,4	27,5	34,9	+19,5	27,5	23,6	25,2	25,4	-23,5
15	33,0	44,3	21,8	33,0	+13,0	29,0	54,3	20,1	34,5	+6,6
18	37,0	44,0	18,8	33,3	+14,0	41,1	56,5	21,0	39,5	+22,4
21	54,4	100,8	32,1	62,4	+113,7	49,2	60,0	30,5	46,5	+60,3
24	27,0	92,1	25,8	48,3	+65,4	40,1	62,8	21,5	41,5	+25,0
27	36,0	70,8	16,1	40,9	+40,1	35,0	52,6	17,7	35,1	+21,0

На рисунке 3.2 видно, что стимулирующее действие микроэлемента на численность сапрофитов наблюдается при дозе 21 кг/га. В среднем за годы исследования численность этой группы микроорганизмов на данном варианте увеличилась в 2,1 раз по сравнению с контролем. Численность микроорганизмов составляет 62,4 млн КОЕ /г, при содержании на контроле 29,2 млн КОЕ /г. С увеличением дозы йода его стимулирующее действие снижается, однако даже при самой высокой дозе в опыте (27 кг/га) численность микроорганизмов, растущих на МПА, превышает уровень контроля в 1,4 раза.

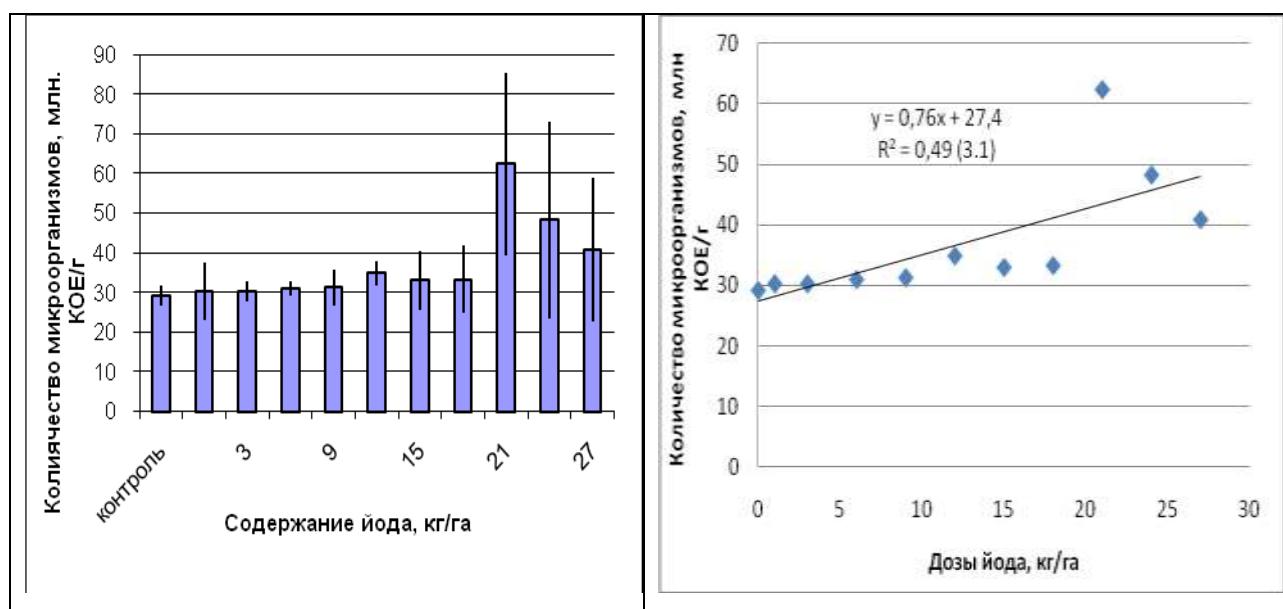


Рисунок 3.2 – Влияние йода на численность сапрофитов, растущих на МПА

Аналогичная тенденция установлена при оценке влияния йода на количество микроорганизмов, потребляющих минеральный азот на КАА.

Наибольшая численность отмечается на варианте с применением йода в дозе 21 кг/га (в среднем за годы исследования 46,5 млн КОЕ /г) (рис. 3.3), что превышает уровень контроля в 1,4 раз. Численность микроорганизмов при небольших дозах йода снижается (в дозе 6 кг/га - снижение на 28%). На рисунке показаны данные с доверительным интервалом с уровнем значимости 0,05.

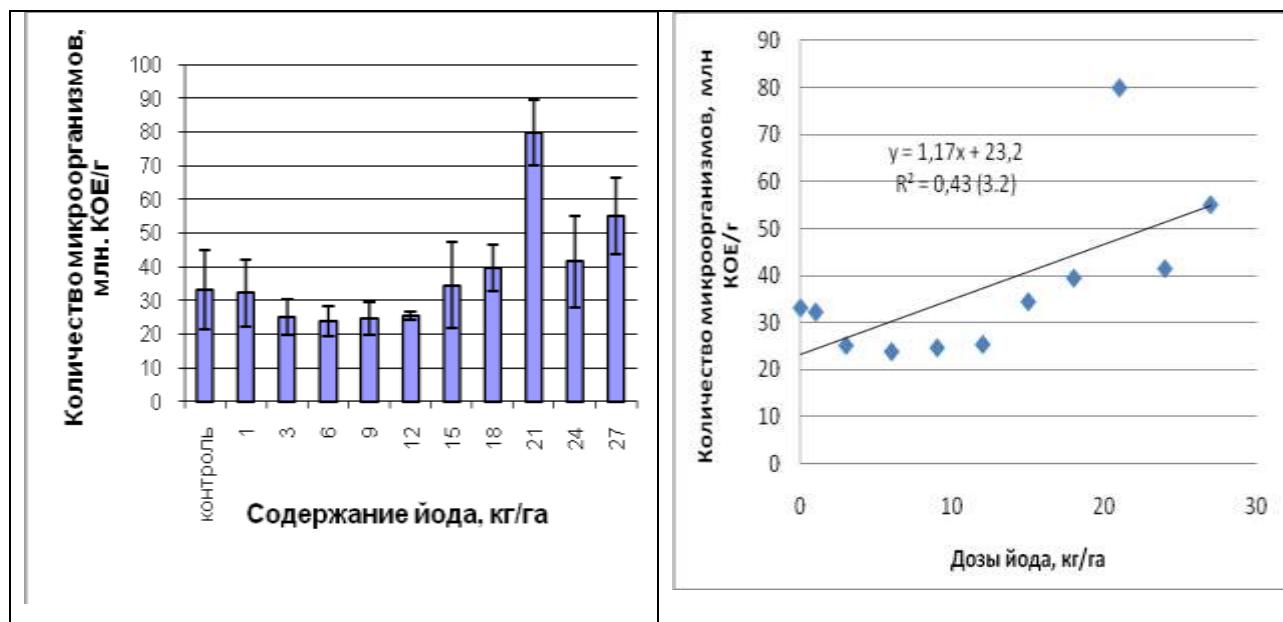


Рисунок 3.3 – Влияние йода на численность микроорганизмов, растущих на КАА

К аммонификаторам относятся и грибы. Большая часть грибов – сапрофиты, которые играют важнейшую роль в процессах почвообразования. Грибы начинают разрушение таких стойких соединений, как гумус, лигнин, хитин, клетчатку, делая возможным дальнейшее их использование другими организмами. Грибы представлены в почвах тремя большими группами (классами) – фикомицеты (р. *Mucorales*), аскомицеты (р. *Penicillium*) и несовершенные грибы (р. *Trichoderma*). Выявление сапрофитов осуществляется на МПБ (мясо-пептонном бульоне). Выявление аммонификаторов осуществляется на МПБ (мясо-пептонном бульоне), а также на среде Чапека (Егоров Н.С., 1976). В таблице 3.4 представлены данные по численности грибов.

Таблица 3.4 – Численность грибов (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Грибы, тыс. КОЕ/г				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
контроль	36,0	37,1	25,3	32,8	-
1	45,1	86,9	30,3	54,1	+64,9
3	42,0	75,6	36,0	51,2	+56,1
6	28,0	95,6	46,5	56,7	+72,9
9	42,5	64,6	33,3	46,8	+41,2
12	44,0	72,5	54,2	56,9	+73,4
15	43,4	88,3	39,2	60,0	+82,9
18	44,8	170,2	44,6	86,5	+163,7
21	32,5	67,2	41,8	47,1	+43,6
24	37,8	78,1	34,6	50,1	+53,7
27	25,0	75,8	25,0	41,9	+27,7

По мнению В.В. Ковальского (Ковальский В.В., 1974), важным является вопрос, каким образом микроорганизмы адаптируются к повышенному содержанию микроэлемента, и при какой его концентрации в почве адаптационные механизмы уже не работают. Так, максимальная численность грибов отмечается при внесении йода в почву в дозе 18 кг/га (в 2,6 раза выше по сравнению с контролем) (рис. 3.4). С превышением этой концентрации микроэлемента количество грибов снижается, однако и при максимальных дозах превышает уровень контроля.

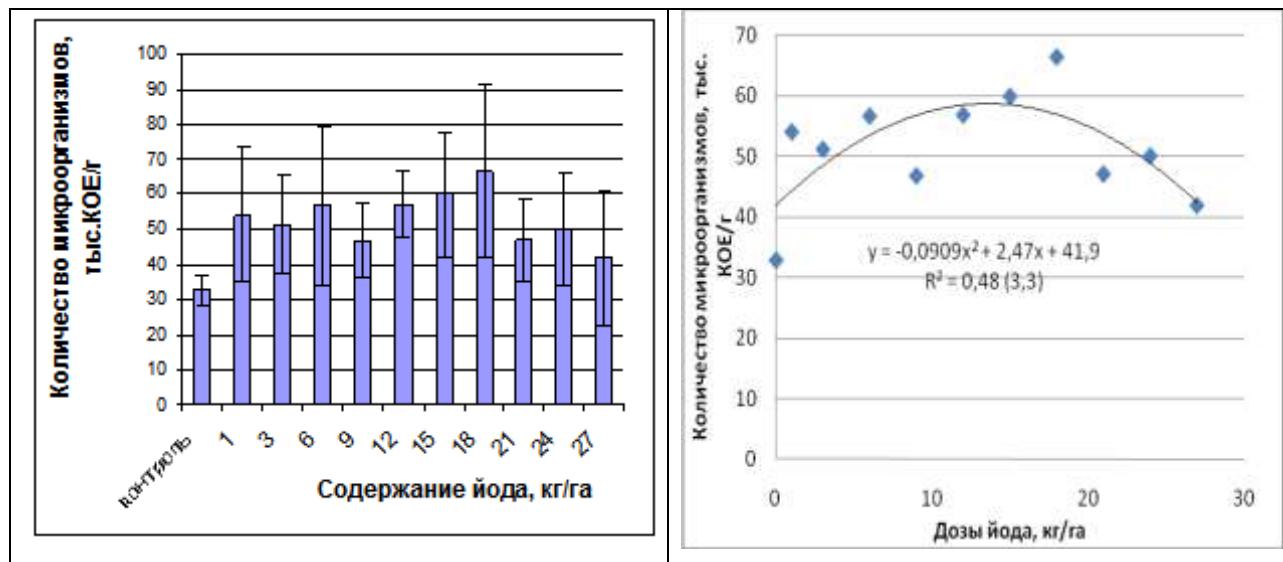


Рисунок 3.4 – Численность грибов на среде Чапека

Нитрификаторы. Существуют две группы нитрификаторов: одна осуществляет окисление аммиака до азотистой кислоты ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$) – первая фаза нитрификации, другая – окисление азотистой кислоты до азотной ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) – вторая фаза нитрификации, переход в нитраты, доступную для растений форму. Представителей обеих групп относят к семейству *Nitrobactepiale*. Интенсивность нитрификации можно использовать для характеристики агрономических свойств почвы. Йод оказывает стимулирующее влияние на данные микроорганизмы (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Численность микроорганизмов, участвующих в превращениях соединений азота (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Олигонитрофилы, млн. КОЕ/г					Нитрификаторы, тыс. КОЕ/г				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
Контроль	36,6	95,7	50,6	61,3	-	1,37	7,0	1,05	3,14	-
1	72,4	97,5	30,3	66,7	+8,8	1,55	7,6	0,89	3,34	+6,4
3	50,3	107,7	30,9	63,0	+2,8	2,44	7,5	0,76	3,57	+13,7
6	83,6	65,6	35,8	61,7	+0,7	1,47	6,6	0,83	2,97	-5,4
9	83,0	59,3	47,5	63,2	+3,1	2,09	7,5	0,45	3,34	+6,4
12	86,5	103,6	89,7	93,2	+52,0	1,34	6,6	0,78	2,91	-7,3
15	127,3	152,5	36,4	105,4	+71,9	2,72	5,7	0,82	3,08	-1,9
18	186,2	164,6	40,6	130,4	+112,7	2,3	5,6	0,91	2,93	-6,7
21	260,0	390,2	118,5	256,2	+317,9	1,23	8,7	0,88	3,60	+14,6
24	84,3	346,1	58,0	162,8	+165,6	1,56	6,3	0,99	2,95	-6,1
27	151,5	352,8	75,6	193,3	+215,3	1,62	7,2	0,86	3,23	+2,9

Наибольшее количество нитрификаторов отмечено в дозе 3 кг/га и 21 кг/га, где наблюдается благоприятное воздействие микроэлемента, при этом численность выросла соответственно в среднем за три года на 13,3% и 14,6 % по сравнению с контролем (рисунок 3.5).

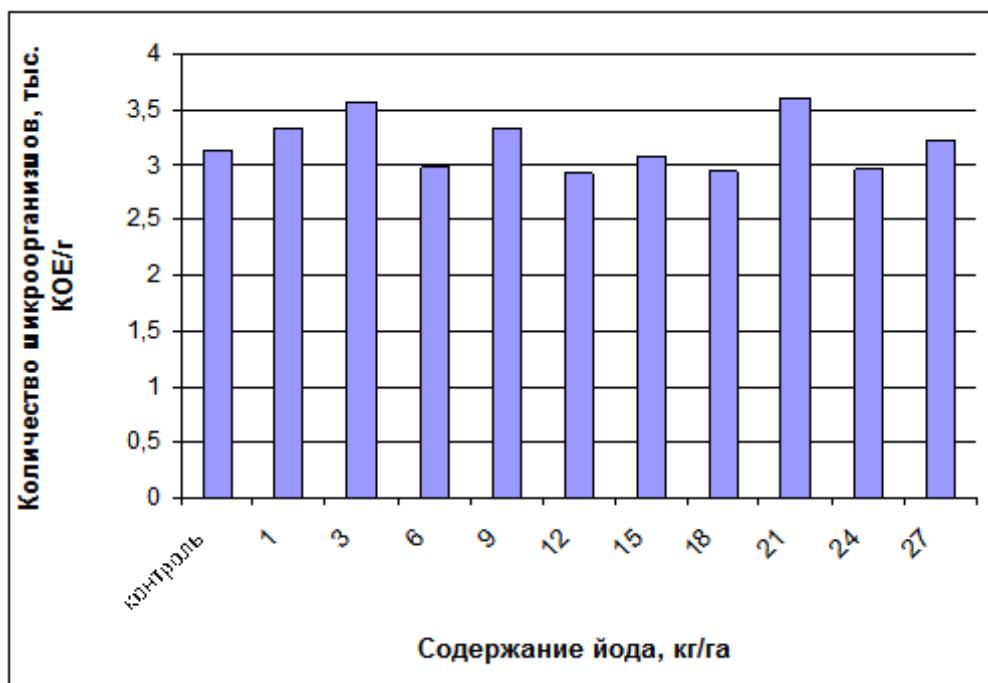


Рисунок 3.5 – Численность нитрификаторов в зависимости от содержания йода в почве

Численность олигонитрофилов незначительно возрастает при небольших концентрациях йода на питательной среде, доза 21 кг/га является наиболее благоприятной для микроорганизмов, количество микроорганизмов возросло по сравнению с контролем в 4,2 раза (рисунок 3.6).

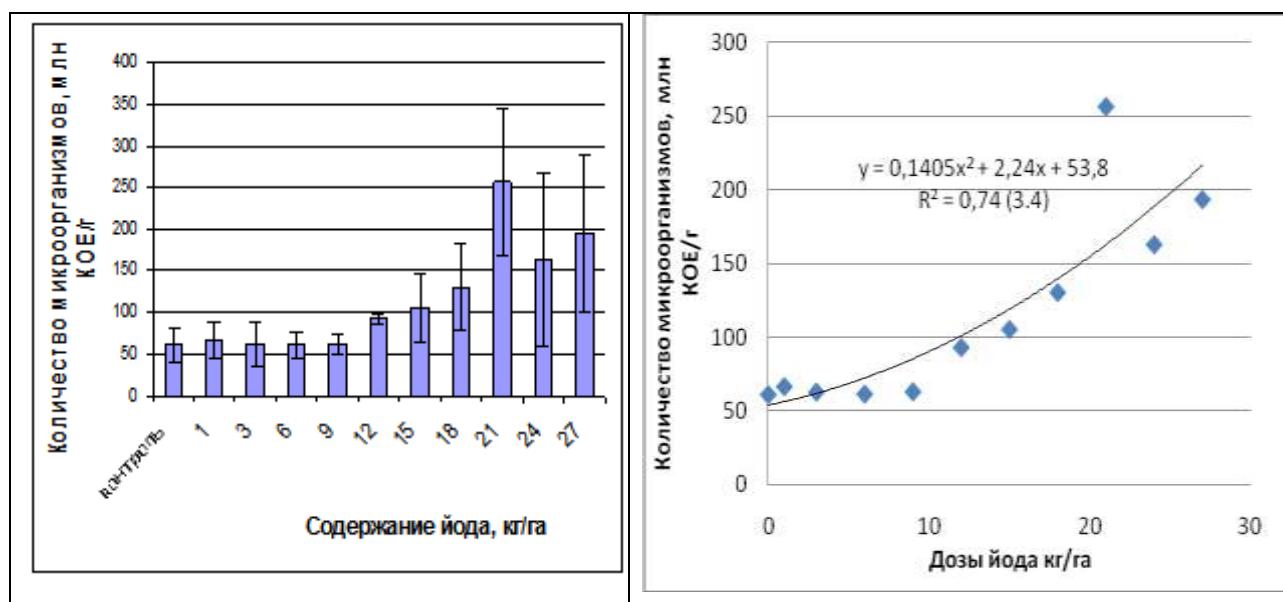


Рисунок 3.6 – Численность олигонитрофилов в зависимости от содержания йода в почве

В целом можно сделать вывод о стимулирующем влиянии йода на численность микроорганизмов, участвующих в азотном обмене.

Микроорганизмы, участвующие в превращении фосфора
Фосфатомобилизующие микроорганизмы. По значению в питании растений фосфор занимает второе место после азота. Фосфор в почве может быть в составе первичных минералов (в форме фосфатов кальция) и в органической форме (от 25 до 85% общего фосфора в разных почвах). Органический фосфор составляет от 0,5 до 2% органического вещества почвы. В разложении органического фосфора принимают участие бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus* и др., а также дрожжи (*Rhodotorula*, *Candida* и др.). Выявление численности этих микроорганизмов проводится высевом на среде Муромцева.

Превращение микроорганизмами соединений углерода

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы. Целлюлоза – главная составная часть клеточных стенок растений. В состав целлюлозы входит более 50% всего органического углерода биосфера, это наиболее распространенный полисахарид растительного мира, высшие растения на 40-70% состоят из целлюлозы. В связи с большим количеством синтезируемой в природе целлюлозы микроорганизмы, разлагающие, играют очень важную роль в процессе минерализации органического вещества и круговороте углерода. Для большинства микроорганизмов, разлагающих клетчатку, характерна высокая специфичность по отношению к этому веществу. Разложение целлюлозы осуществляют аэробные микроорганизмы (бактерии родов *Cytophaga* и *Sporocytophaga* и грибы родов *Fusarium*, *Chaetomium*) и анаэробные мезофильные и термофильные бактерии (род *Clostridium* и др.). Выявление численности этих микроорганизмов проводится высевом на среде Гетчинсона (таблица 3.6).

Таблица 3.6 - Численность микроорганизмов, участвующих в превращениях соединений фосфора и целлюлозы (2013-2015 гг.)

Доза йода кг/га	Фосфатмобилизующие, млн. КОЕ/г					Целлюлозоразрушающие, тыс. КОЕ/г				
	2013	2014	2015	средн ее	изменен ия по сравнен ию с контрол ем, %	2013	2014	2015	средн ее	изменен ия по сравнен ию с контрол ем, %
Контроль	39,4	127,9	52,6	73,3	-	124,3	47,9	97,8	90,0	-
1	99,7	189,3	33,5	107,5	+46,7	134,3	15,4	38,2	62,6	-30,4
3	65,7	102,1	21,4	63,1	-13,9	116,3	11,3	60,1	62,6	-30,4
6	91,3	77,0	38,0	68,7	-6,3	45,0	21,1	65,8	43,9	-51,2
9	119,6	103,8	46,0	89,8	+22,5	113,0	3,5	68,5	28,3	-68,6
12	150,0	210,9	98,0	152,9	+108,5	78,8	4,4	52,4	45,2	-49,8
15	111,7	254,4	54,0	140,0	+91,0	83,5	2,6	38,2	41,4	-53,9
18	128,7	132,6	32,7	98,0	+33,7	34,5	1,6	73,8	36,3	-59,7
21	325,2	370,0	141,0	278,7	+279,3	23,8	2,7	19,5	15,3	-83,0
24	170,8	359,0	80,0	203,3	+177,3	37,1	3,2	30,6	23,6	-73,8
27	182,8	293,1	54,2	176,7	+141,1	16,4	4,5	42,8	21,2	-76,4

На рисунке 3.7 показано изменение численности фосфатмобилизующих микроорганизмов в зависимости от разных доз йода. При дозе 21 и 24 кг/га отмечена заметно возрастающая численность (в 3,8 и 2,7 раз соответственно).

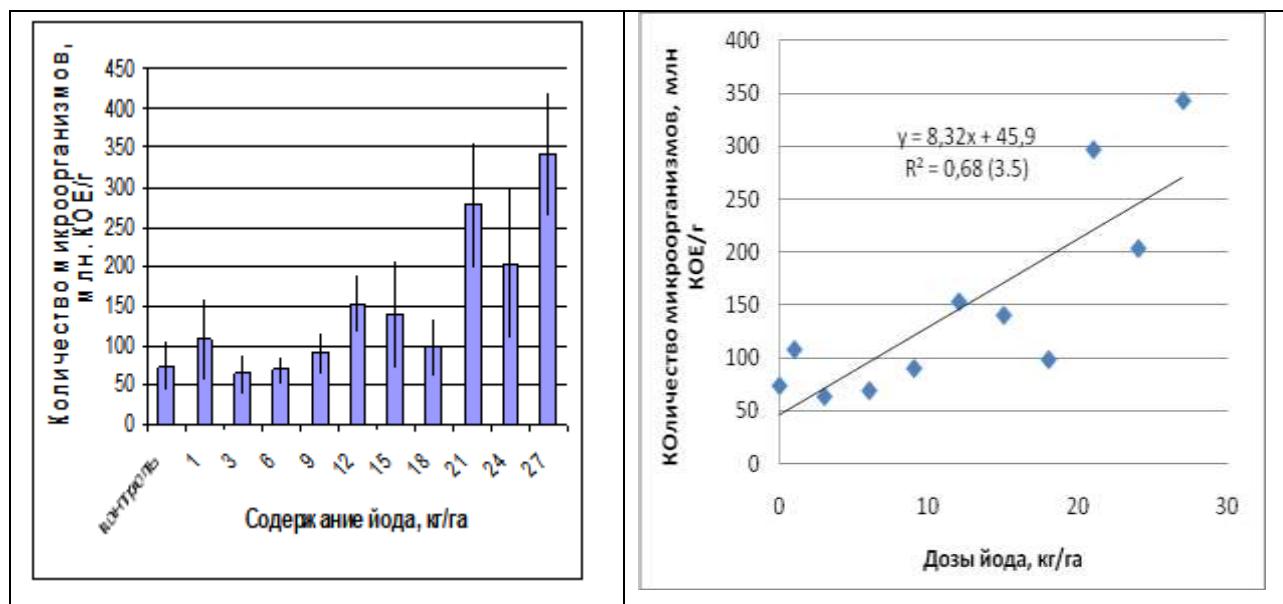


Рисунок 3.7 – Численность фосфатмобилизующих микроорганизмов

Исследования показали, что уровень адаптации у разных физиологических групп организмов неодинаков: одни виды реагировали положительно на значительные количества микроэлемента, численность некоторых из бактерий снижалась, у отдельных микроорганизмов стимулирующее влияние йода сменилось на токсическое.

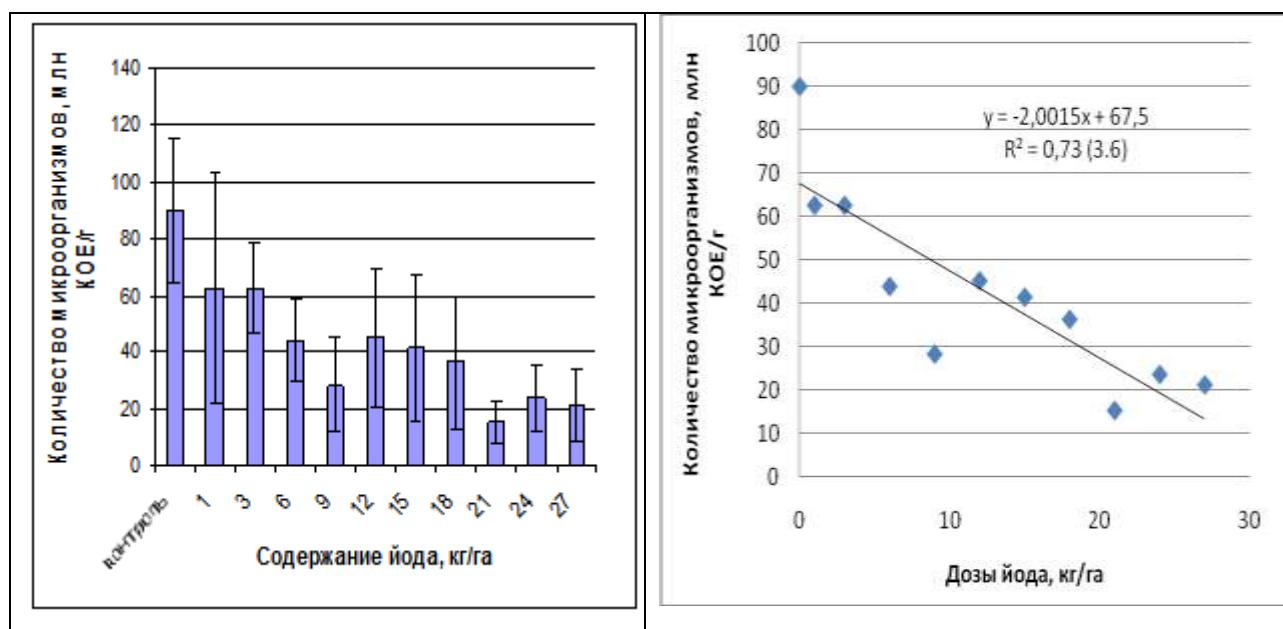


Рисунок 3.8 – Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов

На рисунке 3.8 показано, что численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов под влиянием йода снижается. Максимальное снижение численности микроорганизмов отмечено при дозе 21 кг/га (снижение в 5,87 раз по сравнению с контролем). Исходя из установленной нами зависимости (рисунок 3.8) между дозами йода и численностью данной группы микроорганизмов, можно сделать вывод об угнетающем действии микроэлемента. Опыты В.В. Ковальского (Ковальский В.В., 1974) на почвенных вытяжках с медью показали, что азотфиксаторы, например, приспособлены к определенному невысокому содержанию меди в почвах. Поэтому добавление этого микроэлемента подавляло рост и фиксацию азота. По-видимому, в нашем случае, целлюлозоразрушающие микроорганизмы, также адаптированы к невысокому содержанию йода в почве.

Таким образом, с позиции реакции микробного сообщества на применение йода, в частности микроорганизмов, растущих на МПА и КАА, установлены оптимальные дозы микроэлемента.

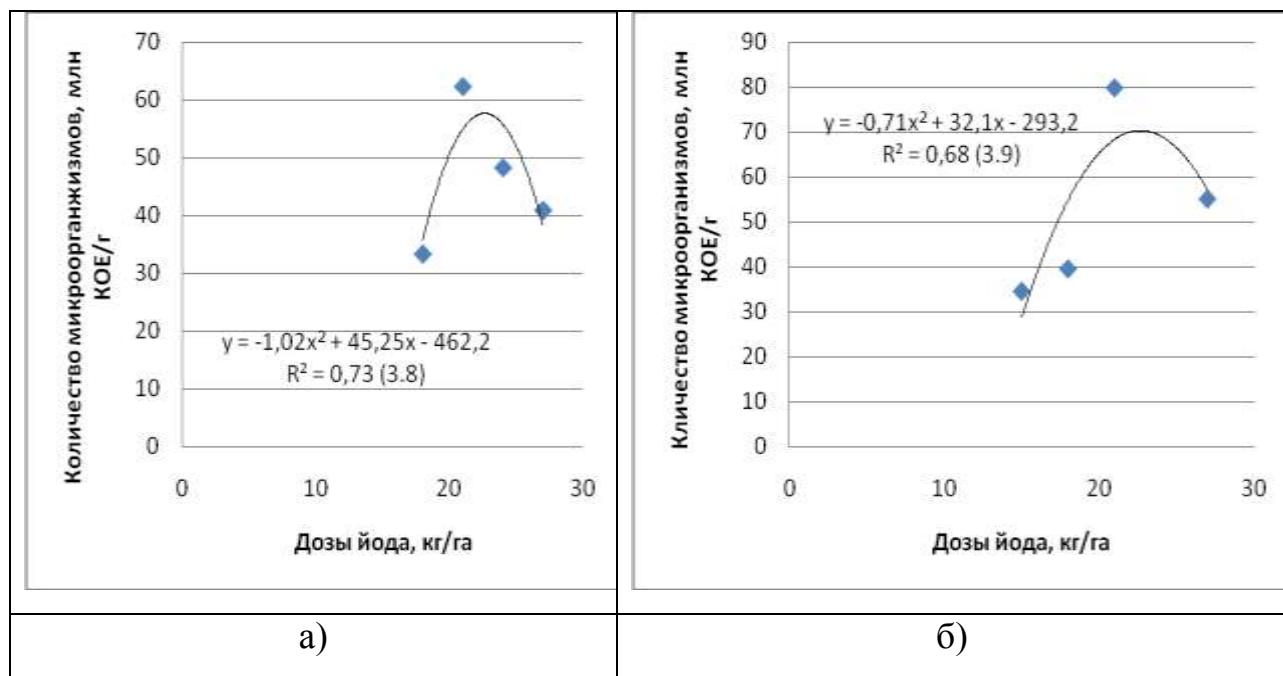


Рисунок 3.9 – Зона оптимальных дозировок для микроорганизмов:
а) растущих на МПА и б) растущих на КАА

Из рисунка 3.10 видно, что результаты по общему количеству организмов 2014 года намного выше данных 2013 и 2015 годов.

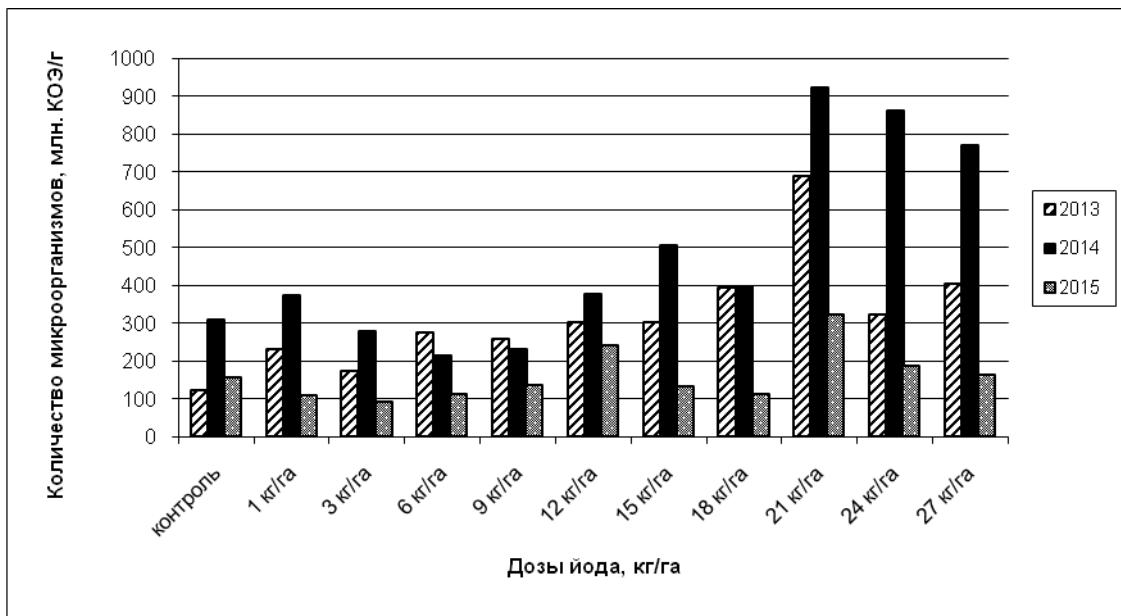


Рисунок 3.10 – Общее количество микроорганизмов в условиях применения йодсодержащих удобрений

Это можно объяснить гидротермическими условиями лета 2014 года. Количество осадков в июле месяце превышало норму в 1,5-2,5 раза а температура воздуха в августе была выше среднемесячной, это был самый теплый месяц лета (глава 2.2.). Отбор проб почвы для опыта проводился в начале сентября. Поэтому описанные выше благоприятные условия для почвенных микроорганизмов повлияли на их количество. По В.В. Ковальскому (Ковальский В.В., 1974), биохимические процессы, осуществляемые микроорганизмами в биосфере зависят от сезонов года, почвенно-климатических зон, видов микроорганизмов и особенностей у них обмена веществ. При этом большую роль играет приспособленность организмов к геохимическим факторам среды.

Зависимость между дозами йода и общей численность микроорганизмов указанная на рисунке 3.9, свидетельствует о том, что доза 21 кг/га является стимулирующей для микроорганизмов почвы (рисунок 3.11).

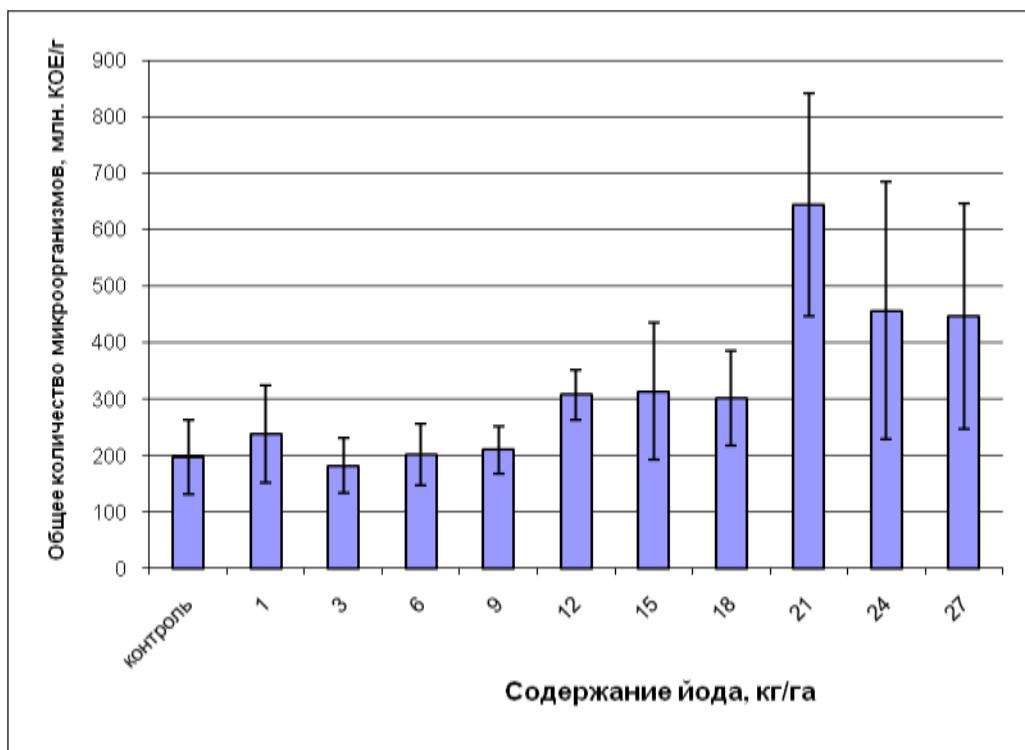


Рисунок 3.11 – Общая численность микроорганизмов в условиях применения йодсодержащих удобрений в среднем за 2013-2015 гг.

Согласно данным наших исследований, показанных на рисунке 3.12, можно сказать о том, что реакция микробного сообщества на применение йода неоднозначна, и зависит от дозы и вида микроорганизма.

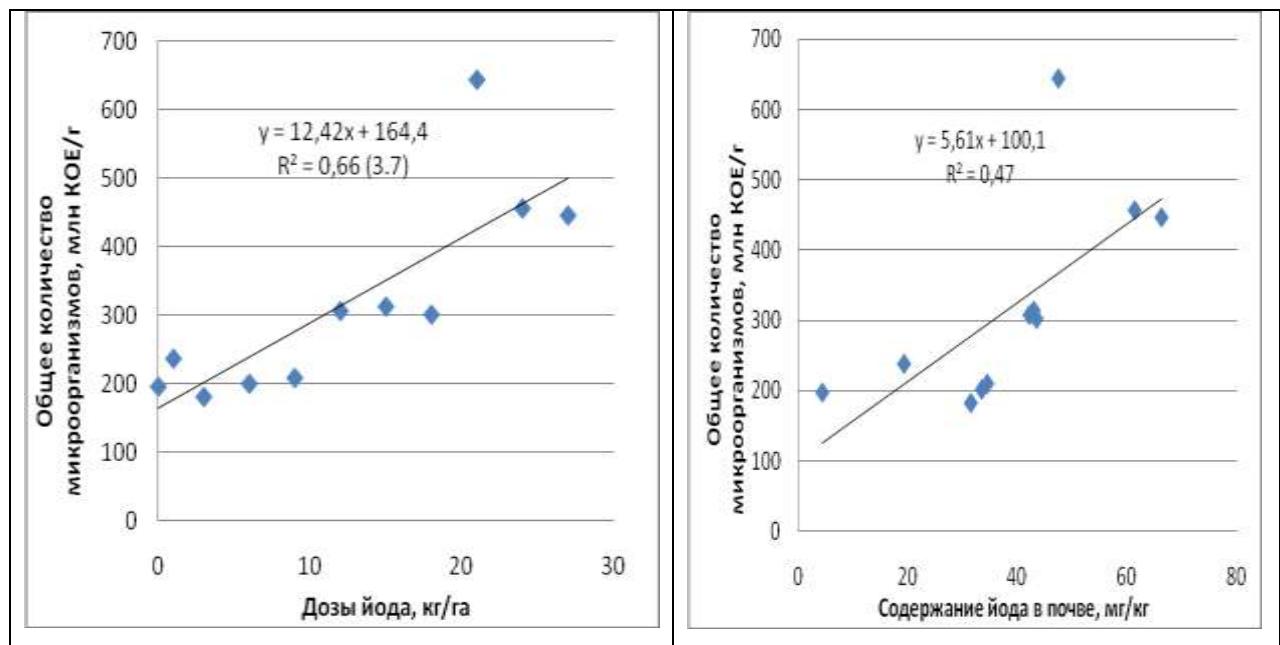


Рисунок 3.12 –Зависимость между дозами йода и общей численностью микроорганизмов

Установлены оптимальные дозы микроэлемента для общего количества микроорганизмов (рисунок 3.13).

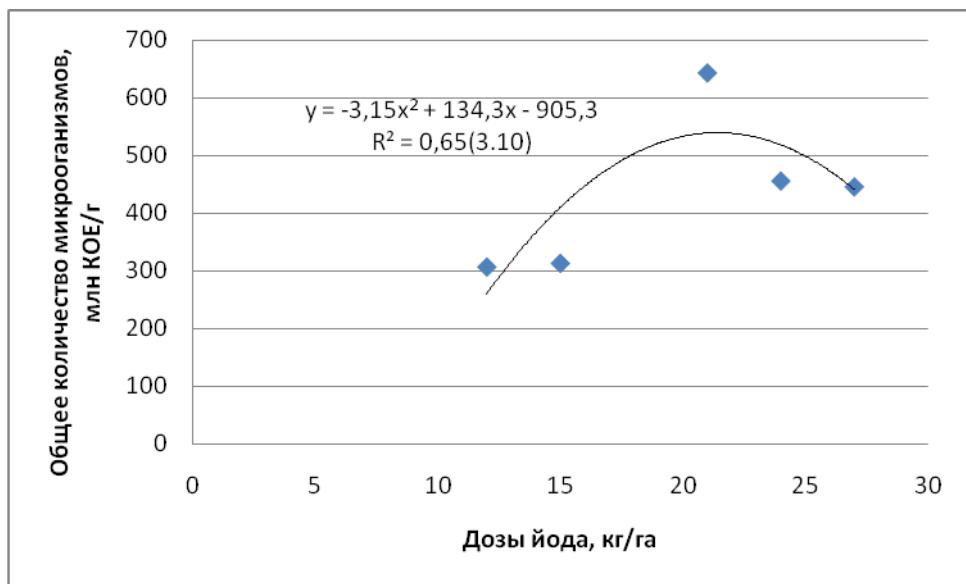


Рисунок 3.13 – Зона оптимальных дозировок для почвенных микроорганизмов

В таблице 3.6 показаны зависимости между дозой вносимого йода и содержанием микроорганизмов почвы.

Таблица 3.6 – Математические зависимости содержания микроорганизмов в почве (у, млн КОЕ/г, тыс КОЕ/г) от дозы поступления йода (х, кг/га)

Микроорганизмы	Уравнение зависимости	r, η
Олигонитрофилы	$y = 0,14x^2 + 2,24x + 53,8$	$\eta = 0,74$ (3.4)
Целлюлозоразлагающие	$y = -2,0x + 67,5$	$r = 0,85$ (3.6)
Фосфатмобилизующие	$y = 8,32x + 45,9$	$r = 0,82$ (3.5)
Грибы	$y = -0,09x^2 + 2,47x + 41,9$	$\eta = 0,48$ (3.3)
Микроорганизмы, растущие на МПА	$y = -1,02x^2 + 45,25x - 462,2$	$\eta = 0,73$ (3.8)
Микроорганизмы, растущие на КАА	$y = -0,71x^2 + 32,1x - 293,2$	$\eta = 0,68$ (3.9)
Общее количество микроорганизмов	$y = -3,15x^2 + 134,3x - 905,3$	$\eta = 0,65$ (3.10)

Установлена прямая зависимость между дозой йода и общим количеством микроорганизмов (уравнение 3.7), что свидетельствует в целом о стимулирующем действии этого микроэлемента на биологическую активность почвы. В почве контрольного образца общее количество микроорганизмов составляет 197,1 млн. КОЕ/г. При внесении дозы 21 кг/га общее содержание микроорганизмов превышает уровень контрольного варианта в 3,3 раза и составляет 643,9 млн. КОЕ/г. Рассчитанный коэффициент интенсивности действия йода на общую численность микроорганизмов ($b = 12,4$ млн КОЕ/г) показывает, на сколько возрастает количество микроорганизмов при внесении в почву 1 кг/га йода.

Имеющиеся в почве минеральные формы азота вследствие бурного развития микроорганизмов потребляются ими и переводятся в белок цитоплазмы. Подобный процесс называется иммобилизацией азота, это процесс обратный минерализации.

За счет реакции микрофлоры, а также химических взаимодействий, происходящих в почвенно-поглощающем комплексе, изменяются интенсивность и направленность процессов трансформации биогенных элементов и органического вещества в почве. Для понимания глубины микробиологических превращений азотсодержащих соединений в почве в зависимости от уровня поступления йода, были рассчитаны коэффициенты минерализации и иммобилизации по соотношению групп микроорганизмов (КAA/МПА и МПА/КAA), а также коэффициент трансформации органического вещества по формуле (3.8) (Муха, 1980), (таблица 3.7):

$$\text{Пм} = (\text{МПА} + \text{КAA}) \cdot (\text{МПА}/\text{КAA}) \quad (3.8)$$

Показатели коэффициентов минерализации и иммобилизации азота зависят от численности отдельных групп микроорганизмов, обитающих в почве, например, олигонитрофилов.

Таблица 3.7 – Влияние йода на показатели минерализации, иммобилизации и трансформации органического вещества

Доза кг/га	Коэффициенты		
	минерализации	иммобилизации	трансформации органического вещества
Контроль	0,87	1,13	58,1
1	0,94	1,06	60,6
3	1,24	0,81	62,5
6	1,29	0,77	61,8
9	1,26	0,79	62,4
12	1,37	0,73	69,6
15	0,96	1,04	66,1
18	0,84	1,18	66,5
21	1,34	0,74	124,7
24	1,16	0,86	96,4
27	1,16	0,86	81,6

Данные таблицы 3.7 показывают, что в условиях проведенного эксперимента, процессы иммобилизации веществ на контроле преобладают над минерализацией растительных остатков. С увеличением концентрации микроэлемента в почве преобладают процессы минерализации. Можно сделать вывод о том, что высокие дозы йода стимулируют процессы минерализации растительных остатков.

3.3. Влияние йодсодержащих удобрений на ферментативную активность лугово-черноземной почвы

Ферментативная активность отражает состояние плодородия почв и внутренние изменения, происходящие при сельскохозяйственном использовании и повышении уровня культуры земледелия. Почвенные ферменты участвуют при распаде растительных, животных и микробных остатков, а также синтезе гумуса. В результате питательные вещества из трудно усвояемых соединений переходят в легкодоступные формы для

растений и микроорганизмов. Ферменты отличаются высокой активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от различных условий внешней среды. Совместно с другими критериями ферментативная активность почв может служить надежным диагностическим показателем для выяснения степени оккультуренности почв. Ферменты, относящиеся к классам гидролаз и оксидоредуктаз, участвуют в основных процессах гумификации почв, поэтому их активность – это существенный показатель плодородия почв (Хазиев, Ф.Х., 1982, Звягинцев Д.Г., 1987).

В наших исследованиях мы исследовали активность таких ферментов, как каталазы, инвертазы и уреазы, активность которых является важнейшим показателем состояния почв. Результаты опытов представлены в таблицах 3.8-3.10.

Таблица 3.8 – Влияние йода на активность инвертазы (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Активность инвертазы, мг инв. сахара, г				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
Контроль	10,5	14,7	8,8	11,3±3,0	-
1	11,1	14,2	8,2	11,2±2,9	-0,9
3	11,3	15,0	8,6	11,6±3,2	+2,7
6	7,9	13,8	9,3	10,3±3,1	-8,5
9	8,8	12,4	8,6	9,9±2,1	-12,4
12	8,5	12,8	8,9	10,1±2,4	-10,6
15	9,0	11,5	8,9	9,8±1,5	-13,3
18	7,1	11,3	8,7	9,0±2,1	-20,4
21	6,5	11,0	8,6	8,7±2,3	-23,0
24	7,4	12,4	9,1	9,6±2,5	-15,0
27	6,7	11,5	9,0	9,1±2,4	-19,4

Активность инвертазы определяется уровнем содержания органического вещества в почве, и определение инвертазной активности почвы является одним из главных критериев оценки ее общей биологической активности. Согласно литературным данным, активность инвертазы лучше других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв (Гамаюрова В. С., 2011, Селявкин С.Н., 2015). В ходе исследований, проводимых в течение 3-х лет, не отмечено достоверного влияния изучаемых доз йода на активность фермента инвертазы (рисунок 3.14).

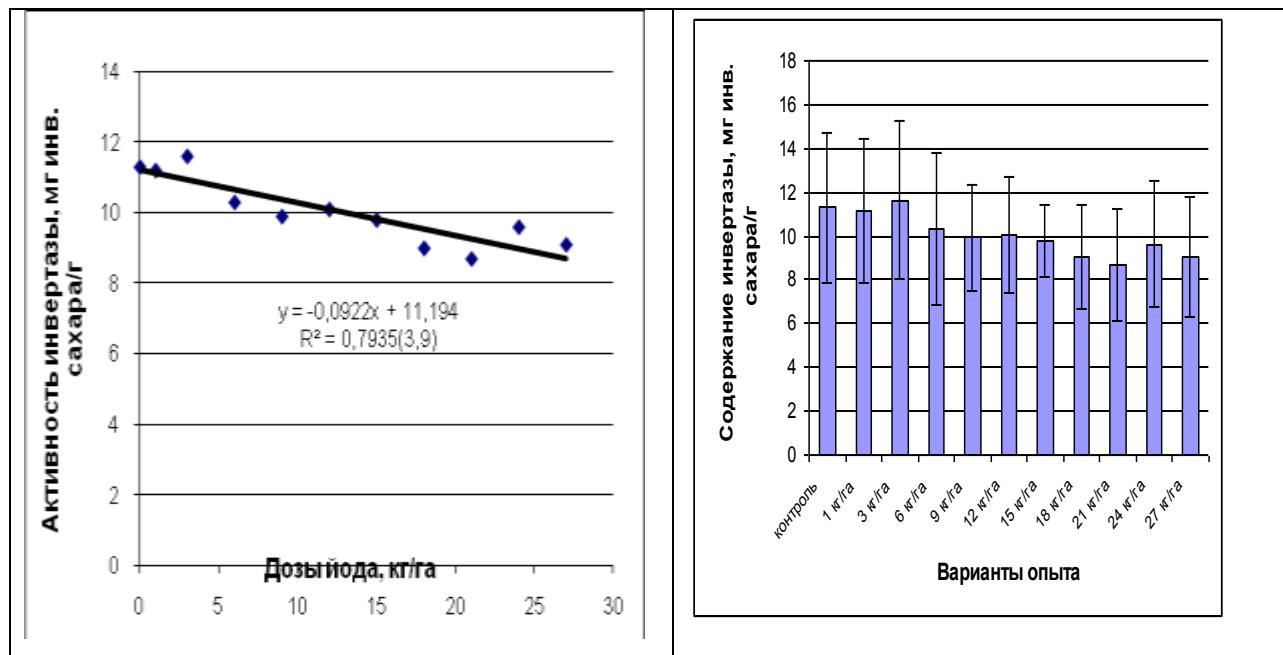


Рисунок 3.14 – Зависимость активности инвертазы от дозы йода

Но в то же время можно отметить тенденцию снижению активности этого фермента (до 23,0% в дозе 21 кг/га) при увеличении дозы применяемого йода свыше 3 кг/га. Уреаза катализирует реакции гидролитического расщепления мочевины на аммиак и диоксид углерода и играет важную роль в азотном режиме почв. В связи с использованием мочевины в агрономической практике необходимо иметь в виду, что активность уреазы выше у более плодородных почв (Гамаюрова В. С., 2011).

Таблица 3.9 – Влияние йода на активность уреазы (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Активность уреазы, мг/НН ₃ г почвы				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
Контроль	0,93	0,74	0,42	0,69±0,26	–
1	0,5	0,62	0,39	0,50±0,11	-27,5
3	0,38	0,66	0,52	0,52±0,14	-24,6
6	0,15	0,66	0,49	0,43±0,25	-37,7
9	0,37	0,41	0,41	0,39±0,02	-43,5
12	0,23	0,51	0,39	0,37±0,14	-46,4
15	0,32	0,39	0,44	0,38±0,06	-44,9
18	0,19	0,37	0,47	0,34±0,14	-50,7
21	0,13	0,25	0,46	0,28±0,16	-59,4
24	0,21	0,24	0,49	0,31±0,15	-55,0
27	0,14	0,35	0,46	0,31±0,16	-55,1

С увеличением дозы йода в почве активность уреазы снижается (до 59,4% при дозе 21 кг/га) (рисунок 3.15) ($r=0,86$).

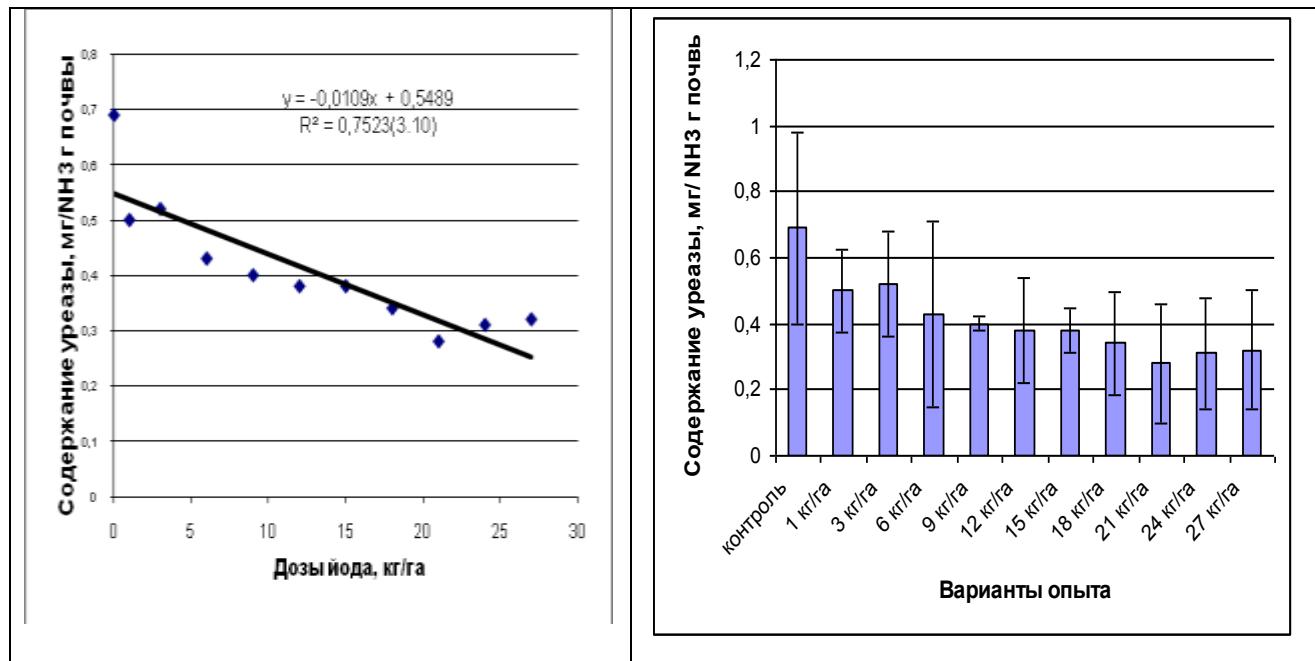


Рисунок 3.15 – Зависимость содержания уреазы от дозы йода

Одним из наиболее чувствительных к изменению условиям почвенной среды является фермент каталаза. Каталазу относят к классу оксидоредуктаз. В результате ее действия происходит расщепление перекиси водорода, токсичной для живых организмов.

Таблица 3.10 – Влияние йода на активность каталазы (2013-2015 гг.)

Доза йода, кг/га	Активность каталазы O_2 (см ³ /мин)/г				
	2013	2014	2015	среднее	изменения по сравнению с контролем, %
Контроль	0,75	2,58	1,33	1,55±0,93	-
1	0,90	2,55	1,27	1,57±0,31	+1,5
3	0,9	2,53	1,25	1,56±0,85	+0,64
6	0,65	3,43	1,35	1,81±1,44	+16,8
9	0,95	3,20	1,37	1,84±1,2	+18,7
12	0,87	3,27	1,53	1,89±1,23	+21,9
15	0,83	3,20	1,53	1,85±1,22	+19,3
18	0,77	3,13	1,33	1,74±1,23	+12,3
21	0,83	1,50	1,47	1,26±0,37	-18,7
24	0,88	1,58	1,42	1,29±0,36	-16,7
27	0,68	1,50	1,45	1,21±0,45	-21,9

Максимальное содержание каталазы отмечается при внесении дозы йода 12 кг/га (+12,9%), минимальное – при дозе 27 кг/га (-21,9%). Согласно литературным данным, активность каталазы можно использовать в качестве показателя итоговой реакции почвы на сложный комплекс экологических воздействий (Добровольская Т.Г., 1991). В графике зависимости активности каталазы от дозы йода можно выделить оптимум в пределах от 6 до 18 кг/га (рисунок 3.16).

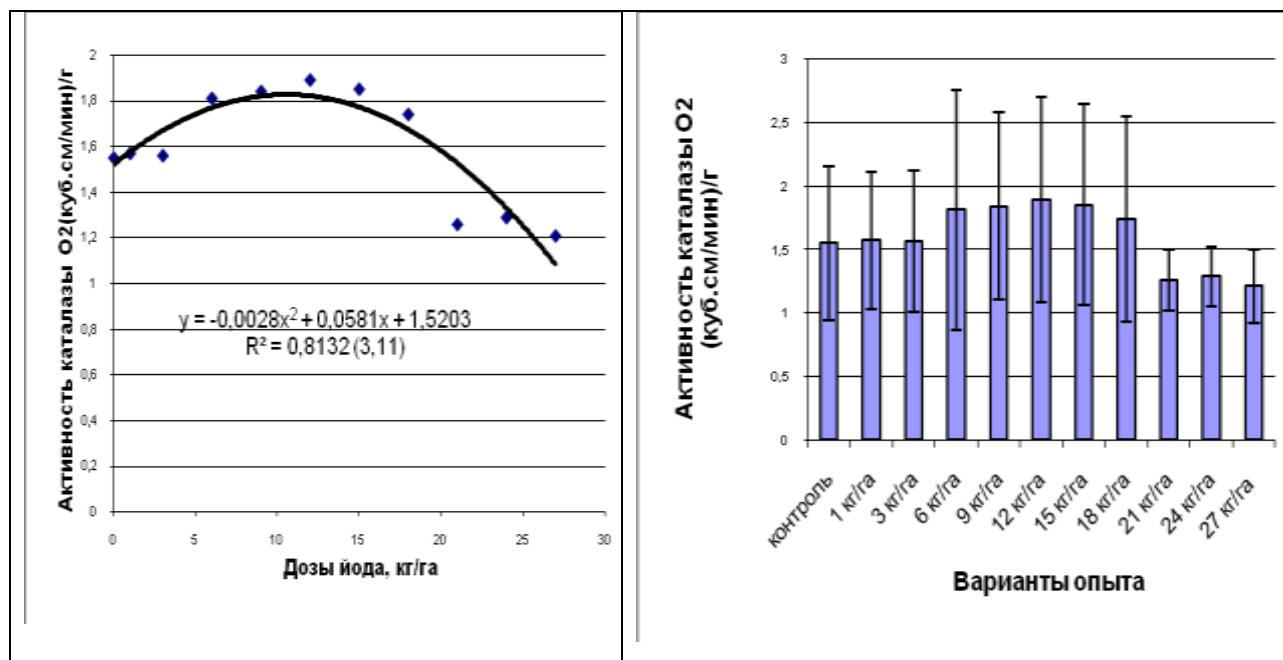


Рисунок 3.16 – Зависимость активности каталазы от дозы йода

Несмотря на снижение значений, активность ферментов остается в тех же диапазонах соответствующих шкале Хазиева на слабом уровне.

Таблица 3.11. Шкала оценки ферментативной активности (Хазиев Ф.Х, 1992)

Активность	Каталаза, см ³ O ₂ на г за 1 мин	Уреаза , мг NH ₃ на 10 г за 24 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г за 24 ч
Очень слабая	<1	>3	>5
Слабая	1-3	3-10	5-15
Средняя	3-10	10-30	15-50
Высокая	10-30	30-100	50-150

Таким образом, минеральные удобрения как химически активные агенты оказывают влияние на ферментативные процессы в почве. Их действие на ферментативный потенциал почвы может быть прямым за счет

изменения состояния имеющихся в почве ферментов (ингибиование, активация, деструкция) и косвенным - путем изменения содержания ферментов за счет стимуляции жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и растений, вырабатывающих ферменты. Состав вносимых удобрений или длительное применение повышенных доз могут стать причиной снижения активности отдельных ферментов (De. S.K., Sharafat A., 1972).

В наших исследованиях применение йода неоднозначно влияет на активность ферментов в почве, способствуя как увеличению, так и снижению ферментативной активности. Определив активность некоторого комплекса ферментов можно судить об эколого-функциональном состоянии почвы.

3.4. Влияние йодсодержащих удобрений на фитотоксичность почвы

Для оценки влияния йода на растительный организм использовали метод биотестирования. Биотестирование - один из основных методов биологического анализа на организменном и популяционном уровнях организации (Минеев В.Г., 1991). Уменьшение длины корней проростков по отношению к контролю (чистой воде), выраженное в процентах, является показателем общей токсичности почвы при применении химических средств. Уменьшение длины корней проростков по отношению к почвенному контролю, выраженное в процентах, является показателем биологической токсичности почвы. Определение общей токсичности необходимо потому, что актиномицеты могут сами продуцировать токсические вещества. Токсичными следует считать почвы, снижающие всхожесть семян или угнетающие рост проростков и корней не менее чем на 20% (методика ВИУА, Минеев В.Г. , 1991).

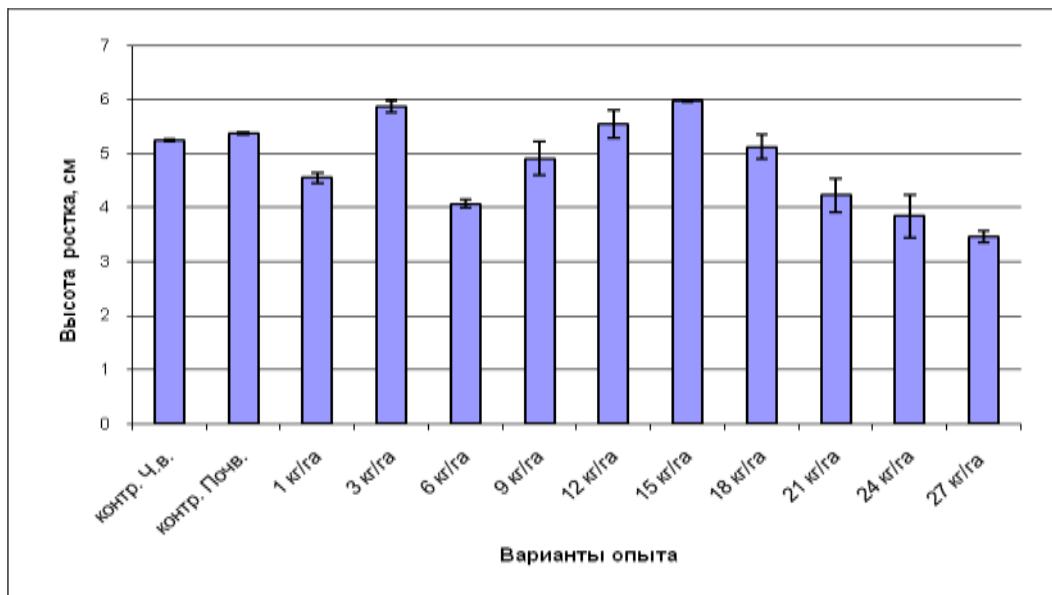


Рисунок 3.17 – Зависимость высоты ростка редиса от дозы йода в среднем за 2013-2014 гг.

(конт. ч.в. – контроль по чистой воде, контр. почв. - почвенный контроль),

По данным проводимых исследований установлено, что дозы йода от 1 до 18 кг/га в основном оказали стимулирующее влияние на длину корня, однако при дозах свыше 21 кг/га наблюдался токсический эффект – уменьшение этого показателя в среднем на 20-30% (рисунок 3.18)

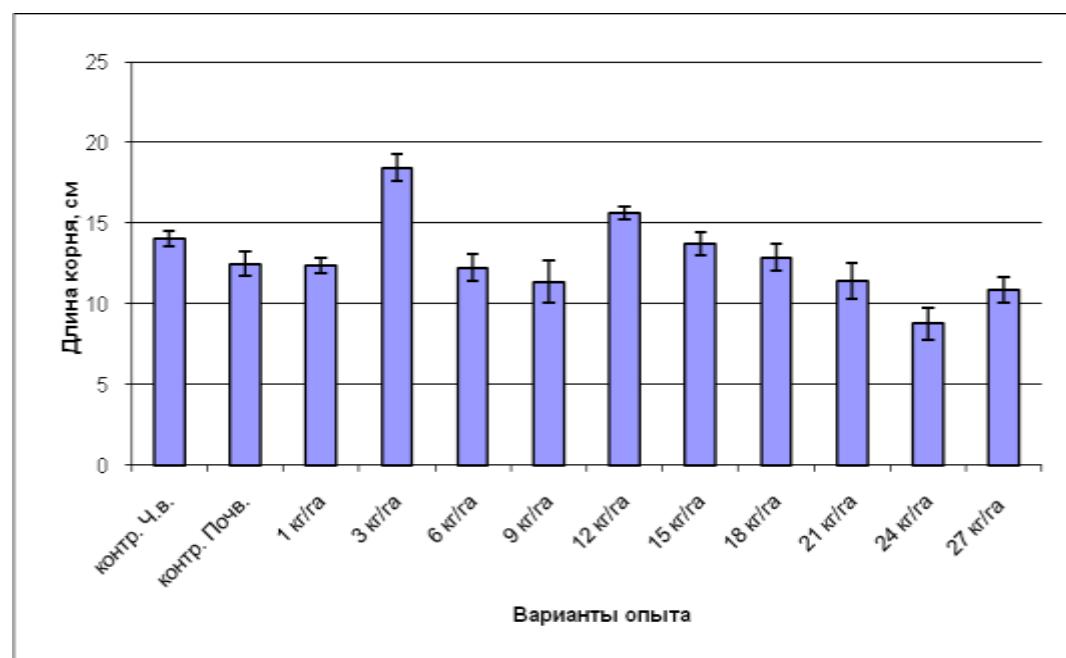


Рисунок 3.18 – Зависимость длины корня редиса от дозы йода в среднем за 2013-2014 гг.

(конт. ч.в. – контроль по чистой воде, контр. почв. - почвенный контроль).

В результате математической обработки результатов исследований отмечена слабая корреляционная зависимость между внесенной дозой йода и высотой ростка, а также длиной корня (рисунок 3.19).

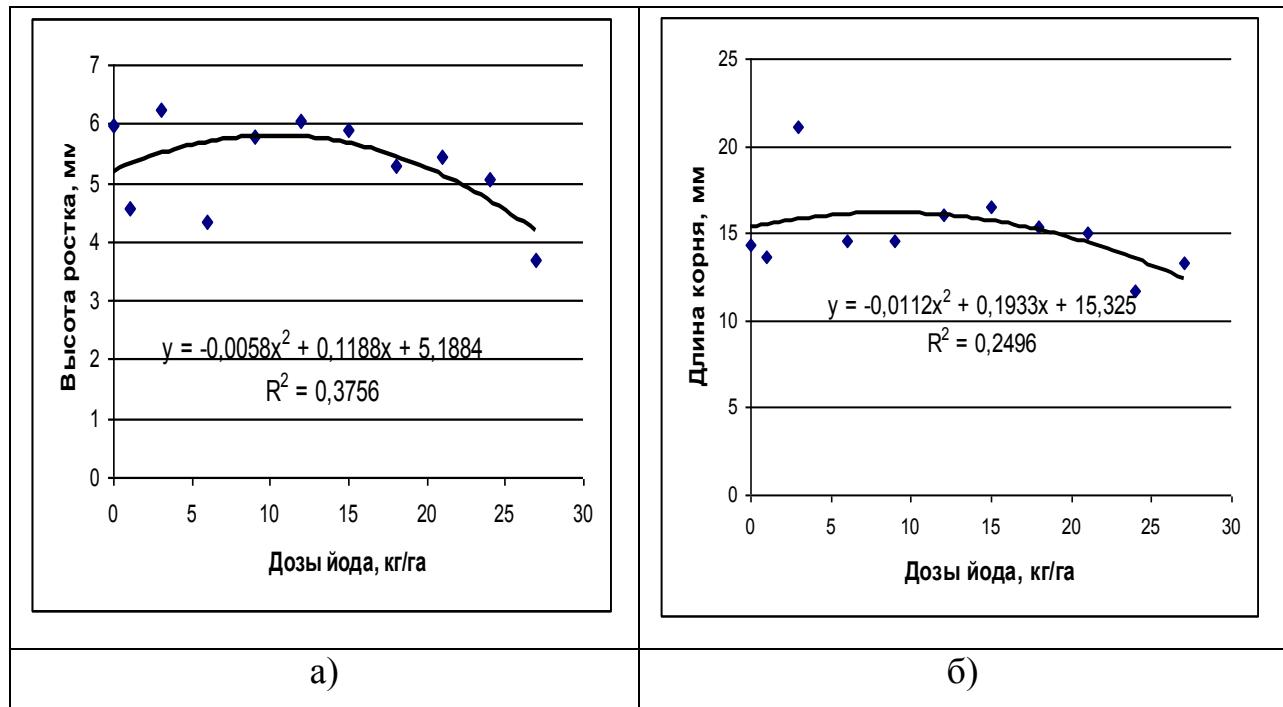


Рисунок 3.19 – Зависимость а) высоты ростка и б) длины корня редиса от дозы йода

Слабая корреляционная связь говорит об отсутствии значимого токсического эффекта доз йода на тест-объект и, соответственно, на почву.

Проведенные исследования показывают, что в небольших дозах йод в основном оказывает стимулирующее влияние на начальные показатели роста и развития редиса, с повышением дозы стимулирующее влияние йода снижается. При дозах свыше 21 кг/га отмечался достоверный токсический эффект – снижение высоты ростка на 20-30% (приложение 5,6).

Таким образом, можно сделать вывод, что содержание йода в почве в пределах от 4,4 до 34,5 мг/кг не способствует повышению микробиологической активности почвы, содержание йода в пределах от 42,2 до 61,4 мг/кг является зоной оптимума для численности агрономически важных микроорганизмов.

4. ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЙОДА НА НАЧАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

4.1. Влияние на всхожесть и начальные показатели роста зерновых культур

Действие микроэлементов зависит от их концентрации в среде обитания. Благоприятная для растений концентрация имеет широкий диапазон: от малого дефицита до умеренного избытка. В первом случае оптимум в питании достигается за счет более экономичного использования поглощенного элемента, во втором - в результате работы защитных механизмов растения, ограничивающих поступление ионов в метаболически важные центры (Синдирева А.В., 2012, Ильин В.Б., 2001).

Известно, что действие микроэлементов начинает проявляться на самых ранних стадиях развития растений. В связи с этим, для полной оценки влияния йода на растительный организм были проведены лабораторные исследования по определению воздействия различных концентраций данного микроэлементов на всхожесть, энергию прорастания, интенсивность начального роста семян зерновых культур.

В таблицах 4.1- 4.4 представлены результаты лабораторных опытов на энергию прорастания и всхожесть, а также длину ростка и корешка за 2013-2014 годы.

Таблица 4.1 – Влияние йода на энергию прорастания (в %) зерновых

Вариант опыта		Пшеница озимая	Пшеница яровая	Рожь	Овес	Ячмень
Контроль		72,0±7,1	70±6,5	86,0±5,2	83±7,3	33,0±5,2
Содержание йода в растворе, %,	0,0025	74,0±7,0	53±4,2	89,0±8,1	87,6±7,9	35,7±4,6
	0,005	89,0±9,0	63,3±5,3	93,0±8,6	94,0± 8,2	36,0±5,1
	0,01	86,0±5,7	73,3±7,1	91,0±9,0	90,0±8,3	44,0±4,0
	0,02	86,0±8,1	75,0±7,2	91,0±6,8	90,0±9,6	39,0±4,2
	0,04	85,2±7,2	93±7,9	62,0±5,8	87,4±5,2	31,3±4,1

При намачивании семян ячменя раствором йода с концентрацией 0,01% отмечается наибольшие увеличение показателей энергии прорастания (+33,3%). Для пшеницы яровой такой концентрацией оказалась доза 0,04% (+27,0%), для озимой пшеницы - 0,005% (+23,6), для ржи и овса - также доза 0,005% (+8,1% и +13,3% соответственно).

Таблица 4.2 – Влияние йода на лабораторную всхожесть семян (в %) зерновых культур

Вариант опыта		Пшеница озимая	Пшеница яровая	Рожь	Овес	Ячмень
Контроль		90,6±8,2	85,0±8,5	89,0±8,5	95,0±9,4	35,0±4,2
Содержание йода в растворе, %	0,0025	92,0±8,7	68,0±7,6	92,1±9,0	95,6±9,9	40,5±5,3
	0,005	93,2±9,0	69,0±7,0	97,0±9,8	97,0±10,1	42,0±3,1
	0,01	97,0±9,8	91,0±8,8	92,0±7,3	95,0±9,3	52,0±5,3
	0,02	93,2±9,1	89,0±9,0	92,0±9,2	96,0±9,6	45,0±4,2
	0,04	90,6±8,9	87,0±7,6	62,9±5,4	94,0±9,1	38,0±4,5

По показателю всхожести семян ячменя наиболее благоприятной оказалась доза 0,01%. Увеличение всхожести составило +48,6%. Для остальных культур прирост составил в пределах 2...8,9%, что не является достоверным, следовательно, при применении йода отмечена лишь тенденция к увеличению всхожести семян зерновых культур.

Таблица 4.3 – Влияние йода на длину ростка зерновых культур (в мм)

Вариант опыта		Пшеница озимая	Пшеница яровая	Рожь	Овес	Ячмень
Контроль		60,5±18,3	53,0±6,6	47,1±12,1	30,5±16,6	39,0±3,9
Содержание йода в растворе, %	0,0025	63,8±13,0	52,0±11,9	45,8±18,2	23,9±10,2	40,6±5,5
	0,005	75,4±23,2	57,5±12,6	51,2±16,8	36,6±15,5	44,5±10,5
	0,01	98,5±25,5	70,6±19,7	53,9±16,7	33,8±18,8	48,4±12,0
	0,02	104,8±22,7	53,5±9,5	63,7±18,5	19,5±10,4	43,4±17,5
	0,04	99,6±14,3	54,5±15,8	55,8±24,5	16,64±7,5	44,2±16,2

При намачивании семян озимой пшеницы и ржи самой оптимальной оказалась доза 0,02%. Увеличение длины ростка было на 73% для пшеницы и на 35,2% для ржи. Для яровой пшеницы и ячменя такой дозой стала 0,01%. Прирост составил 33,2% для пшеницы и 24,1% для ячменя. Для семян овса наиболее благоприятной дозой стала 0,005% (+20%).

Таблица 4.4 – Влияние йода на длину корней зерновых культур (в мм)

Вариант опыта	Пшеница озимая	Пшеница яровая	Рожь	Овес	Ячмень
Контроль	137,4±31,5	51,9±11,9	76,8±10,4	107,4±26,2	88,3±28,6
Содержание йода в растворе, %	0,0025	108,6±21,5	53,0±12,7	62,4±12,8	119,0±23,1
	0,005	156,3±33,0	57,5±11,2	80,4±27,8	176,4±44,4
	0,01	229,5±38,1	84,4±10,8	89,2±28,1	160,3±18,6
	0,02	137,3±31,5	85,5±14,4	80,9±22,9	86,5±51,4
	0,04	113,7±27,8	59,7±7,8	71,6±15,1	78,7±47,8
					128,7±18,0

Наибольшая длина корней отмечена у озимой пшеницы, ржи и ячменя при намачивании растворами с концентрацией йода 0,01%. Прирост составил 67,0% (озимая пшеница), 16,1% (ржь) и 81,5% (ячмень). Для семян пшеницы яровой - доза 0,02% (прирост 64,7%), для овса наиболее благоприятной дозой стала 0,005% (+64,2).

Йод в определенных концентрациях оказывал стимулирующее действие на всхожесть озимой пшеницы, ржи, ячменя. На рисунках 4.1-4.2 представлена зависимость между концентрацией йода и всхожестью ржи и озимой пшеницы.

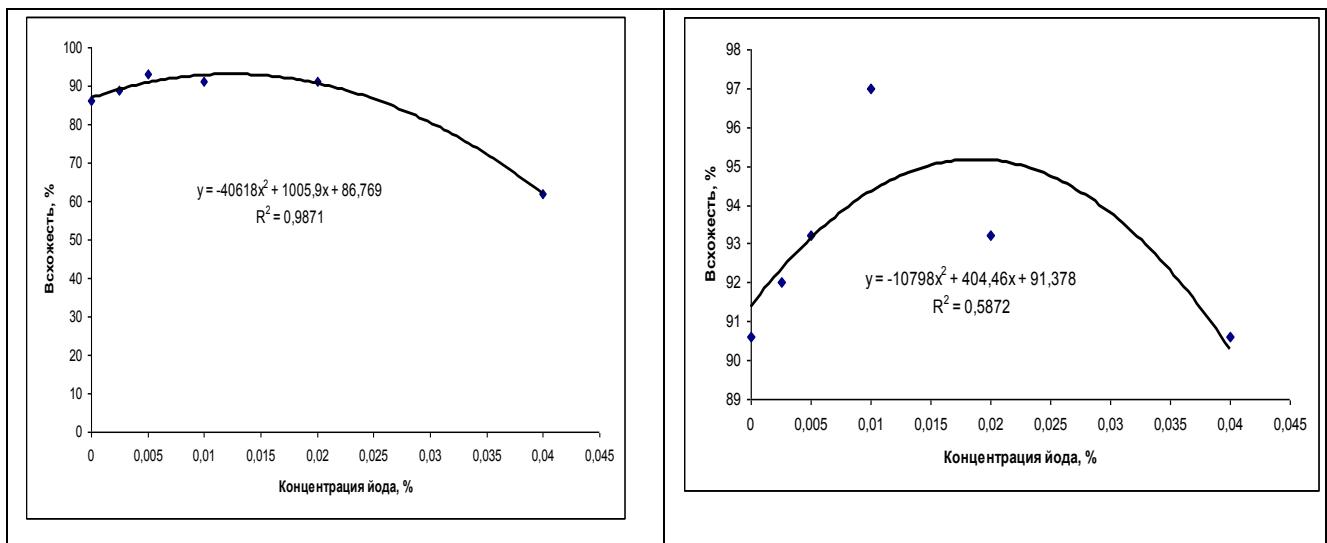


Рисунок 4.1 –Зависимость всхожести семян а) ржи и б) озимой пшеницы от концентрации йода

Согласно данным рисунка 4.1, оптимальной для всхожести семян ржи была концентрация 0,005%. При этом всхожесть семян увеличилась на 8,9% по сравнению с контролем.

Наибольшая всхожесть семян озимой пшеницы установлена при концентрации йода в растворе иодида калия, равной 0,01%. При этом всхожесть семян увеличилась на 7,1%.

С увеличением концентрации свыше 0,02% всхожесть семян ржи, озимой пшеницы снижается, однако остается выше уровня контроля. Таким образом, йод в концентрациях от 0,0025 до 0,04% оказывает стимулирующее влияние на всхожесть изучаемых зерновых культур. Оптимальной является доза 0,01%.

В опытах с ячменем наиболее оптимальной оказалась также концентрация йода, равная 0,01%. При этом всхожесть ячменя увеличилась на 48,6%. Зависимость между концентрацией йода в растворе и энергией прорастания семян ячменя выражается уравнением (4.1).

$$y = -23004x^2 + 850,96x + 33,68, r = 0,75 \quad (4.1)$$

Далее представлены (рисунок 4.2 – 4.6) графики зависимости длины корней и ростков изучаемых культур в зависимости от дозы йода.

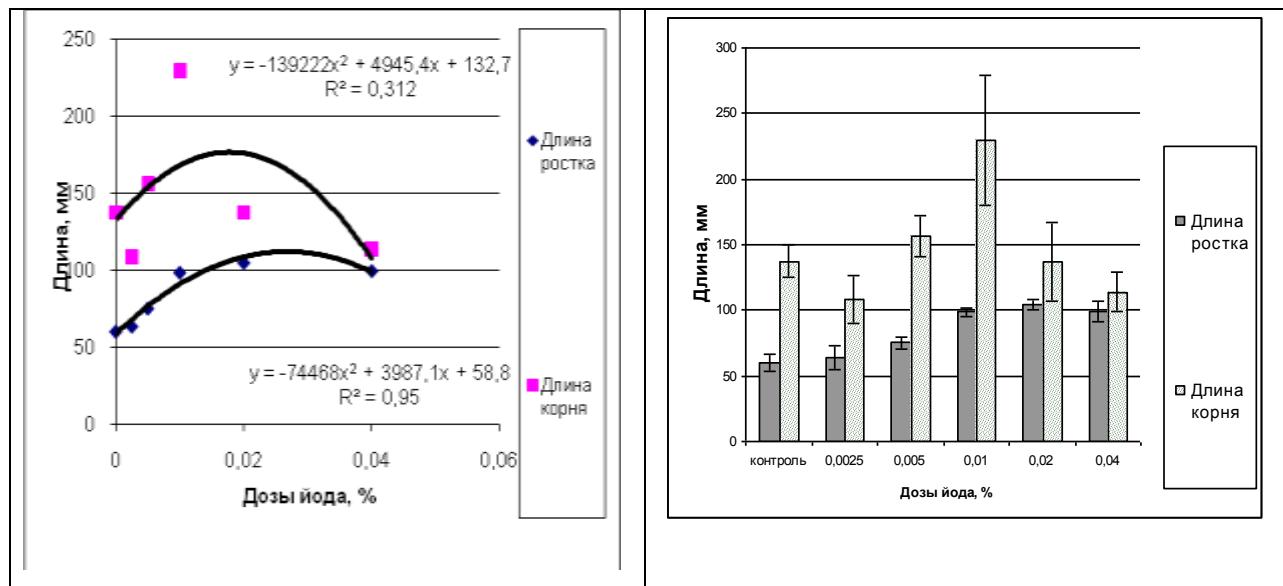


Рисунок 4.2 – Влияние йода на длину ростка и корня озимой пшеницы

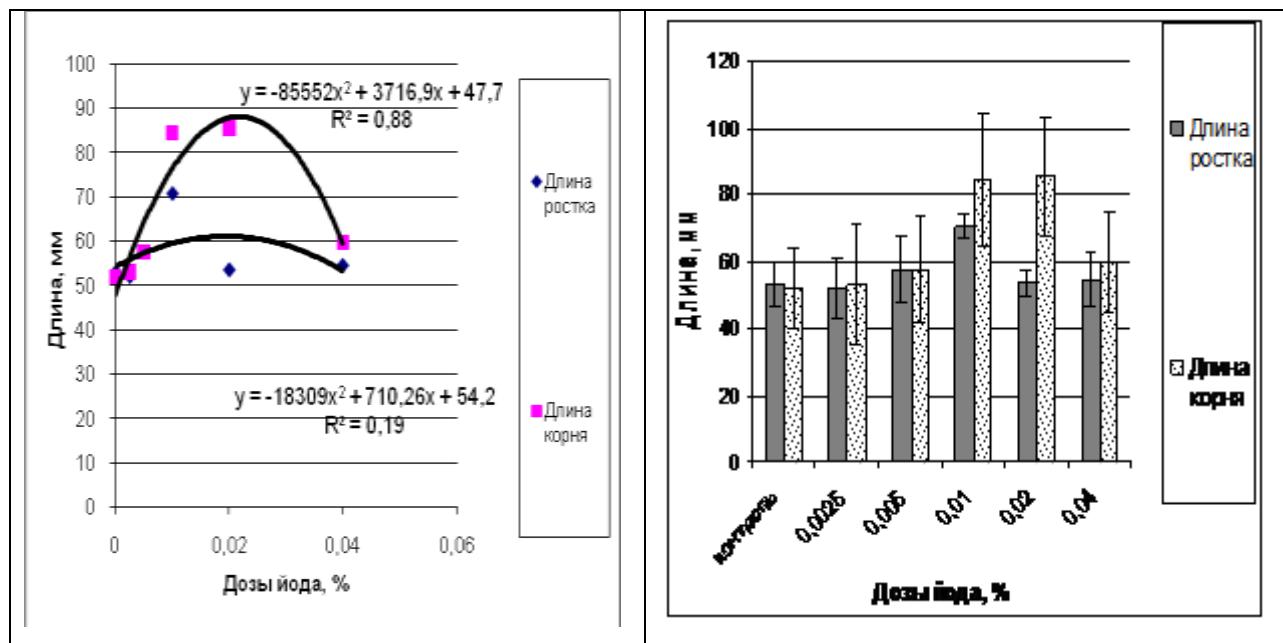


Рисунок 4.3 – Влияние йода на длину ростка и корня яровой пшеницы

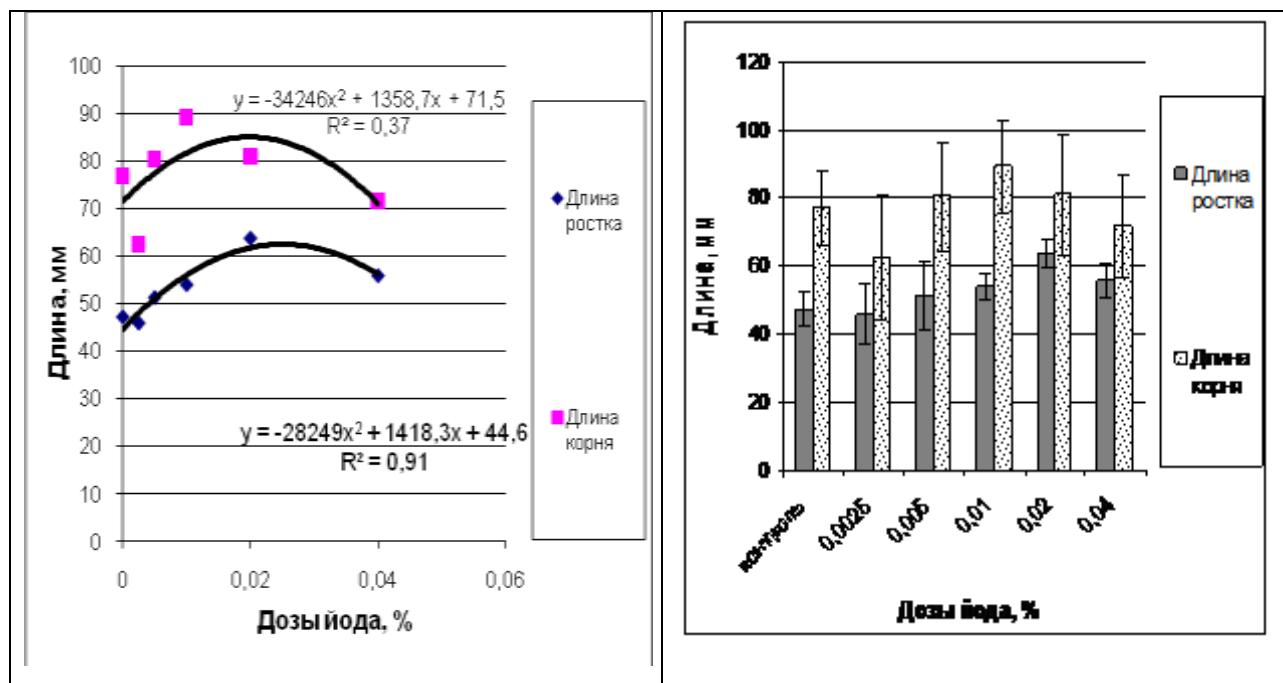


Рисунок 4.4 – Влияние йода на длину ростка и корня ржи

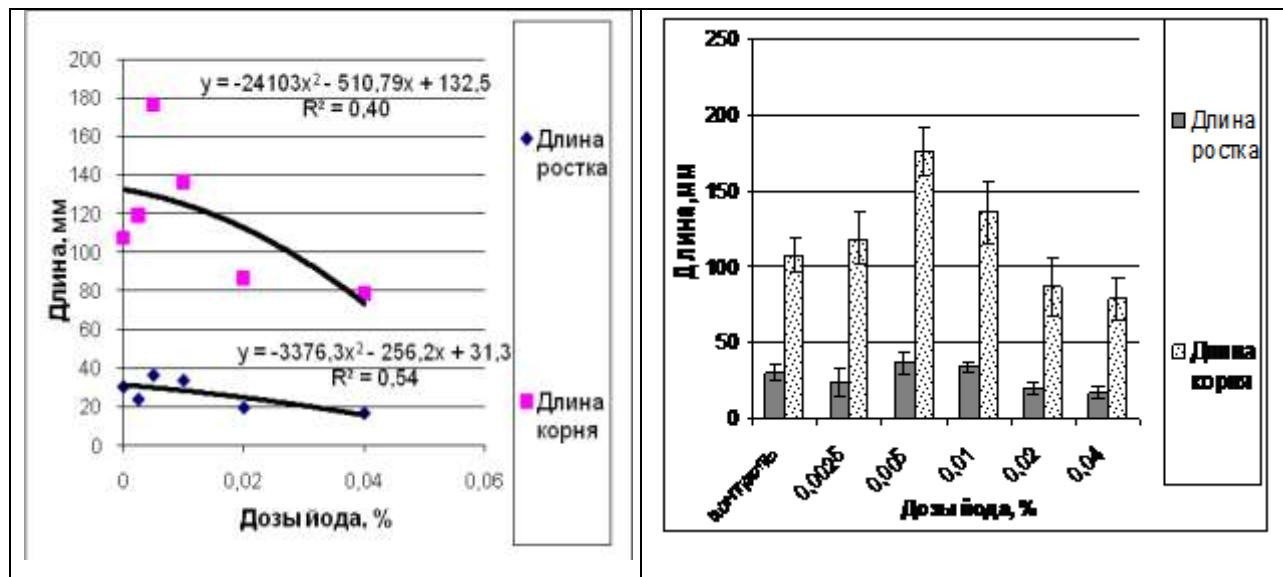


Рисунок 4.5 – Влияние йода на длину ростка и корня овса

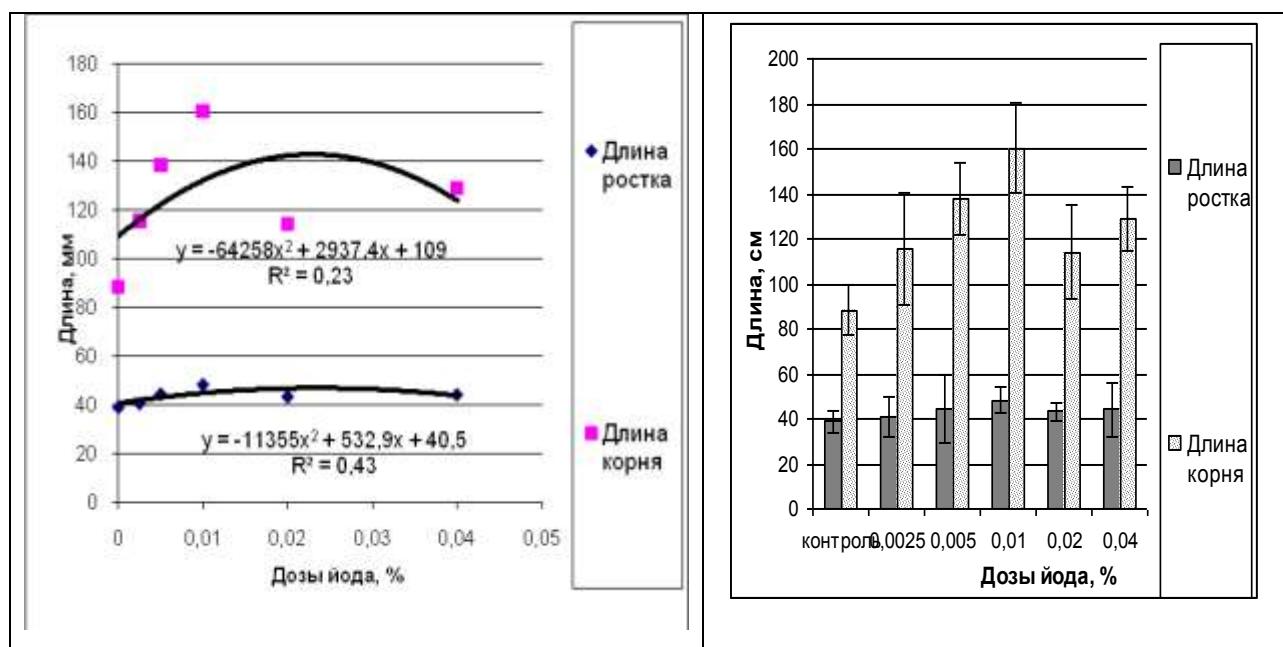


Рисунок 4.6 – Влияние йода на длину ростка и корня ячменя

Из приведенных графиков видно, что влияние йода на длину ростка и корня различных культур неоднозначно. Для озимой и яровой пшеницы наиболее оптимальной концентрацией являлась доза 0,01%, для ячменя и овса – 0,005 и 0,01%.

Таким образом, можно сделать вывод о влиянии йода на начальные периоды роста зерновых культур (таблица 4.4). Результаты исследования показывают, что оптимальные концентрации йода для зерновых культур находятся в диапазоне 0,005-0,02%. Поэтому, данные концентрации использованы для проведения дальнейших опытов, вегетационных и полевых.

Таблица 4.4 – Оптимальные концентрации йода для зерновых культур

Культура	Оптимальные концентрации			
	энергия прорастания	всходесть	длина ростка	длина корня
Пшеница яровая	0,04	0,01	0,01	0,01-0,02
Пшеница озимая	0,005	0,01	0,01-0,04	0,01
Рожь	0,005-0,02	0,005	0,2	0,01
Овес	0,005	0,005-0,01	0,005	0,005-0,01
Ячмень	0,01	0,01	0,005-0,02	0,005-0,01

Действие микроэлемента на ранних стадиях развития зерновых культур неоднозначно.

В лабораторных опытах В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987) обработка семян 0,02% раствором КІ показывала достоверное замедление (на 5-6 часов) прорастание кукурузы, овса и пшеницы. Явления временного угнетения ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза растений объяснялись увеличением содержания микроэлемента в прорастающих семенах и проростках и вызванными в связи с этим адаптационными перестройками метаболических процессов. Так, содержание йода на 8-дневных проростках овса отличалось от контроля в 4,4 раза. Можно объяснить отрицательный эффект применяемых удобрений большой дозой микроэлемента (0,02%). В наших опытах такая доза вызывала снижение показателей по отношению к контролю. В лабораторных опытах с семенами яровой пшеницы применение таких микроэлементов как селен, марганец, молибден, бор, кобальт повышали лабораторную всхожесть семян, энергию прорастания и длину ростка и корня (Корягин Ю.В., 2014).

Проведенные нами лабораторные опыты позволили установить оптимальные концентрации микроэлемента для того, чтобы применить их в вегетационных и полевых опытах с зерновой культурой, которая бы наиболее благоприятно откликнулась на использование йода в качестве микроудобрения. Такой культурой оказалась яровая пшеница с дозой йода 0,005- 0,01%.

4.2. Влияние йода на рост развитие и химический состав зерновых культур

Вегетационный метод - один из методов агрономического исследования, позволяющий более детально расчленять и выявлять значение отдельных факторов, влияющих на рост, развитие и в конечном итоге на урожайность сельскохозяйственных культур (Пискунов А.С., 2004).

При проведении многих исследований по изучению влияния иодида калия на различные культуры было отмечено, что применение оптимальных доз микроудобрения способствует увеличению физиологических показателей и продуктивности растений (Каббата-Пендиас А., 1989, Кашин В.К., 1987, 1984). В литературных источниках есть данные о проведенных вегетационных опытах по изучению влияния йода на овощные и зерновые культуры. Например, показано, что различные способы обработки раствором с концентрацией иодида калия 0,005% улучшили качество листового салата (Янишевская О.Л., 2003, Олива Т.В., 2015). Обработка монойодацетатом натрия картофеля увеличивала продуктивность растений (Перфильева А.И., 2013). В опытах Caffagni A., Chun-Lai Hong (Caffagni A., 2011, Chun-Lai Hong, 2008) вегетационные опыты проводились с томатами, ячменем, пшеницей, китайской капустой, салатом, морковью. Использовались растворы иодида и иодата калия с концентрацией 0,05, 0,1, 0,2 и 0,5%, которые оказали ингибирующее воздействие на растения (иодат в меньшей степени). Кашин В.К. в опытах с кукурузой и овсом использовал йод в виде свободного йода, иодата и иодида калия (Кашин В.К., 1987).

Существуют различные приемы применения микроудобрений. В наших опытах мы использовали следующие способы: основное внесение в почву, предпосевная обработка семян (намачивание семян раствором иодида калия) и некорневая подкормка растений (опрыскивание растений через неделю после всходов).

Влияние йода на сельскохозяйственные культуры можно отследить уже на ранних этапах развития растений. Однако, по мнению В.К. Кашина, применение микроудобрений, содержащих йод, в начальные периоды роста растений такими способами, как предварительная обработка семян и внесение в почву могут не оказывать влияния или способствовать снижению ростовых и других физиологических показателей, что объясняется адаптационной перестройкой процессов жизнедеятельности, вызванной дополнительным количеством элемента (Кашин В.К., 1987).

В результате проведения вегетационных опытов нами установлено влияние йодсодержащих удобрений на биометрические показатели растений и накопления йода в зерновых культурах.

В таблице 4.5 и на рисунке 4.7 представлены данные о влиянии йода в виде иодида калия на начальные показатели роста и развития яровой мягкой пшеницы сортов Памяти Азиева и Омская 36.

Таблица 4.5 – Биометрические показатели яровой мягкой пшеницы сортов Памяти Азиева и Омская 36 в среднем за 2013-2015 гг.

Вариант опыта		Сорт Памяти Азиева		Сорт Омская 36	
		масса растений, г/сосуд	высота растения, см	масса растений, г/сосуд	высота растения, см
Контроль		2,93±0,90	35,3±0,47	2,96±1,6	27,8±4,01
Намачивание	0,005%	<u>3,28±0,95</u> +11,9	30,5 ±0,5	<u>5,16±0,95*</u> +74,3%	31,6±4,29
	0,01%	<u>5,03±0,84</u> +71,7%	34,0±1,8	<u>5,57±0,84*</u> +88,2%	29,0±2,7
	0,02%	<u>4,97±0,83*</u> +69,6%	<u>40,0±2,0*</u> +13,3%	<u>5,18±0,83*</u> +75,0%	<u>32,5±2,9*</u> +16,9%
Внесение	9 кг/га	<u>5,20±0,60*</u> +77,5%	36,0±0,7	<u>2,49±0,61</u> -15,9%	26,4±5,2
	12 кг/га	<u>4,30±0,84</u> +46,8%	35,0±0,5	<u>5,38±0,84*</u> +81,8	26,6±3,4
	15 кг/га	<u>3,97±1,14</u> +35,5%	34,7±0,5	<u>5,59±3,14*</u> +88,9%	28,5±5,0
Опрыскивание	0,005%	<u>3,47±0,83</u> +18,4%	<u>38,0±4,2*</u> +7,6%	<u>2,77±0,83</u> -6,4%	28,8±5,6
	0,01%	<u>3,80±0,5*</u> +29,7%	<u>38,5±3,9*</u> +9,1%	<u>2,91±0,50</u> -1,7%	28,3±3,8
	0,02%	<u>2,99±0,47</u> +2,0%	<u>38,8±1,5*</u> +9,9%	<u>3,50±0,47</u> +18,2%	27,5±3,2

Примечание: * - в числителе абсолютные значения, в знаменателе изменения по сравнению с контролем, жирным выделены наиболее значительные увеличения

Увеличению массы растений пшеницы сорта Памяти Азиева по сравнению с контролем способствует намачивание семян раствором с концентрацией 0,01 и 0,02%, основное внесение, опрыскивание раствором с концентрацией 0,01%. (рисунок 4.7а). Максимальное увеличение массы

растений отмечается при внесении йода в дозе 9 кг/га (превышение по сравнению с контролем на 77,5%). Достоверное увеличение высоты растений отмечается на всех вариантах опрыскиваний и в опыте с предварительным намачиванием семян максимальной концентрацией (+13,3% для намачивания).

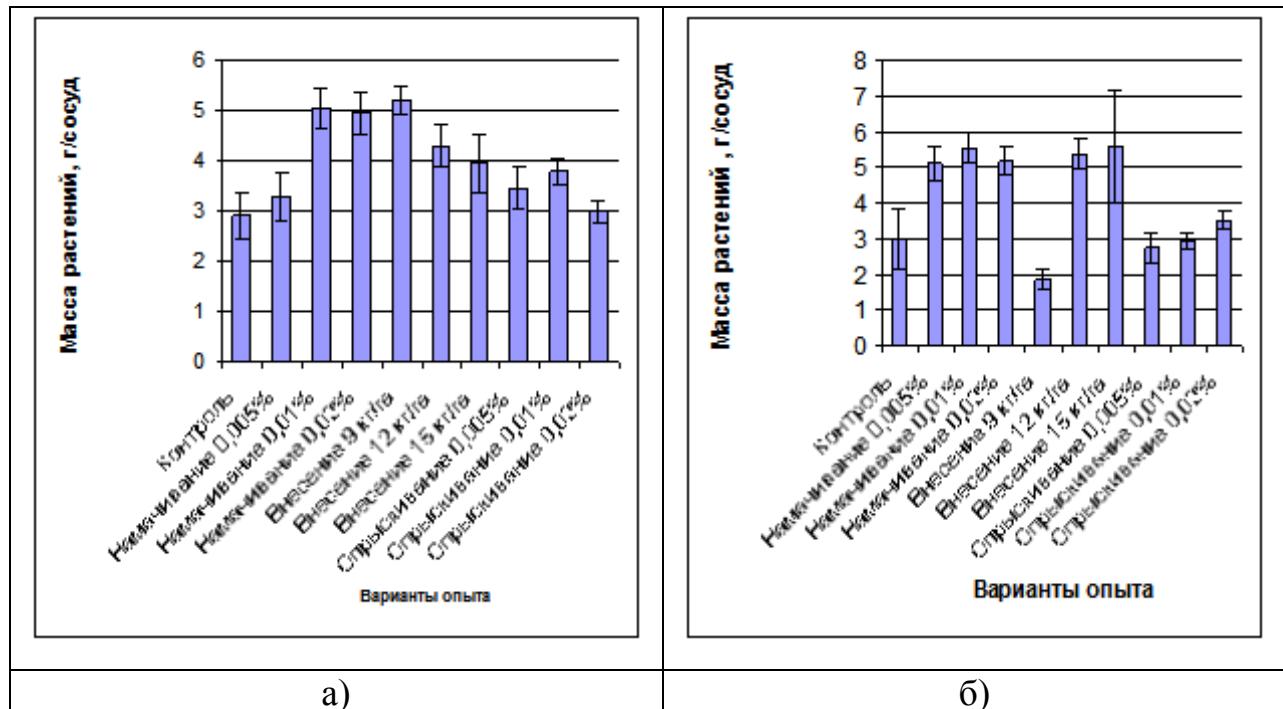


Рисунок 4.7– Влияние йода на массу растений пшеницы а) сорта Памяти Азиева и б) сорта Омская 36

Для пшеницы Омская-36 максимальная прибавка массы растений (на +88,9 % по сравнению с контролем) была отмечена на варианте с внесением микроэлемента в дозе 15 кг/га. Достоверное увеличение массы растений наблюдается при намачивании раствором иодида калия всеми изученными концентрациями, внесении йода в дозе 12 и 15 кг/га. Опрыскивание не дало достоверной прибавки. На рисунке 4.8 показана зависимость массы растений пшеницы от дозы йода при намачивании и внесении.

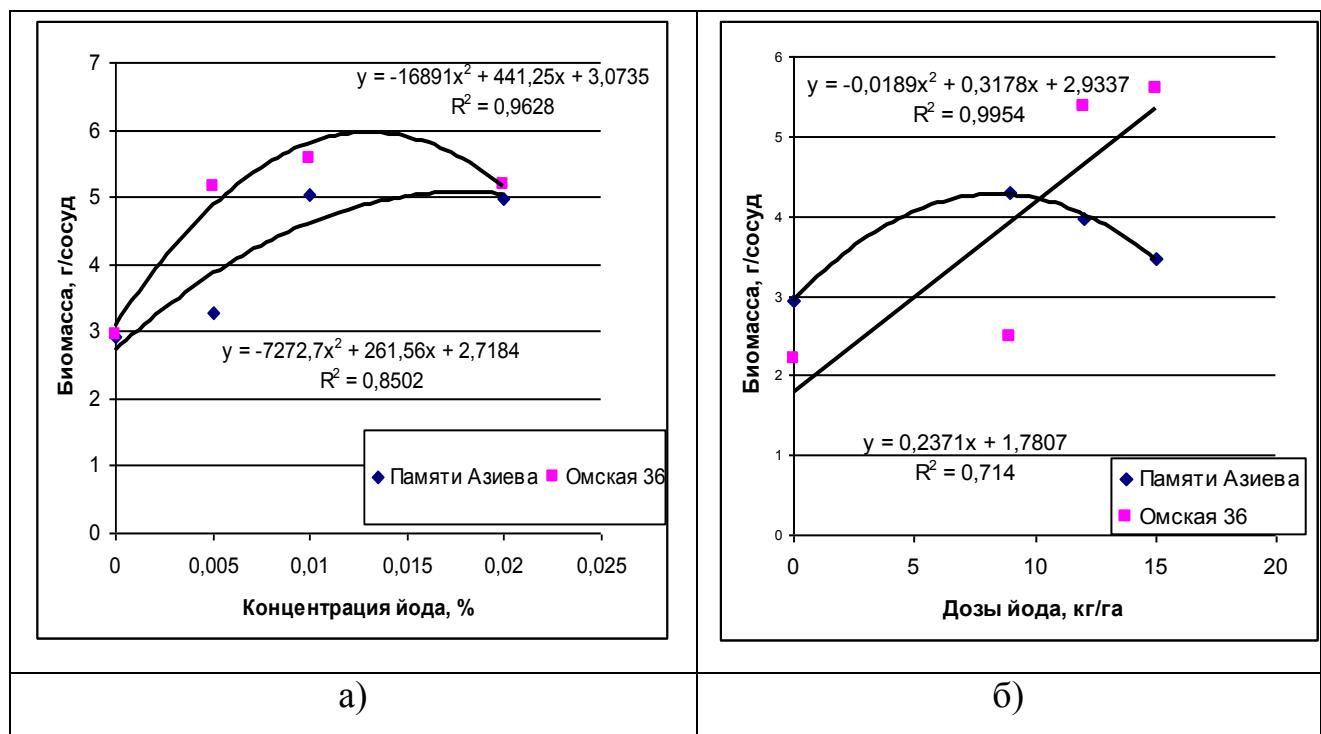


Рисунок 4.8 – Зависимость между дозами йода в растворе и массой растений пшеницы при а) намачивании и б) внесении

Можно сделать вывод о том, что внесение в почву иодида калия и намачивание его раствором в исследуемых концентрациях являются более эффективными способами обогащения йодом для яровой мягкой пшеницы, нежели некорневое внесение.

В таблице 4.6 представлены данные о влиянии йода в виде иодида калия на начальные показатели роста и развития озимой ржи сорта Сибирь.

Согласно данным таблицы 4.6, наибольшее увеличение массы растений озимой ржи при предварительном намачивании семян отмечалось при концентрации йода в растворе иодида калия равной 0,01% и превышало уровень контроля на 95%, а при некорневом внесении при 0,005% (выше уровня контроля на 90,9%) (рисунок 4.9).

Таблица 4.6 – Биометрические показатели озимой ржи сорта Сибирь

Вариант опыта		Масса растений, г/сосуд	Высота растения, см
Контроль		2,2±1,1	19,8±4,0
Намачивание	0,005%	<u>3,6±0,67*</u> +63,6%	<u>21,5±2,2</u> +8,5%
	0,01%	<u>4,3±0,45*</u> +95%	<u>25,5±2,7*</u> +28,8%
	0,02%	<u>1,1±0,2</u> -50,0%	<u>8,2±2,5</u> -58,6%
Внесение	9 кг/га	<u>2,2±1,1</u> 0	<u>19,7±3,0</u> -0,5%
	12 кг/га	<u>3,1±0,26*</u> +40,9%	<u>21,0±3,2</u> +6,1%
	15 кг/га	<u>1,6±0,34</u> -27,3%	<u>20,0±3,1</u> +1,0%
Опрыскивание	0,005%	<u>4,2±0,3*</u> +90,9%	<u>23,0±2,3</u> +16,2%
	0,01%	<u>2,4±0,1</u> +9,1%	<u>19,9±2,9</u> -0,5%
	0,02%	<u>1,7±0,1</u> -22,7%	<u>19,8±3,5</u> 0

Примечание: * - в числителе абсолютные значения, в знаменателе изменения по сравнению с контролем, выделены наиболее значительные увеличения

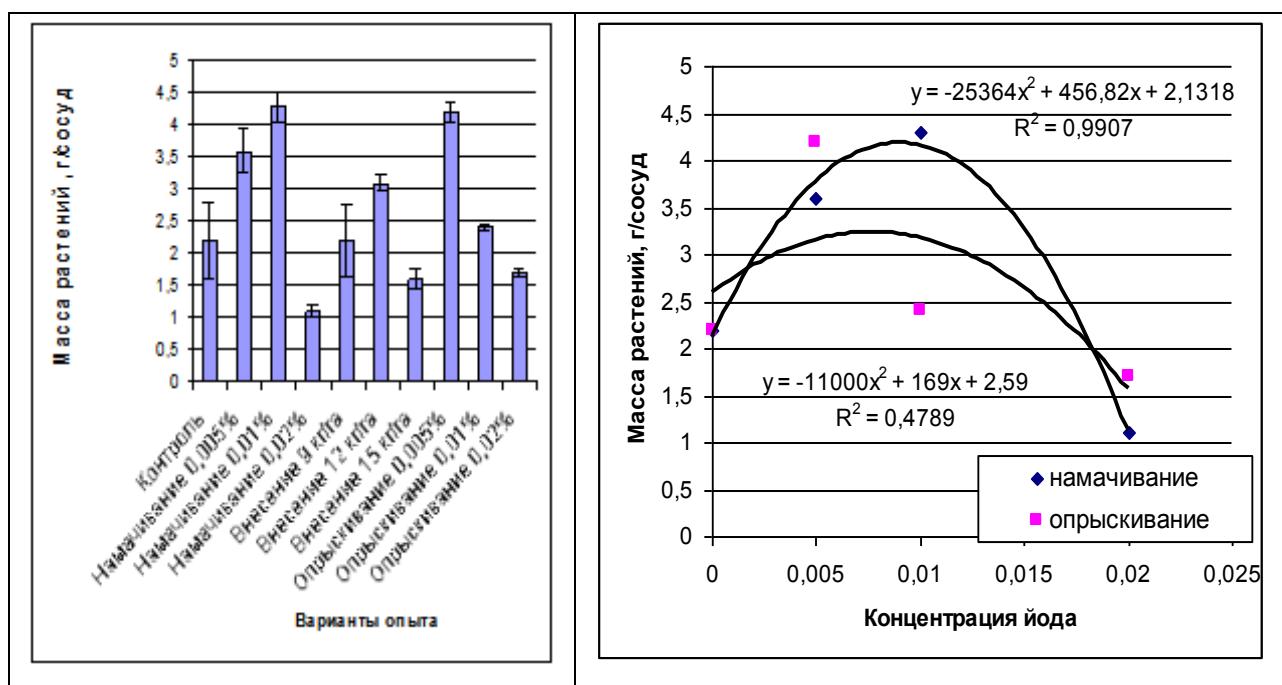


Рисунок 4.9 – Влияние йода на массу растений озимой ржи

В таблице 4.7 представлены данные о влиянии йода в виде иодида калия на начальные показатели роста и развития овса сорта Иртыш 13 и ячменя сорта Омский 87.

Таблица 4.7 – Биометрические показатели овса сорта Иртыш 13 и ячменя сорта Омский 87

Вариант опыта		Овес Иртыш 13		Ячмень Омский 87	
		масса растений, г/сосуд	высота растения, см	масса растений, г/сосуд	высота растения, см
Контроль		2,10±1,27	28,0±2,5	2,35±0,07	24,10±2,3
Намачивание	0,005%	<u>3,13±0,32*</u> +49%	25,7±2,1	<u>2,60±0,01*</u> +10,6%	24,70±2,1
	0,01%	<u>4,10±0,17*</u> +95,2%	<u>29,4±2,8</u> +5%	<u>2,70±0,6*</u> +14,8%	26,60±0,8
	0,02%	<u>3,16±0,05*</u> +50,4%	25,4±1,8	<u>3,75±0,21*</u> +78,6%	27,40±3,8
Внесение	9 кг/га	<u>3,26±0,60*</u> +55,2%	25,5±3,4	<u>3,65±0,07*</u> +55,3%	24,90±2,5
	12 кг/га	<u>2,3±0,32</u> +9,1%	23,3±2,1	<u>2,6±0,26</u> +10,6%	24,60±2,3
	15 кг/га	<u>2,03±0,89</u> -3,3%	21,1±1,7	<u>2,8±1,4</u> +19,1%	23,60±2,8
Опрыскивание	0,005%	<u>3,36±0,51*</u> +60,0%	21,8±1,5	<u>2,46±0,47</u> +4,7%	24,60±2,8
	0,01%	<u>3,33±0,98*</u> +58,6%	21,4±0,9	<u>3,05±0,07*</u> +29,8%	<u>30,80±2,4</u> +27,8%
	0,02%	<u>3,20±0,52*</u> +52,4%	20,5±1,4	<u>2,35±0,21</u> 0	19,20±1,7

Примечание: * - в числителе абсолютные значения, в знаменателе изменения по сравнению с контролем, выделены наиболее значительные увеличения

Наибольшее увеличение массы растений овса при намачивании семян отмечалось при концентрации йода в растворе иодида калия равной 0,01%, а при некорневом внесении - при меньшей концентрации - 0,005%. При этом увеличение массы растений превышало уровень контроля соответственно на 95,2 и 60,0%. С увеличением концентрации йода в растворе KI до 0,02%

масса растений овса снижалась, но оставалась выше контроля (рисунок 4.10).

Достоверного увеличения высоты растений овса не отмечено.

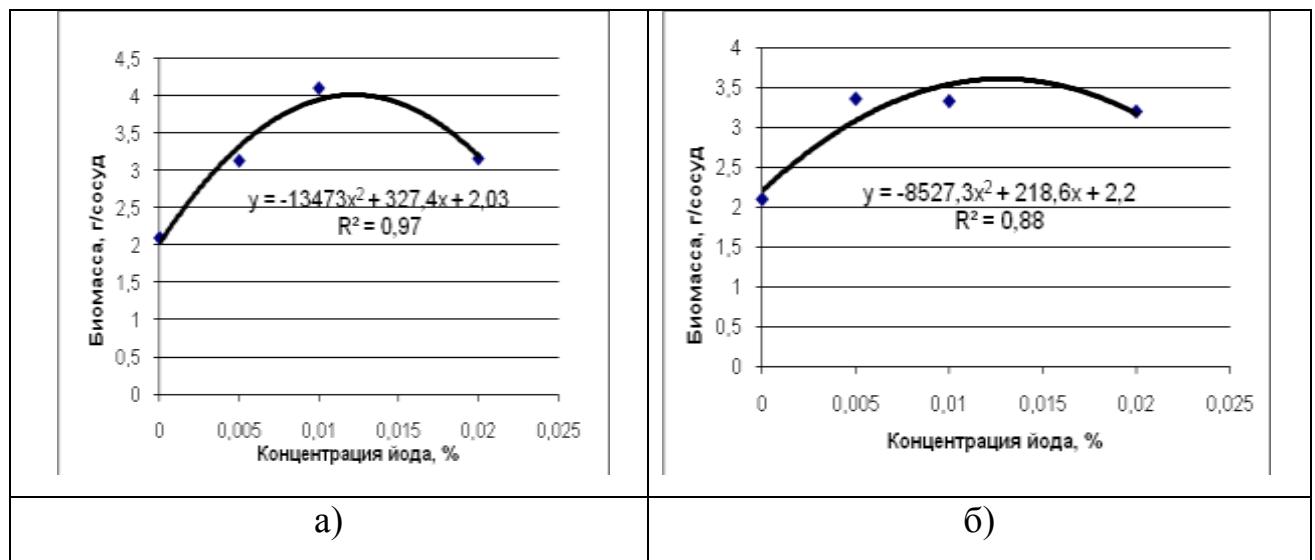


Рисунок 4.10 – Влияние различных доз йода на биомассу овса
при а) намачивании и б) опрыскивании

Установлена прямая зависимость между концентрацией йода в растворе при намачивании, дозами йода при основном внесении и массой растений овса и ячменя. Максимальное увеличение массы растений отмечено при намачивании раствором с концентрацией 0,02% и при внесении йода в дозе 9 кг/га (увеличение по сравнению с контролем соответственно 59,6 и 55,3%) (рисунок 4.11).

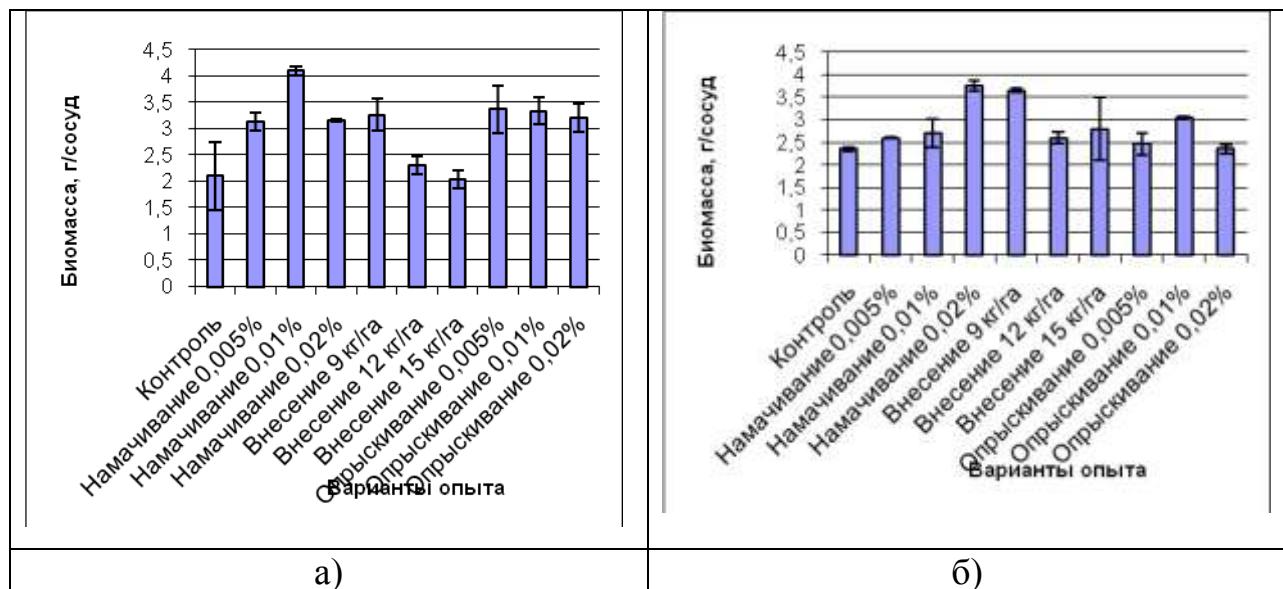


Рисунок 4.11 – Влияние йода на массу растений овса (а) и ячменя (б)

Изучено накопление сухого вещества в исследуемых культурах в зависимости от дозы и способа внесения йода.

На рисунке 4.12 показаны графики зависимости показателей сухого вещества для разных вариантов опыта для ржи.

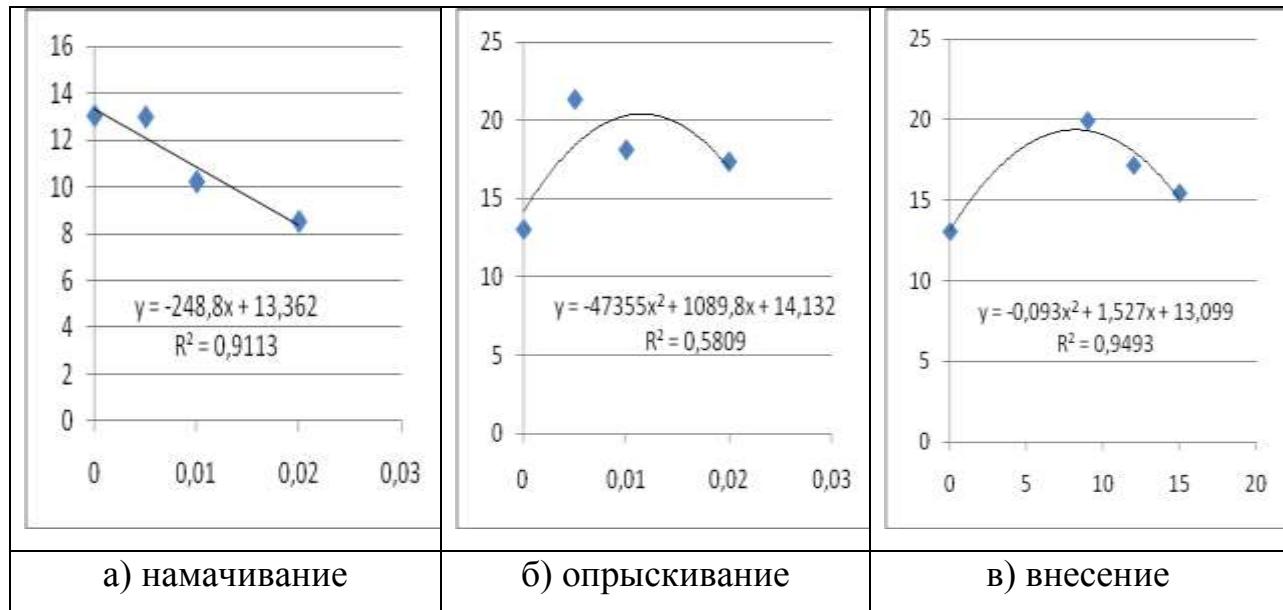


Рисунок 4.12 – Зависимости содержания сухого вещества (%) для разных способов внесения йода под рожь

Наибольшее содержание сухого вещества можно наблюдать при минимальных концентрациях йода при всех вариантах обработки для ржи и пшеницы сорта Памяти Азиева. При увеличении концентрации содержание сухого вещества снижается. Для других культур зависимости не выявлены.

При обобщении полученных данных, можно сделать вывод, что наиболее оптимальный способ применения удобрений – это предварительное намачивание семян концентрацией 0,01%. Наиболее отзывчивой оказалась яровая мягкая пшеница сортов Памяти Азиева и Омская 36.

Согласно представленным выше данным, между дозами применения йода и показателями роста и развития существует тесная взаимосвязь, следовательно, представляет особый интерес накопление йода в растениях при различных способах применения микроэлемента (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Содержание йода в зерновых культурах в зависимости от способов его применения

Вариант опыта		Содержание йода, мкг/кг				
		пшеница Памяти Азиева	пшеница Омская 36	ржь Сибирь	овес Иртыш 13	ячмень Омский 87
Контроль		70±15	50±7	87±16	125±11	160±19
Намачивание	0,005%	<u>168±25</u> +140%	<u>105±19</u> +110%	<u>675±50</u> +675%	<u>478±36</u> +282%	<u>325±26</u> +103%
	0,01%	<u>403±38</u> +475%	<u>254±30</u> +262%	<u>875±49</u> +905%	<u>541±60</u> +332%	<u>329±29</u> +163%
	0,02%	<u>441±50</u> +530%	<u>363±27</u> +418%	<u>1065,4±90</u> +1124%	<u>566±29</u> +352%	<u>334±30</u> +167%
Внесение	9 кг/га	<u>168±14</u> +140%	<u>56±8</u> +12%	<u>425±35</u> +388%	<u>391±41</u> +213%	—**
	12 кг/га	<u>262±32</u> +274%	<u>58±6</u> +16%	<u>475±39</u> +445%	<u>397±28</u> +218%	—
	15 кг/га	<u>510±43</u> +628%	<u>82±9</u> +64%	<u>563±60</u> +547%	<u>407±17</u> +226%	—
Опрыскивание	0,005%	<u>103±14</u> +47%	<u>125±11</u> +150%	<u>850±81</u> +877%	<u>428±35</u> +242%	<u>183±10</u> +14%
	0,01%	<u>242±24</u> +245%	<u>128±16</u> +156%	<u>875±88</u> +905%	<u>441±29</u> +353%	<u>262±29</u> +64%
	0,02%	<u>378±15</u> +440%	<u>329±40</u> +558%	<u>1087±95</u> +1149%	<u>466±44</u> +373%	<u>319±21</u> +99%

Примечание: * - в числителе абсолютные значения, в знаменателе изменения по сравнению с контролем, выделены наиболее значительные увеличения

** – нет данных

Согласно данным таблицы 4.8 можно сделать вывод, что метод предварительного намачивания семян является наиболее эффективным способом обогащения зерновых культур, что подтверждается данными В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987).

Обработка зерновых культур методом предварительного намачивания семян в растворах иодида калия увеличивает содержание йода в растительных образцах в среднем на 395%, некорневое внесение – на 357%, корневое внесение на 204%. Рожь оказалась наиболее отзывчива на обработку йодом – накопление этого микроэлемента методом предварительного намачивания семян концентрацией 0,02% повысило содержание йода в надземных органах в 12,2 раза, при опрыскивании - в 12,5 раз. Для пшеницы сорта Памяти Азиева корневое внесение йода в максимальной дозе оказалось наиболее эффективным – содержание йода увеличилось в 7,3 раза. Некорневое внесение йода раствором с концентрацией 0,02% для пшеницы Омская 36 показало максимальное накопление йода – в 6,6 раза. Для овса все варианты обработки повышали содержание микроэлемента в растениях. Лучший результат - в опытах с предварительным намачиванием максимальной концентрацией (увеличение в 4,5 раза). Для ячменя метод предварительного намачивания также оказался наиболее эффективным (увеличение содержания йода в 2,1 раза).

Согласно литературным данным, обогащение растений методом предварительного намачивания растворами с концентрациями иодида калия 0,001-0,05% увеличивает содержание йода в плодах и вегетативной массе в 6-15 раз (Жабонос Л.Д., 1968, Бессережнова Н.К., 1973). Внесение микроэлемента в почву повышает концентрацию йода в корнях в 10-22 раза, при этом содержание йода увеличивается несущественно (Потатуева Ю.А., 1970). Путем некорневых подкормок (0,01-0,1%) можно увеличить содержание йода в 10-100 раз (Кашин В.К., 1987). Наши данные подтверждают эти выводы. Овощи имеют более высокую способность поглощать йод, чем зерновые культуры (Chun-Lai Hong, 2008).

На основании имеющихся в литературе сведений В.К. Кашин пришел к выводу о том, что содержание йода в растениях является видовым признаком, но абсолютную величину его определяет экологический фактор (Кашин В.К., 1987). Отдельные виды растений могут значительно различаться

по содержанию йода, даже если они произрастают рядом на одной и той же почве. Это говорит о том, что различные виды обладают селективной способностью накопления, обусловленной генотипическими качествами растительного организма.

На рисунке 4.13 показаны графики зависимости содержания йода в растительных образцах пшеницы от дозы при некорневом внесении йода.

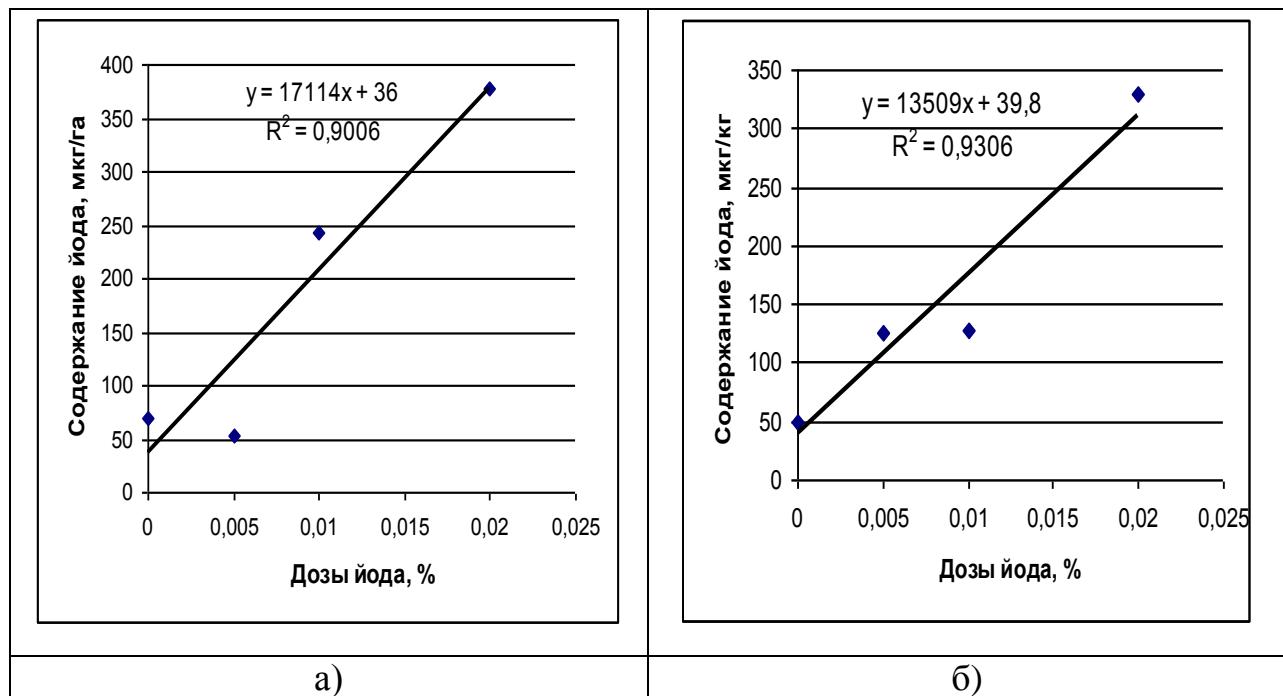


Рисунок 4.13 – Зависимость накопления йода от дозы его применения для а) пшеницы сорта Памяти Азиева и б) пшеницы сорта Омская 36.

С целью прогноза содержания йода в зерновых согласно уравнениям, представленным в таблице 4.9, установлены коэффициенты интенсивности накопления микроэлемента в вегетативных органах в зависимости от дозы йода - коэффициенты «*b*».

Отмечается прямая зависимость между дозами йода и его содержанием в растениях при всех способах внесения микроудобрений (уравнения 4.1 - 4.14): где *y* - содержание йода в растении, мкг/кг; *x* - концентрация йода в растворе при опрыскивании (%), намачивании (%), внесении (кг/га).

Таблица 4.9 – Зависимости содержания йода в зерновых культурах (у, мг/кг) от дозы поступления йода (х, кг/га, %)

Культура	Намачивание	Опрыскивание	Внесение
Пшеница Памяти Азиева	$y = 19303x + 101,6$ (4.1) $r = 0,91$	$y = 17114x + 36x$ (4.6) $r = 0,95$	$y = 25,524x + 22,7$ (4.11) $r = 0,87$
Пшеница Омская 36	$y = 16320x + 50,2$ (4.2) $r = 0,98$	$y = 13509x + 39,8$ (4.7) $r = 0,96$	$y = 1,7143x + 46,071$ (4.12) $r = 0,79$
Рожь Сибирь	$y = 44720x + 284,2$ (4.3) $r = 0,90$	$y = 42851x + 349,8$ (4.8) $r = 0,83$	$y = 31,9x + 100,3$ (4.13) $r = 0,98$
Овес Иртыш 13	$y = 19006x + 261,2$ (4.4) $r = 0,79$	$y = 14149x + 241,2$ (4.9) $r = 0,78$	$y = 19,905x + 150,8$ (4.14) $r = 0,94$
Ячмень Омский 87	$y = 305,7x + 285$ (4.5) $r = 0,75$	$y = 9565,76x + 129,8$ (4.10) $r = 0,87$	—*

* - нет данных

Полученные нами экспериментальные данные позволяют рассчитать коэффициент «*b*» интенсивности действия йода на его содержание в растениях зерновых культур (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Коэффициент "b" интенсивности действия микроэлемента на его содержание в растениях

Вариант опыта	Коэффициент "b", мг/кг				
	пшеница Памяти Азиева	пшеница Омская 36	ржь Сибирь	овес Иртыш 13	ячмень Омский 87
Намачивание	19,3	16,3	44,7	19,0	0,3
Опрыскивание	17,1	13,5	42,8	14,1	9,6
Внесение	0,025	0,001	0,031	0,019	—*

* - нет данных

Полученные количественные характеристики «*b*» растений позволяют прогнозировать содержание йода в растениях зерновых культур (4.15):

$$C \text{ мг/кг} = C\phi + (D \cdot b), \quad (4.15)$$

где *C* - содержание йода в растении, мг/кг сухого вещества;

*C**φ* - исходное содержание йода в растении, мг/кг сухого вещества;

D - доза поступившего элемента в почву, кг/га; %;

b - коэффициент интенсивности действия единицы поступившего элемента в растение, мг/кг.

Установленные коэффициенты интенсивности действия « b » могут использоваться в практической агрохимии и экологии при расчете оптимальных доз микроэлемента, оценки его накопления в зерновых культурах. Например, используя установленные коэффициенты « b » интенсивности внесенных 1 кг/га йода на химический состав почвы и растений, можно прогнозировать содержание этого элемента в растениеводческой продукции.

Таблица 4.11 – Оптимальные концентрации и способ внесения йодсодержащих удобрений для зерновых культур

Культура	Оптимальные концентрации и способ внесения по показателям		
	высота растения	биомасса	содержание йода
Пшеница Памяти Азиева	Намачивание 0,02%	Намачивание 0,01-0,02%	Внесение 15 кг/га
Пшеница Омская 36	Намачивание 0,02%	Намачивание 0,01-0,02%	Опрыскивание 0,02%
Рожь Сибирь	Намачивание 0,01%	Намачивание 0,01%	Внесение 9-15 кг/га
Овес Иртыш 13	Внесение 9 кг/га Опрыскивание 0,005-0,01%	Не выявлено	Опрыскивание 0,02-0,02%
Ячмень Омский 87	Намачивание 0,02%	Опрыскивание 0,01%	Намачивание 0,02%

Для растений овса оптимальными содержаниям йода в стеблях и листьях (при которых урожайность овса повышается) является 0,19-0,45 мг/кг (то есть 190-450 мкг/кг) (Кашин В.К., 1984). Содержание галогена в растениях в настоящее время оценивается в России следующим образом: верхней пороговой концентрацией микроэлемента можно считать 0,8-1,2 мг/кг (Ковалевский В.В., 1972). Наши данные показывают, что такие способы

обогащения йодом, как внесение и опрыскивание являются наиболее безопасными с экологической точки зрения. Изученные дозы также не способствует его накоплению его в растениях в дозах, опасных для животных и человека

На основании данных таблицы 4.11, можно установить оптимальные для роста и развития диапазоны содержания йода в зерновых культурах.

Таблица 4.12 – Оптимальное содержание йода для зерновых культур(мкг/кг)

Культура	Пшеница Памяти Азиева	Пшеница Омская 36	Рожь Сибирь	Овес Иртыш 13	Ячмень Омский 87
Оптимальное содержание	403-441	254-363	826-924	391-441	262-334

Следует отметить, что пшеница сорта Памяти Азиева более благоприятно откликнулась на обработку йодсодержащими удобрениями, чем пшеница сорта Омская 36. Рожь Сибирь также хорошо поддается обогащению йодом, остальные культуры накапливают йод примерно одинаково.

5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ И СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА ПАМЯТИ АЗИЕВА

5.1. Влияние йодсодержащих удобрений на биометрические показатели яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева

Анализ литературных данных, (Кашин В.К., 1987, Каббата-Пендиас А,1989) говорит о полифункциональном действии йода на метаболизм растений. Физиологическое действие йода осуществляется процессом специфического участия в азотном обмене и неспецифического влияния свободных ионов этого элемента на активность ферментов и окислительно-восстановительные процессы. Следствием участия микроэлемента в процессах азотного обмена в окислительно-восстановительных реакциях является существенное воздействие на фотосинтетическую деятельность, углеводный обмен, водный обмен, ростовые процессы и продуктивность. Поэтому, для наших исследований было важно установить зависимость биометрических показателей растений в зависимости от концентрации йода и способа его внесения.

При позитивном эффекте применения микроудобрений на биометрические показатели пшеницы, можно спрогнозировать потенциальное увеличение урожайности яровой мягкой пшеницы. Согласно литературным данным, биометрический анализ таких злаковых культур, как рис, овес показывает, что при использовании йодсодержащих удобрений повышается урожайность этих культур (Яковлева Е.А., Шеуджен А.Х., 2015, 2016, Кашин В.К., 1987).

В ходе полевого опыта был проведен биометрический анализ растений в фазу колошения и в фазу полной спелости. Фаза колошения пшеницы была выбрана для биометрического анализа, потому что это

середина вегетационного периода растений, в течение которого можно отследить динамику влияния микроудобрений.

Влияние йода на массу растений яровой пшеницы

Данные о влиянии йода на биомассу растений в среднем за три года представлены в приложении 7 и на рисунке 5.1. В фазу колошения наибольшее увеличение биомассы по отношению к фону в среднем за три года наблюдается при опрыскивании концентрацией 0,005% (+18,3% по сравнению с фоновыми значениями), а в фазу полной спелости - отмечается на образцах при опрыскивании растворами максимальной концентрации 0,02% (+27,5). По данным Hong,C.-L. (Hong,C.-L., 2008) прирост биомассы сокращается, когда концентрация йода превышает 50 мг/кг, в наших же опытах с опрыскиваниями: 0,005, 0,01, 0,02%, что соответствует 65, 130, 260 мг/кг максимальная концентрация оказалась наиболее стимулирующей.

Внесение йода способствует повышении массы растений (+17,6%) по сравнению с контролем – максимальный результат при 15 кг/га. По данным P.G. Lawson (Lawson P.G. с соавт., 2015), опрыскивание иодидом калия не влияет на биомассу растений, а при внесении в дозе 15 кг/га наблюдается хлороз и некроз растений, в наших опытах хлороз наблюдался лишь при опрыскивании концентрациями 0,01 и 0,02%.

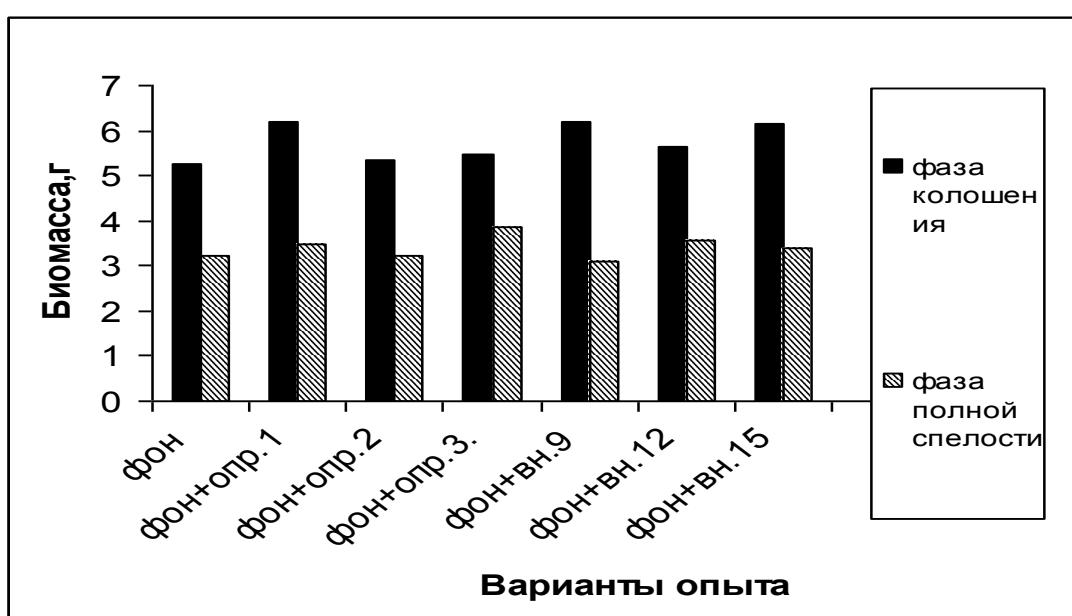


Рисунок 5.1 – Влияние йода на массу растений

При сравнении влияния йода на массу растений при внесении и опрыскивании наблюдается следующая закономерность: в фазу колошения минимальные дозы оказываются наиболее стимулирующими, увеличение концентрации йода снижает массу растения (рисунок 5.2). В фазу полной спелости максимальный прирост биомассы наблюдается при опрыскивании концентрацией 0,02%, и внесении в дозах 9 и 12 кг/га.

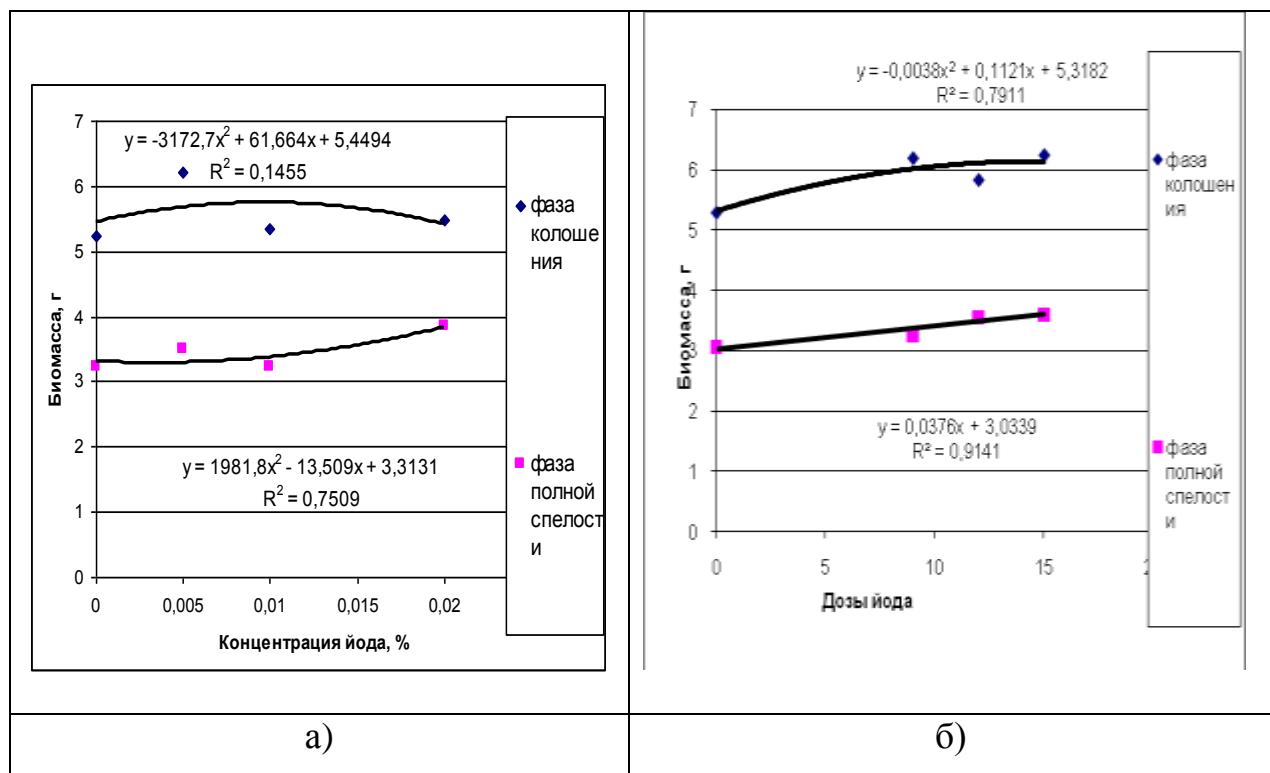


Рисунок 5.2 – Сравнение влияния йода на массу растений пшеницы при а) опрыскивании и б) внесении

При анализе полученных данных по массе колоса отмечается аналогичная тенденция, как с показателями массы растений (приложение 8) и рисунок 5.3.

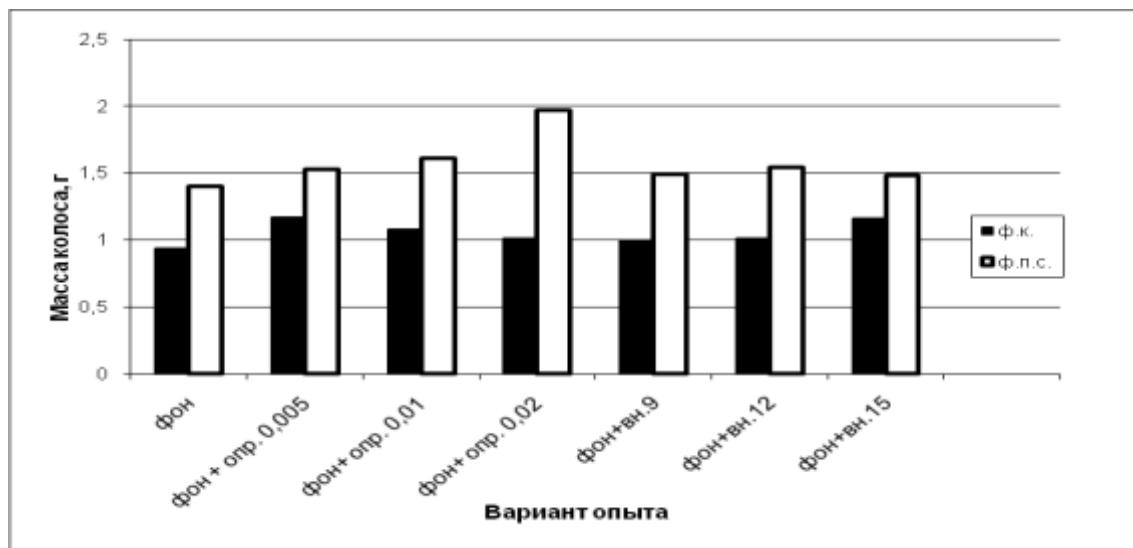


Рисунок 5.3 – Влияние йода на массу колоса в разные фазы
(ф.к. – фаза колошения, ф.п.с. – фаза полной спелости)

Опрыскивание раствором иодида калия концентрацией 0,005% в фазе колошения дает больший прирост массы колоса, чем остальные концентрации (+24,4%), затем идет снижение +14,9% (в опытах с опрыскиванием концентрацией 0,01%) и +7,4% (опрыскивание с концентрацией 0,02%). Однако в фазе полной спелости наибольший прирост массы колоса был получен при опрыскивании раствором с концентрацией 0,02% (+40,7%) (рисунок 5.4).

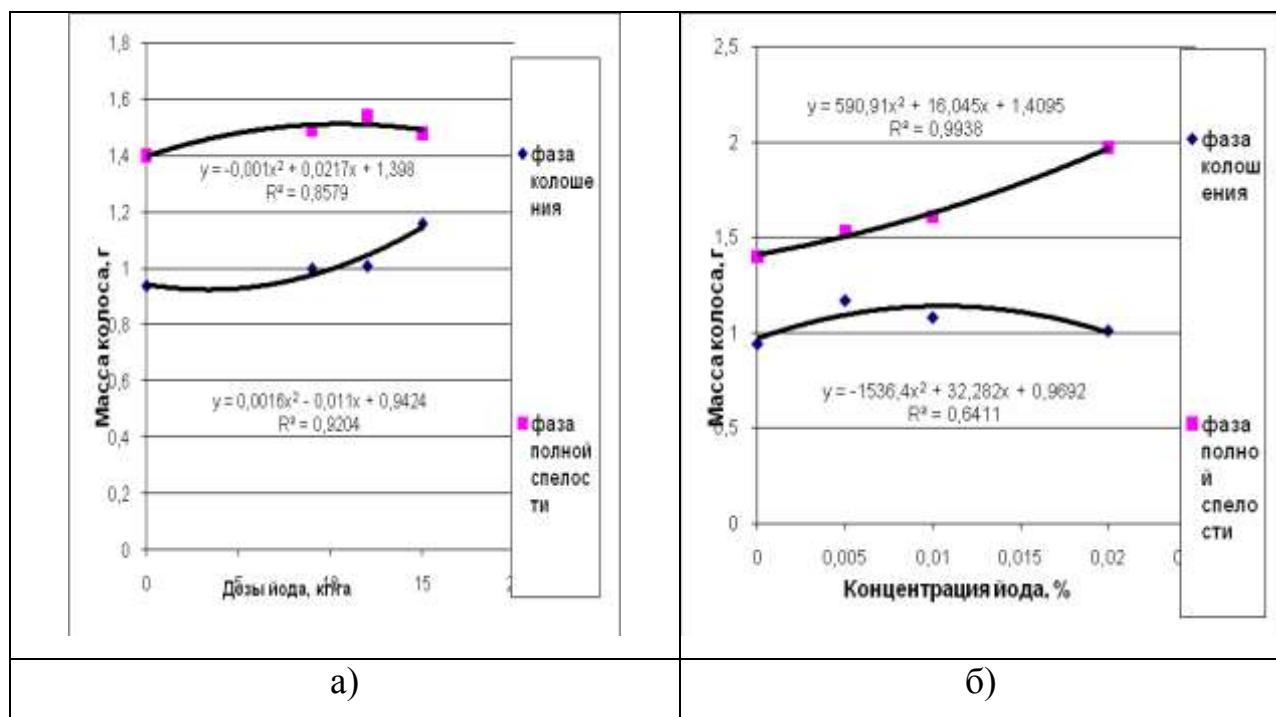


Рисунок 5.4 – Сравнение влияния йода на массу колоса при
а) внесении и б) опрыскивании

Влияние йода на массу и площадь листьев в фазу колошения

Данные о влиянии йода на биомассу растений в среднем за три года представлены в приложении 9. Рассматривая влияние микроэлемента на массу листьев, можно отметить отрицательное влияние опрыскиваний раствора иодида калия с концентрацией выше 0,005%. Если опрыскивание первой концентрацией дает прибавку +22,0% , то последующие приводят к хлорозу (рисунок 5.5), как следствие – отрицательные значения – (при опрыскивании раствором с концентрацией 0,01% – без изменений по сравнению с контролем, при опрыскивании раствором с концентрацией 0,02% – -13%). Аналогичная тенденция просматривается и с данными по площади листьев (приложение 9). На вариантах с основным внесением в почву наилучший результат с дозой 9 кг/га – +22,0% по сравнению с контролем. Повышение дозы приводит к уменьшению массы листьев.



Рисунок 5.5 – Влияние опрыскивания максимальной концентрацией на растения пшеницы в фазу колошения (отмечен хлороз на варианте с опрыскиванием)

Суммируя данные, можно отметить, что при внесении и опрыскивании наблюдается следующая закономерность: в фазу колошения минимальные дозы оказываются наиболее стимулирующими, увеличение концентрации

йода снижает показатели роста и развития. В фазу полной спелости максимальные концентрации дают наилучшие прибавки по сравнению с фоновыми. Такие результаты можно объяснить более длительным сроком действия йодсодержащих удобрений на растения пшеницы (Кашин В.К., 1987). В этом заключается специфика действия йода на растения в сравнении с другими микроэлементами. Происходит адаптационная перестройка процессов жизнедеятельности, вызванная дополнительным количеством микроэлемента. В дальнейшем ответная реакция растений приобретает стимулирующий характер.

Положительное действие йода можно объяснить, по мнению В.К. Кашина, усилением биосинтеза триптофана и трансаминирование его в индолевые ауксины. Способность клеток растений к растяжению под действием йода усиливаются, так как ауксины способствуют ослаблению связей между мицеллами целлюлозы в клеточной оболочке. Размеры листовой поверхности увеличиваются. По мнению П. Илиева (Илиев П., 1969), йод проявляет «секундарную» форму действия, когда в отличие от «стартовой» формы стимуляция физиологических процессов не в начале, а на более поздних этапах развития.

От развития и формирования листовой поверхности зависит создание определенного фотосинтетического потенциала посева (ФП), который отражает суммарную листовую поверхность за вегетацию на единицу площади посева и является важным показателем, связанным с урожаем. Нами был определен фотосинтетический потенциал яровой пшеницы до фазы колошения.

А.А. Ничипорович отводит главную роль в формировании урожая фотосинтетическому аппарату растений, который служит органом восприятия солнечной энергии. Поэтому повышать урожай - это значит, прежде всего, увеличивать фотосинтетическую продуктивность, коэффициент использования солнечной радиации (Ничипорович А.А., 1961).

Таблица 5.1 – Фотосинтетический потенциал (по А.А. Ничипоровичу)
по площади флагового листа

Вариант опыта	2013 46 суток		2014 42 суток		2015 42 суток		Среднее Ф $\text{см}^2 \times \text{сут.} / \text{раст}$
	S фл, см^2	ФП $\text{см}^2 \times \text{сут.} / \text{раст}$	S фл, см^2	ФП $\text{см}^2 \times \text{сут.} / \text{раст}$	S фл, см^2	ФП $\text{см}^2 \times \text{сут.} / \text{раст}$	
Контроль	13,5	620,1	6,3	266,9	8,9	371,8	419,6
Фон	11,9	546,0	9,0	379,7	11,1	466,6	464,1
Фон+опрыскивание	0,005%	14,8	682,6	11,2	471,2	12,9	543,9
	0,01%	13,4	615	9,5	396,9	10,9	456,1
	0,02%	10,8	498,2	9,4	396,0	5,2	217,9
Фон+внесение	9 кг/га	10,9	503,2	10,1	425,9	9,78	410,8
	12 кг/га	13,0	598,9	10,2	431,8	9,63	404,5
	15 кг/га	10,8	495,0	10,7	449,8	8,62	362,0
							435,6

Таблица 5.2 – Фотосинтетический потенциал по площади листьев

Вариант опыта	В среднем за три года 46 суток	
	площадь листьев, см^2	ФП, $\text{см}^2 \times \text{сут.} / \text{раст}$
Контроль	12,5	574,4
Фон	9,3	429,3
Фон+ опрыскивание	0,005%	11,7
	0,01%	12,2
	0,02%	14,6
Фон+ внесение	9 кг/га	11,3
	12 кг/га	14,0
	15 кг/га	10,5

Примечание: * - выделены наивысшие результаты

Из приведенных таблиц видно, что в среднем за три года максимальные значения фотосинтетического потенциала наблюдаются на вариантах с корневым внесением йода в дозе 12 кг/га и в опытах с опрыскиваниями растворами йода, причем с увеличением концентрации значения потенциала уменьшаются. По корневому внесению зависимости не выявлено, что согласуется с нашими данными по урожайности (приложение 14).

Влияние йодсодержащих удобрений на высоту растений

В фазу колошения в опытах с некорневым внесением высота растений снижается от минимальной концентрации к максимальной (по причине хлороза). При опрыскивании растворами с концентрацией йода 0,005% наблюдается небольшое повышение значений - +8,6%, а к дозе 0,02% высота растений снижается в среднем на 7,6% по отношению к фону (приложение 10). Опыты с внесением тоже не показали положительного влияния йода на высоту растений. Значения либо близки к фоновым, либо незначительно ниже.

Результаты биометрических показателей растений урожая 2013 года показывают достоверную прибавку по высоте стебля по всем вариантам опыта, в отличие от данных 2014 года. Это можно объяснить метеоусловиями 2014 года. Количество осадков превышало в июле норму на 87%. Переувлажненность не может благоприятствовать накоплению йода ввиду хорошей растворимости его солей (Конарбаева Г.А., 2014). Это снизило эффект применяемых удобрений. В среднем за три года достоверное увеличение высоты растения показали все варианты с опрыскиванием.

В среднем за три года можно отметить положительное влияние опрыскиваний иодидом калия с максимальной концентрацией йода. Прибавка в среднем составила (+14,8% по сравнению с фоном).

5.2. Урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях применения йода

При оценке действия микроэлементов в экосистемах одними из важнейших параметров являются продуктивность и урожайность культурных растений.

Для получения наибольшего эффекта от применения микроэлементов необходимо выбрать оптимальный способ их внесения: в почву совместно с макроудобрениями; опрыскивание вегетирующих растений (некорневое внесение). Необходимо отметить, что действие любого микроэлемента на рост и развитие может оптимально проявиться только при сбалансированном питании макроэлементами. Поэтому изучение действия йода проводилось на фоне $N_{60}P_{30.}$ (Ермохин Ю.И., 2010).

Микроэлементы, поступающие через листья при некорневой подкормке, могут оказывать значительное воздействие на метаболизм растения. Считается, что фолиарное поглощение состоит из двух фаз – неметаболического проникновения через кутикулу, которое в целом рассматривается как главный путь поступления, и метаболических процессов, которыми объясняется накопление элементов, противоположное действию градиентов концентрации. Вторая группа процессов ответственна за перенос ионов через плазматические мембранны и в протоплазму клеток. Микроэлементы, поглощенные листьями, могут переноситься в другие растительные ткани, включая и корни, где избыточное количество элемента может быть запасено (Каббата-Пендиас А., 1989).

Наши исследования показали, что действие микроэлемента на урожайность пшеницы зависело от метеорологических условий года, его концентрации и способа внесения.

Средняя урожайность зерна, полученного в ходе полевого опыта, представлена на рисунке 5.6 и в приложениях 11-14.

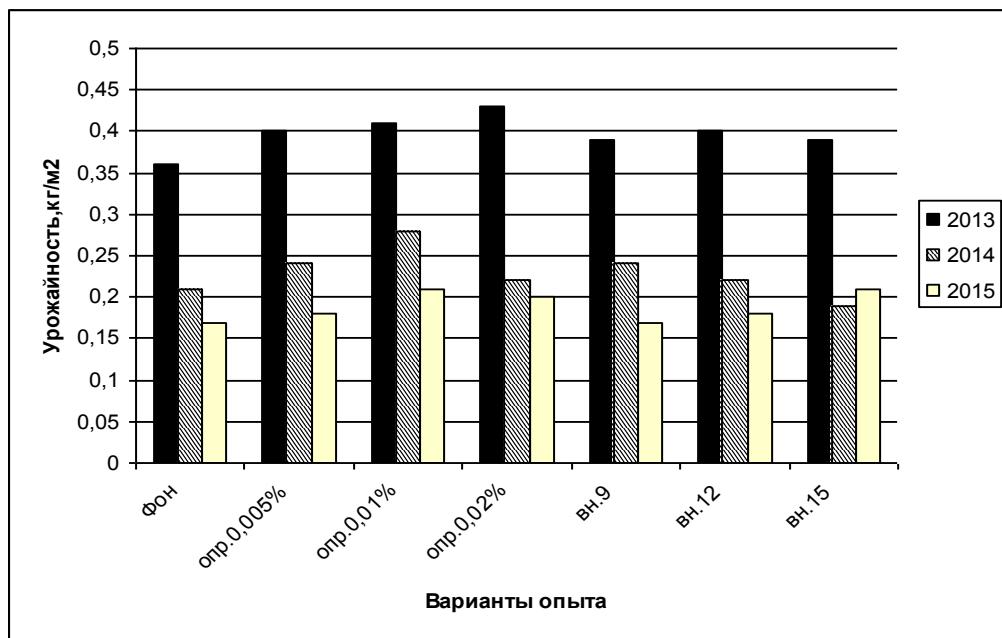


Рисунок 5.6 – Влияние йода на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева ($HCP_{05} = 0,03$)

Исследования показали эффективность некорневого внесения йода в виде иодида калия, причем наибольшее положительное влияние оказала обработка растений раствором КІ с концентрацией микроэлемента 0,01%. Прибавка урожайности зерна яровой мягкой пшеницы в среднем за три года (2013-2015 гг.) составила 25%.

Некорневые подкормки основываются на способности растения поглощать питательные элементы надземными органами, минуя почву. По мнению Кашина (Кашин, 1987), это наиболее эффективный способ применения удобрений, поглощение микроэлемента идет по «безбарьерному типу», что позволяет регулировать их содержание в нужных количествах.

Наши исследования позволили установить взаимосвязь между концентрацией йода в растворе иодида калия при опрыскивании и урожайностью зерна яровой мягкой пшеницы (рисунок 5.7).

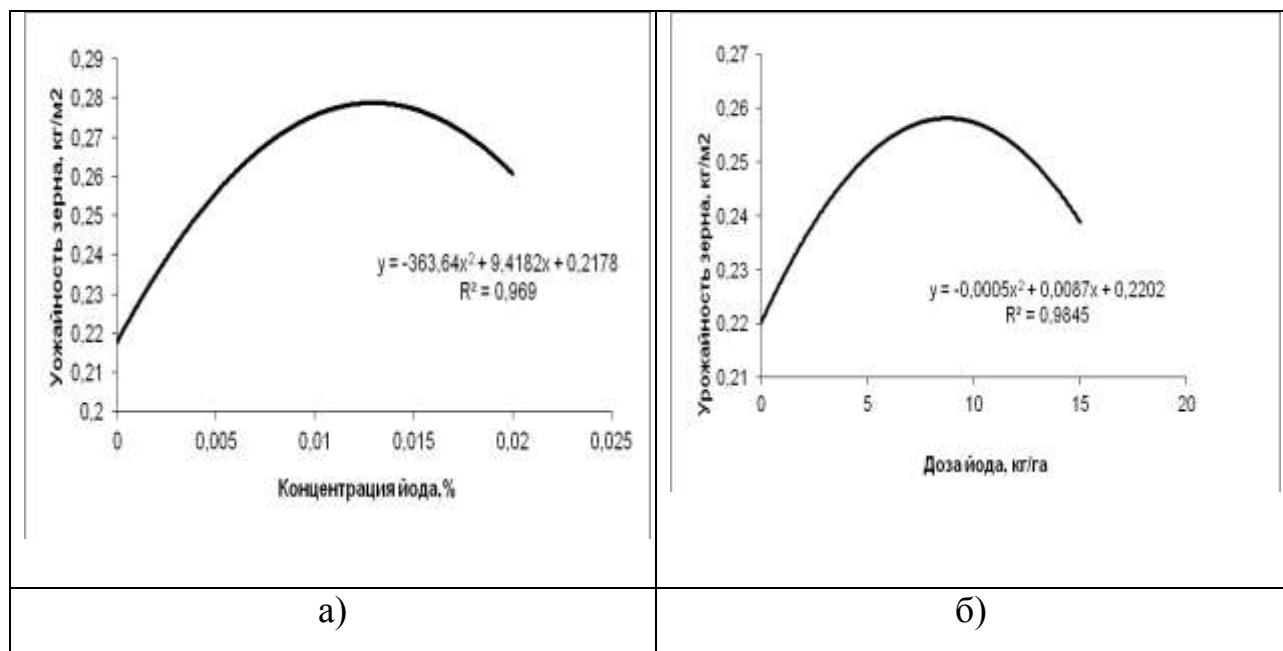


Рисунок 5.7 – Влияние йода в виде иодида калия на урожайность зерна пшеницы при а) опрыскивании и б) корневом внесении

Исследования показали, что внесение йодсодержащих удобрений в изучаемых дозах в почву также положительно сказывается на урожайности зерна пшеницы. Наибольшая прибавка отмечена при дозе вносимого микроэлемента, равной 9 кг/га. Прибавка по сравнению с фоном в среднем за три года (2013-2015 гг.) составляет 12,5%. С увеличением дозы микроэлемента урожайность снижается, но также превышает уровень фона (рисунок 5.7).

На урожайность пшеницы также повлияли метеоусловия года. В 2013 году по всем вариантам опыта прибавка урожайности по зерну оказалась статистически достоверной (приложение 5). Вегетационный период этого года был относительно засушливым в сравнении с 2014-2015 годами. Недостаток осадков повлиял на то, что вносимые удобрения не были растворены, что позволило растениям их лучше усвоить.

В 2013 году наибольшая прибавка по соломе отмечалась в опыте с опрыскиванием 0,01 (прибавка +12,7%) (приложение 15, рисунок 5.8).

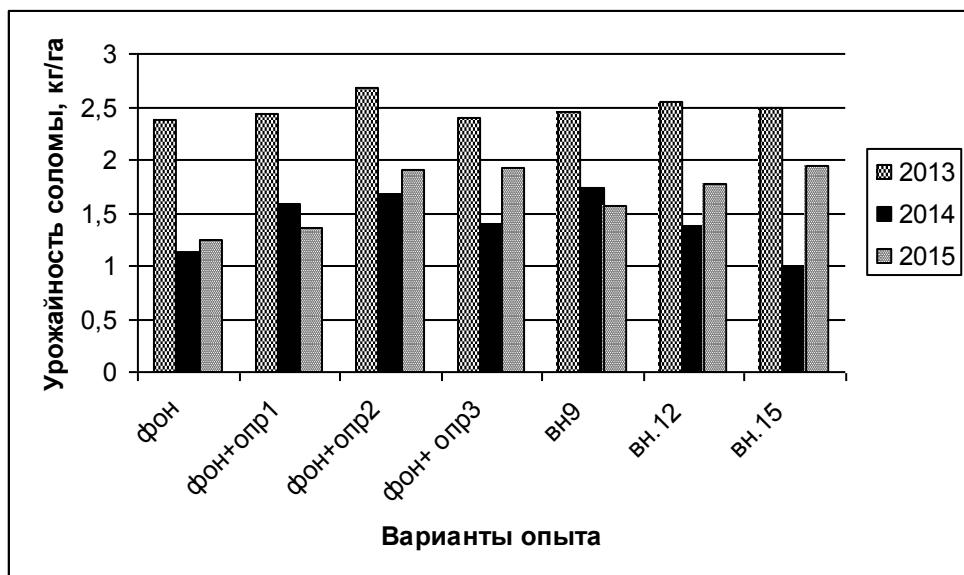


Рисунок 5.8 – Влияние йода на урожайность соломы яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева ($HCP_{05}=0,2$)

В 2015 году достоверная прибавка была практически на всех вариантах опыта. В среднем за три года максимальная прибавка отмечается на варианте с опрыскиванием концентрацией 0,01% (+31,6%) (рисунок 5.9).

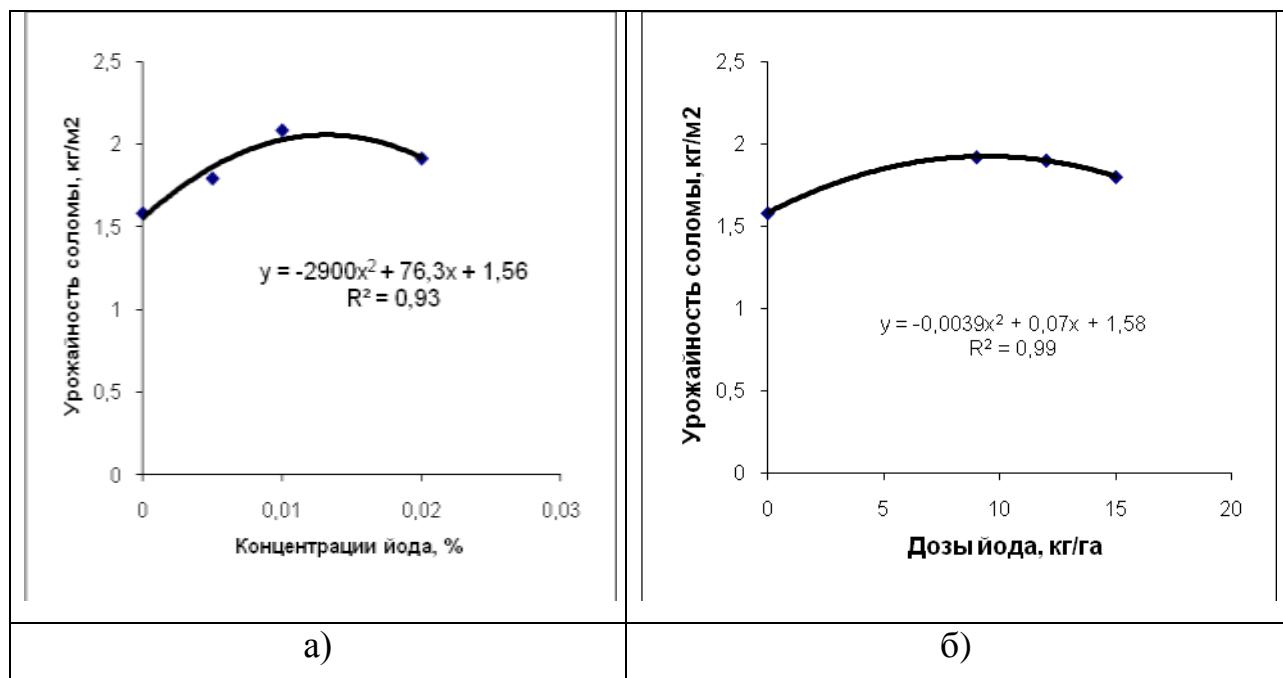


Рисунок 5.9 – Влияние йода в виде иодида калия на урожайность соломы пшеницы при а) опрыскивании и б) корневом внесении

Причинами положительного влияния некорневых обработок на урожайность растений, по мнению Кашина, могут быть две:

- 1) стимуляция процессов обмена веществ,

2) повышение иммунитета растений к болезням и вредителям.

Положительное влияние корневого внесения объясняется, в том числе и улучшением микробиологической активности почвы, о чем было сказано в главе 3.

При оценке способа внесения микроэлемента необходимо учитывать положительные и отрицательные стороны (Кашин В.К., 1987). При внесении КІ в почву положительными являются способность его действия в течение всего вегетационного периода, возможность включения его в состав макроудобрений и совместного внесения в почву. Недостатками являются большой расход дорогостоящих удобрений, быстрая фиксация микроэлемента в формах, слабодоступных растениям, наличие корневых физиологических барьеров, ограничивающих поступления элемента в растения, потери при вымывании.

Положительная сторона некорневых подкормок заключается в возможности подкормить растения в любое время в течение вегетационного периода, меньший расход удобрений. Этот прием позволяет обеспечить питанием растений при неблагоприятных почвенных условиях, избежать химического и биологического связывания элемента почвой. Недостатком является зависимость его эффективности от метеоусловий, высокая стоимость работ по опрыскиванию (Кашин В.К., 1987).

Полученные данные трехлетних исследований позволили разработать математические уравнения, позволяющие прогнозировать изменение урожайности зерна и соломы пшеницы (y_1) в области оптимальных концентраций йода (x) в растворе иодида калия, применяемого при некорневом и основном внесении (уравнения 5.1- 5.4).

В области оптимальных дозировок микроудобрений установлены коэффициенты интенсивности действия единицы поступившего йода в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая зерна и соломы яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева.

Таблица 5.3 –Математические уравнения и коэффициент «*b*» (кг д.в./га)
интенсивности действия йода

Образец	Опрыскивание		Внесение	
	уравнение	коэффициент « <i>b</i> »	уравнение	коэффициент « <i>b</i> »
Зерно	$y = 6x + 0,24$ (5.1) $r = 0,99$	6	$y = 0,0033x + 0,24$ (5.3) $r = 0,99$	0,0033
Солома	$y = 50x + 1,56$ (5.2) $r = 0,99$	50	$y = 0,037x + 1,58$ (5.4) $r = 0,99$	0,037

Математическое моделирование влияния различных дозировок йодсодержащих удобрений (*x*) на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы (*y*) позволяет прогнозировать продуктивность растений в случае антропогенного поступления иодида калия в почву. Это послужит основой для разработки рекомендаций по оптимальному содержанию йода в почве и его ПДК для конкретных культур.

Располагая полученными коэффициентами «*b*», возможно с помощью формулы (5.5) прогнозировать прибавку урожая:

$$P = D \cdot b \quad (5.5)$$

Полученные нами нормативы эффективности микроудобрений также позволяют рассчитать дозу вносимых йодсодержащих удобрений для получения планируемой прибавки урожайности (формула 5.6).

$$D = \frac{P}{b} \text{ кг / га} , \quad (5.6)$$

где *D* – доза применяемого микроудобрения, кг/га (Ермохин Ю.И., 1994).

Необходимо отметить, что разработанные параметры для прогноза урожайности возможно использовать в практике применения микроудобрений только с учетом того, что положительное действие

микроэлементов возможно при сбалансированном макроэлементном фоне и только в диапазоне доз, положительно влияющих на урожайность.

5.3. Химический состав зерна в условиях применения йода

5.3.1. Содержание йода в зерне и соломе пшеницы

Формирование урожая, качество растениеводческой продукции зависят от химического состава растений. Поэтому крайне важно исследование влияния микроэлементов на элементный состав растений. С экологических позиций интерес представляет оценка влияния йода на химический состав растений, а также накопление микроэлемента в вегетативных органах растений. Обогащение растениеводческой продукции, употребляемой в пищу животными и человеком может улучшить йодный статус региона.

На рисунке 5.10 и в приложении 16 представлено содержание йода в зерне и соломе пшеницы в зависимости от доз и способов применения йодсодержащих удобрений.



Рисунок 5.10 – Содержание йода в зерне и соломе в зависимости от доз и способов его применения

Необходимо отметить, что накопление йода в растении зависит от гидротермических условий года. В засушливом 2013 году содержание йода в зерне превышает в 2-2,5 раза показатели 2014-2015 годов, особенно на вариантах с опрыскиванием. Согласно ряду исследований, во влагообеспеченные годы йодсодержащие удобрения усваиваются не в полной мере, так как промывной режим усиливают миграцию йода, вследствие хорошей растворимости солей галогена. (Конарбаева Г.А., 2003).

При таком способе применения удобрений, содержащих йод, как внесение в почву, наблюдается наибольшее накопление йода, как в зерне, так и в соломе. В соломе содержание йода выше, чем в зерне, что подтверждается данными Кашина (Кашин, 1987). В его опытах наблюдалась следующая закономерность содержания микроэлемента в растениях: листья>стебли>семена.

По мнению Т.В. Русиной (Русина Т.В., 1985), существует четко выраженная дискриминация йода на пути его транспорта из корневых систем в надземную вегетативную часть и далее в репродуктивные органы, проявляющаяся в многократном снижении коэффициента его накопления (K_h) в фитомассе и в каждом последующем звене. В репродуктивных органах K_h в среднем на 2 порядка ниже, чем в вегетативных. В наших опытах концентрация йода в соломе в среднем в 1,8 раза выше, чем в зерне.

Содержание йода на фоне минеральных удобрений по сравнению с контролем возрастает на 39% для зерна и на 48% для соломы. Это можно объяснить тем, что на фоне сбалансированного питания растений йод лучше усваивается из почвы.

Отмечаются следующие зависимости: для зерна – при увеличении дозы при опрыскивании и внесении йода в почву увеличивается содержание микроэлемента. Наибольшее накопление наблюдается при внесении максимальной концентрацией – 15 кг/га. При этом содержание микроэлемента увеличивается на 438,2% по сравнению с контролем (в 4,4 раза) и на 213,1% по сравнению с фоном (в 3,1 раза) и составляет 150,3

мкг/кг. В условиях некорневого применения КІ наибольшее содержание микроэлемента установлено на варианте с концентрацией йода 0,02%, при этом содержание йода в зерне составляет в среднем 85 мкг/кг (увеличение на 147,8% относительно контроля (в 2,5 раза) и на 77,1% по сравнению с фоном (в 1,8 раза).

В соломе с увеличением концентрации йода при опрыскивании отмечается снижение содержание микроэлемента. Возможно, это связано с увеличением концентрации йода в зерне. Максимальное накопление наблюдается при опрыскивании раствором с концентрацией 0,005% - увеличение на 111% по сравнению с контролем (+42,0% относительно фона), при дальнейшем увеличении концентрации отмечается снижение до 37 мкг/кг, то есть практически до уровня фона. При основном внесении иодида калия при увеличении дозы содержание йода увеличивается на 407% (в 5,1 раза относительно контроля) и на 240% выше фона (в 3,4 раза).

По данным В.К. Кашина (Кашин В.К., 1987), растения, содержащие йод в концентрации 0,3-1,5 мг/кг (300-1500 мкг/кг), обеспечены достаточным количеством этого элемента. Недостаточным считается концентрации 0,04 - 0,3 мг/кг (40-300 мкг/кг). По литературным данным, среднее содержание йода в зерновых культурах составляет 56 мкг/кг (Fordyce F.M., 2003), 5-38 мкг/кг (Каббата-Пендиас А., 1989). В опытах А.И. Сысо (Сысо А.И., 2008), содержание йода в зерне пшеницы для лугово-черноземной почвы Западной Сибири составляет 0,2 мг/кг. В наших опытах содержание йода в контрольных образцах соломы и зерна составляют 35,5 и 34,3 мкг/кг соответственно, что говорит о дефиците йода. Содержание йода в растениях в настоящее время в России оценивается следующим образом: в растительных кормах, согласно В.В. Ковальскому (Ковальский В.В., 1972), верхней пороговой концентрацией микроэлемента можно считать $>0,8-1,2$ мг/кг (800-1200 мкг/кг). Стандартные нормативы по ГОСТу на содержание йода в пищевой продукции отсутствуют. Поэтому, ориентируясь на существующие критерии, можно сделать вывод, что накопление йода в

продукции, полученными в ходе наших опытов, можно считать экологически безопасными. Средние данные по содержанию йода, полученные в опытах для образцов соломы и зерна находятся в пределах 0,06-0,18 мг/кг. Ниже представлена таблица 5.4 обобщенных данных по накоплению йода в растениях.

Таблица 5.4 – Содержание йода в растениях по литературным данным и собственным исследованиям (в мг/кг)

Содержание йода в зерне и соломе в опытах	Оптимальное содержание йода в растениях	Недостаток йода	Избыток йода	Среднее содержание йода в зерне
0,034-0,036 (контроль) 0,06-0,18 (обогащенное)	0,08-1,5 ^{1,2}	<0,1 ² до 0,07 ³	0,8-1,2 ¹	0,005-0,056 ^{4,5}

Примечание: 1- Кашин В.К., 1984, 2 - Ковальский В.В., 1974, 3- Осокина И.В., 2013, 4 - Каббата-Пендиас А, 1989, 5- Fordyce F.M., 2003

Представляется интересным определить взаимосвязь накопление йода в зерне и соломе в зависимости от способа его внесения математическими уравнениями (таблица 5.5), что позволит прогнозировать его накопление в условиях его антропогенного поступления.

Таблица 5.5 – Уравнения взаимосвязи содержания йода в зерне и соломе яровой мягкой пшеницы от дозы его поступления

Образец	Опрыскивание		Внесение	
	уравнение	коэффициент «b»	уравнение	коэффициент «b»
Зерно	$y = 13,35x + 35(5.7)$ $r = 0,96$	13,35	$y = 31,86x + 12(5.9)$ $r = 0,86$	31,86
Солома	$y = -10,17x^2 + 44,18x + 20,92(5.8)$ $\eta = 0,87$	–	$y = 43,8x + 150,5 (5.10)$ $r = 0,96$	43,8

Из таблицы 5.5 видно, что коэффициент «b» в опытах с внесением выше, чем в опытах с опрыскиванием, то есть корневой способ внесения

удобрений является более эффективным с точки зрения обогащения йодом растений пшеницы. Установленные коэффициенты интенсивности действия «*b*» могут использоваться в практической агрохимии и экологии при расчете оптимальных доз микроэлемента, оценки его накопления в зерновых культурах. Например, используя установленные коэффициенты «*b*» интенсивности внесенных 1 кг/га йода на химический состав почвы и растений, можно прогнозировать содержание этого элемента в растениеводческой продукции.

Образцы контроля зерна и соломы содержат недостаточное количество йода, что подтверждает дефицит элемента вследствие низкого содержания его в почве. Внесение удобрений, содержащих йод, увеличивает концентрацию данного микроэлемента в растениях пшеницы. Набольшее накопление наблюдается в соломе. Основное внесение является наиболее эффективным способом обогащения растений йодом, при котором наблюдается наибольший вынос йода зерном и соломой. Используемые способы обработки, а также дозы и концентрации микроэлемента являются безопасными с экологической точки зрения, так как содержание йода в них не являются токсичными для человека и животных.

5.3.2 Отношения между макроэлементами и йодом в зерне пшеницы

Нами были проведены исследования, направленные на установление взаимозависимости поступления йода и макроэлементов: азота, фосфора и калия. В приложении 17 представлены данные по содержанию валового азота (%) в зерне пшеницы.

Наблюдается достоверное увеличение содержания азота в зерне в опытах с основным внесением йода, в дозе 12 кг/га содержание азота в зерне увеличивается на 6,2%. В опытах с опрыскиванием достоверная зависимость не выявлена (рисунок 5.11).

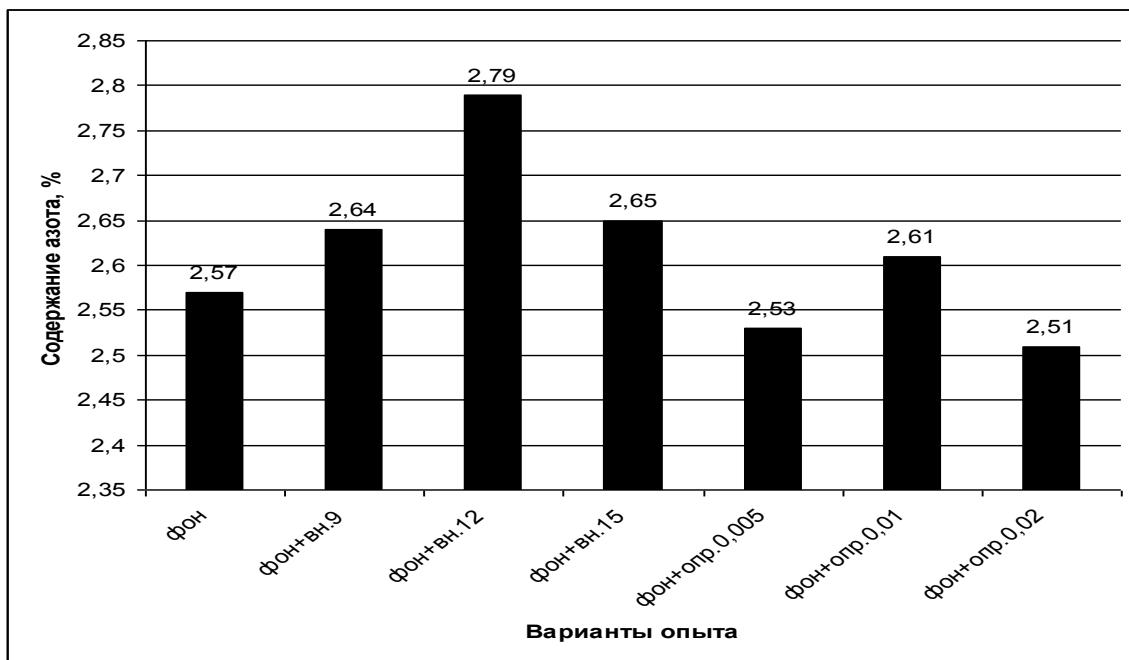


Рисунок 5.11 – Влияние йода на содержание азота в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Характер взаимодействия йода с азотом – антагонизм – синергизм.

Повышение дозы микроэлемента снижает содержание азота ниже фонового (при максимальной концентрации в случае некорневого внесения) (рисунок 5.12). По данным S. Smolen (Smolen S., Sady W., 2012), йод усиливает аккумулирование азота, что согласуется с нашими результатами.

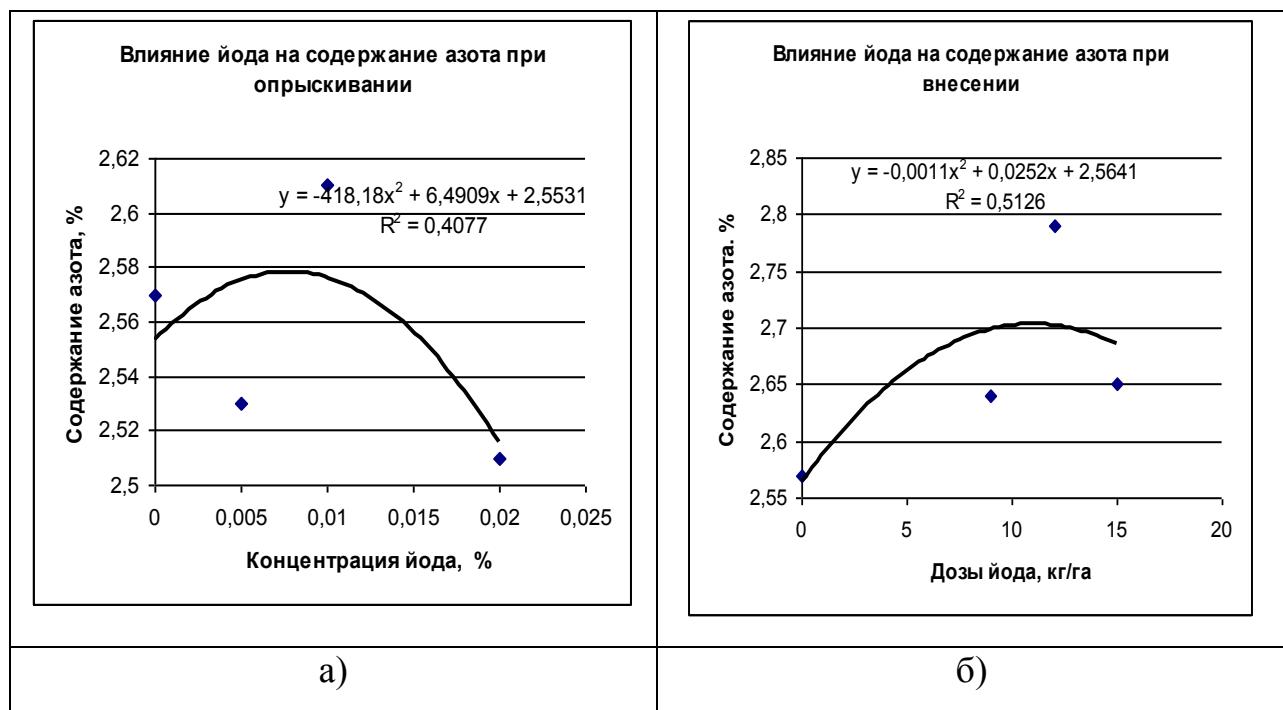


Рисунок 5.12 – Взаимосвязи йода с азотом при а) опрыскивании и б) внесении

Отношения между содержанием фосфора (%) и йода представлены в приложении 18 и на рисунке 5.13. Достоверное увеличение содержания фосфора в зерне пшеницы наблюдается при опрыскивании растворами с концентрациями 0,005 и 0,01%.



Рисунок 5.13 – Влияние йода на содержание фосфора в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Наблюдается явление синергизма (прибавка составляет соответственно 2,3% и 9,3%). Увеличение концентрации йода снижает содержание фосфора в зерне пшеницы до 9%. Не выявлена зависимость между содержанием фосфора и дозами йода при внесении его в почву (рисунок 5.14).

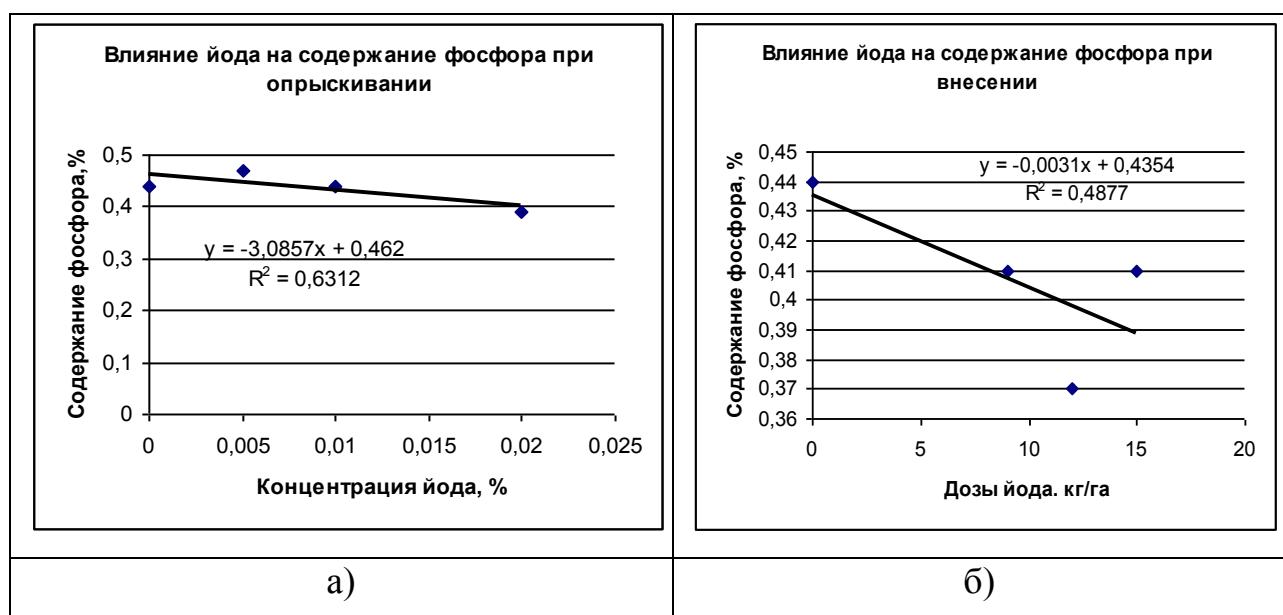


Рисунок 5.14 – Взаимосвязи йода с фосфором при а) опрыскивании и б) внесении

В приложении 19 и на рисунке 5.15 представлены данные по содержанию калия в зерне пшеницы. Достоверного влияния йода на содержание калия в зерне пшеницы не доказано, все данные в пределах погрешности, в отличие от данных Smolen S. (Smolen,S., 2011), которые говорят о синергетических взаимоотношениях калия и йода. По данным Ермохина Ю.И. (Ермохин Ю.И., 2010), внесение йода в лугово-черноземную почву в опытах со столовой свеклой в дозах от 6 до 15 кг/га, может снижать содержание калия до 18%. Таким образом, взаимоотношения калия и йода противоречивы и неоднозначны. Имеет значение форма внесения йода, вид растения и тип почвы. Так как иодид калия вносится в дозах, не характерных для макроэлемента калия, то можно говорить о том, что на рост и развитие растений достоверно влияет йод, а не калий.

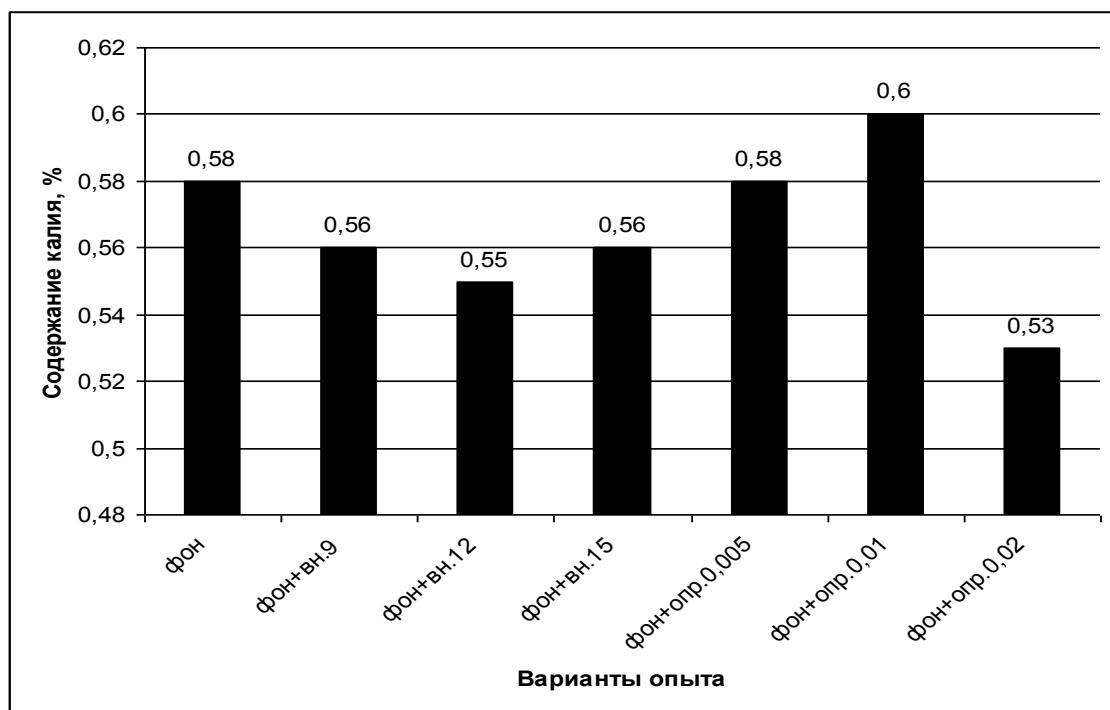


Рисунок 5.15 – Влияние йода на содержание калия в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Установлена взаимосвязь между йодом и макроэлементами в зависимости от способа его внесения математическими уравнениями (5.11-5.14) (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Взаимосвязь йода с макроэлементами

Химический элемент	Опрыскивание	Внесение
Азот	$y = -418,2x^2 + 6,49x + 2,55$ (5.11) $\eta = 0,41$	$y = -0,001x^2 + 0,022x + 2,544$ (5.13) $\eta = 0,51$
Фосфор	$y = -3,08x + 0,46$ (5.12) $r = 0,79$	$y = -0,0031x + 0,43$ (5.14) $r = 0,69$

В полевых условиях при питании растений возникают сложные взаимосвязи, обусловленные взаимодействием не только между двумя, но и большим количеством ионов. Эти взаимосвязи осложняются почвенными условиями и применением удобрений, оказывающими влияние на изменение состава почвенного раствора. Познание взаимосвязей очень важно для установления потребности растений в удобрениях по анализу почвы (Ермохин Ю.И., 2010). Проведен анализ на другие макроэлементы на варианте с корневым внесением в максимальной дозе 15 кг/га (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Содержание макроэлементов в зерне пшеницы

мг/кг

Химический элемент	Содержание йода		Изменение по сравнению с контролем, %
	Контроль	Внесение йода 15 кг/га	
Ca	428±43	430±43	+0,5%
K	4031±403	4190±419	+3,9%
Mg	1254±25	1392±39	+11,0%
Na	11,55±1,16	<0,129	-98,8%
P	4097±410	4567±457	+11,5%

Резюмируя данные, можно проследить тенденцию по некоторому увеличению содержания макроэлементов в зерне пшеницы при основном внесении йода в почву в максимальной дозе. Исключение составляет натрий.

Наши данные по снижению уровня натрия в зерне пшеницы разнятся с данными S. Smolen, (Smolen S., 2011), Н.А. Голубкиной (Голубкина Н.А,

Кекина Е.Г., 2015), в которых содержание натрия в шпинате и в листьях индийской горчицы возрастает под воздействием иодида калия. Это можно объяснить различными способами обработки микроэлемента, биологическими особенностями культуры. В случае с индийской горчицей использовалась некорневая обработка.

Составлены схемы взаимоотношения между йодом и другими микроэлементами (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Взаимодействие макроэлементов при поступлении их в зерно пшеницы

Элемент	Микроэлементы		
	синергизм	синергизм-антагонизм	антагонизм
N		+	
K	нет*	нет	нет
Mg	+		
Na			+
P	+		
Ca	Нет	нет	нет

Нет* - зависимость отсутствует.

5.3.3. Содержание и соотношение микроэлементов в условиях применения йода

Биохимическая роль химического элемента зависит от его концентрации в среде обитания: при дефиците содержания для живых организмов он рассматривается как микроэлемент, при избытке – как экотоксикант (Авцын А.П., 1991, Сусликов В.Л., 2000). Взаимодействие между химическими элементами может быть антагонистическим или синергетическим и его несбалансированные реакции могут быть причиной химических стрессов у растений (Ермохин Ю.И., 2011).

Формирование урожая, качество растениеводческой продукции зависят от химического состава растений (Синдирева А.В., 2011, 2014, Сайфиддинова Д., 2015, Спицына С.Ф., 2014). Поэтому важно исследование влияния микроэлементов на их накопление в зерне пшеницы, установить антагонизм и синергизм между ионами йода и ионами металлов. На рисунках 5.16 – 5.23 показаны графики зависимости содержания микроэлементов при различных способах внесения и доз йода.

Тяжелые металлы являются одними из самых опасных загрязнителей биосфера. Такие элементы, как свинец, кадмий, медь, цинк относят к «критической группе веществ – индикаторов стресса окружающей среды». Эти металлы имеют тенденцию закрепляться в отдельных звеньях биологического круговорота, аккумулироваться в биомассе микроорганизмов. Эти металлы определенным образом влияют на экологическую обстановку, подавляя развитие и биологическую активность многих организмов (<http://agrohimija.ru/ceolity/2422-zagryaznenie-pochv-tyazhelymi-metallaymi.html>). Агрэкологический мониторинг почв включает изучение содержания этих микроэлементов. Представляется интересным изучить взаимосвязь между данными микроэлементами и йодом, так как при антагонистических взаимоотношениях этих химических элементов можно было бы изменять содержание тяжелых металлов путем внесения различных доз йода. Это позволило бы снизить экологическую напряженность в связи с загрязнением окружающей среды данными металлами.

Влияние йода на содержание свинца

В приложении 20 представлены данные по содержанию свинца в зерне пшеницы. В опытах с опрыскиванием наблюдается резкое повышение содержания свинца до ПДК (0,5 мг/кг) при концентрации йода 0,005% (+45% по сравнению с фоном). С увеличением дозы йода содержание свинца уменьшается (рисунок 5.16).

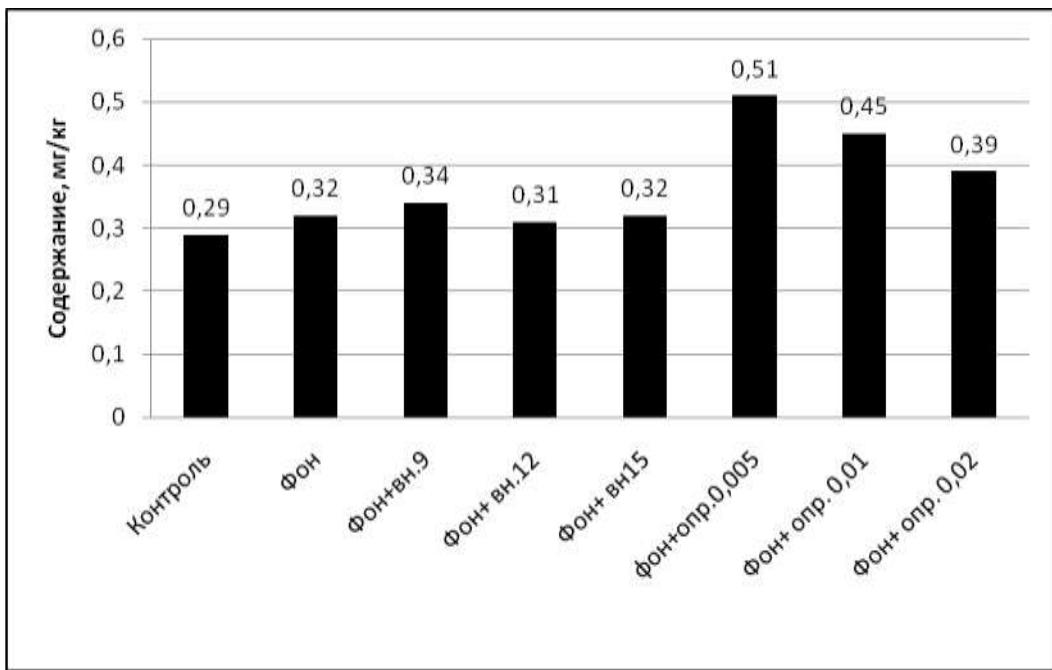


Рисунок 5.16 – Влияние йода на содержание свинца в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Следует отметить, что поступление этого микроэлемента зависело также от метеорологических условий года: в наиболее влагообеспеченные 2014 и 2015 годы содержание металла выше в опытах с опрыскиваниями по сравнению с растениями фонового варианта (рисунок 5.17)

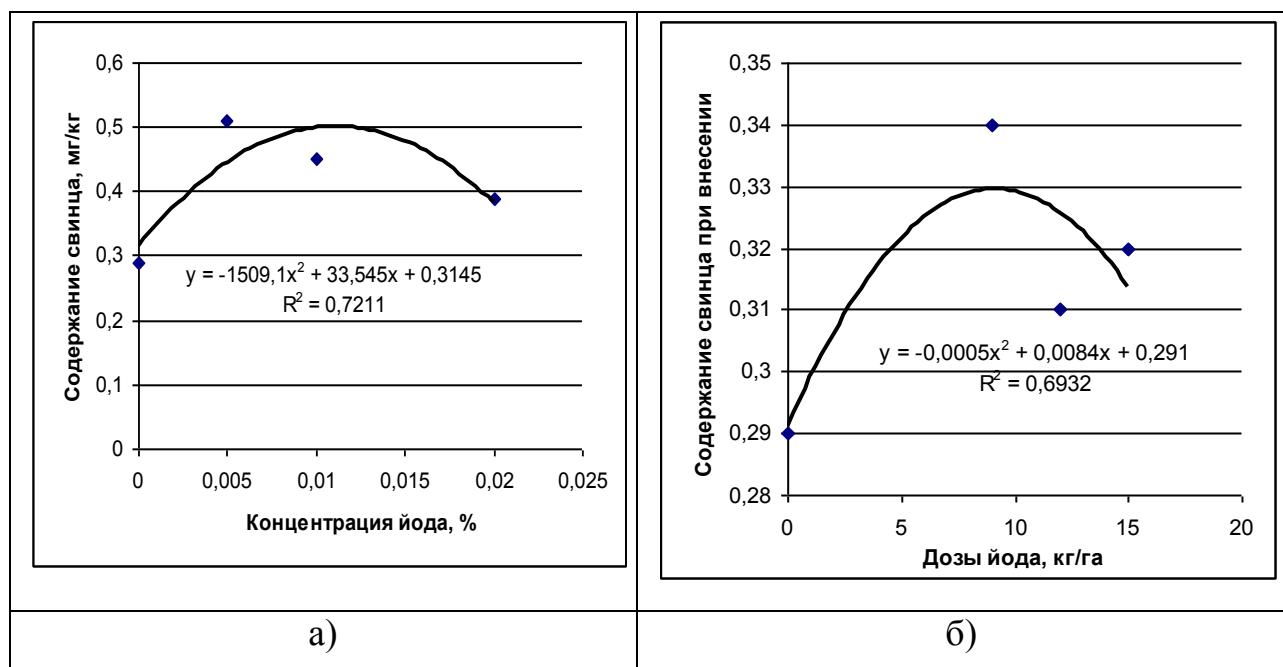


Рисунок 5.17 – Взаимосвязи йода со свинцом при а) опрыскивании и б) внесении

Характер взаимодействия свинца с йодом заключается в том, что невысокие дозы йода способствуют накоплению этого металла, повышение дозы снижает содержание свинца, т.е. синергизм при поступлении двух химических элементов сменяется антагонизмом. С переходом элемента в почве из лимитирующего в область оптимальных дозировок ограничение его как лимитирующего фактора снижается, и ряд других микроэлементов, взаимодействуя с ним, проявляет полную эффективность, соответствующую агрохимическим и физиологическим особенностям каждого из них. Эффект взаимодействия ионов возрастает в положительном направлении (Ермохин Ю.И., 2010).

Влияние йода на содержание меди

В приложении 21 представлены данные по содержанию меди в зерне пшеницы. Содержание меди увеличивается с увеличением концентрации (до +15%) относительно фона при максимальной дозе внесения и на 10,5% при опрыскивании раствором с концентрацией 0,02% (рисунок 5.18).

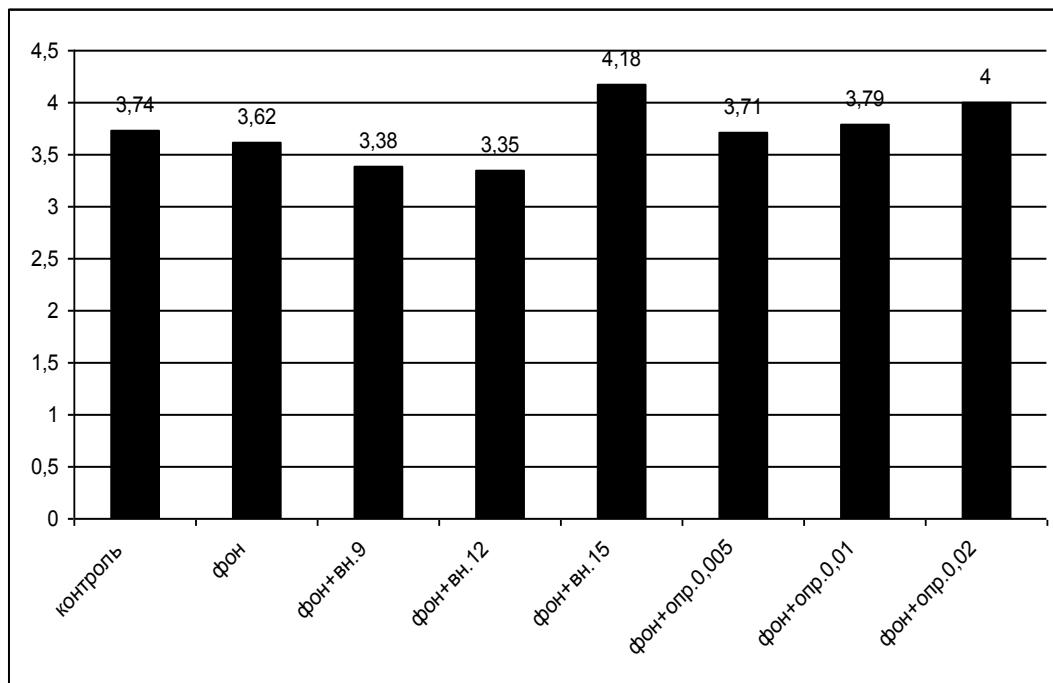


Рисунок 5.18 – Влияние йода на содержание меди в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Также отмечается более низкое содержание меди во влагообеспеченном 2014 году. Характер взаимодействия с медью – синергизм, т.е. поступление одного химического элемента способствует увеличению содержания другого (рисунок 5.19).

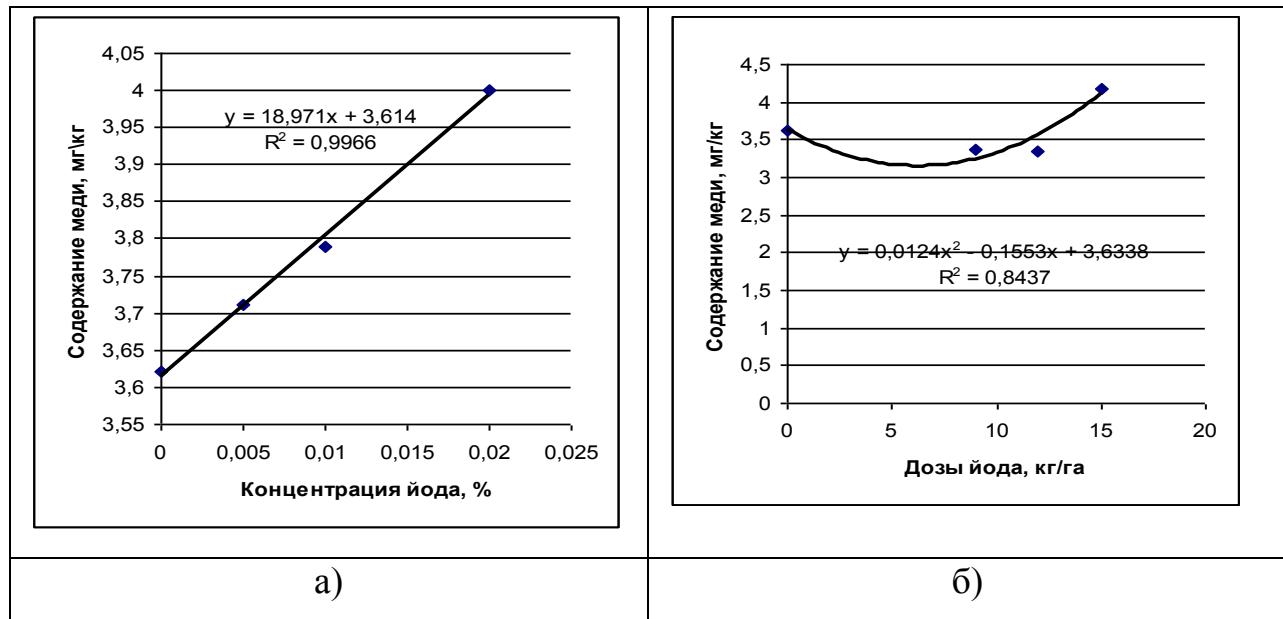


Рисунок 5.19 – Взаимосвязи йода с медью при а) опрыскивании и б) внесении

Влияние йода на содержание кадмия представлено на рисунке 5.20.

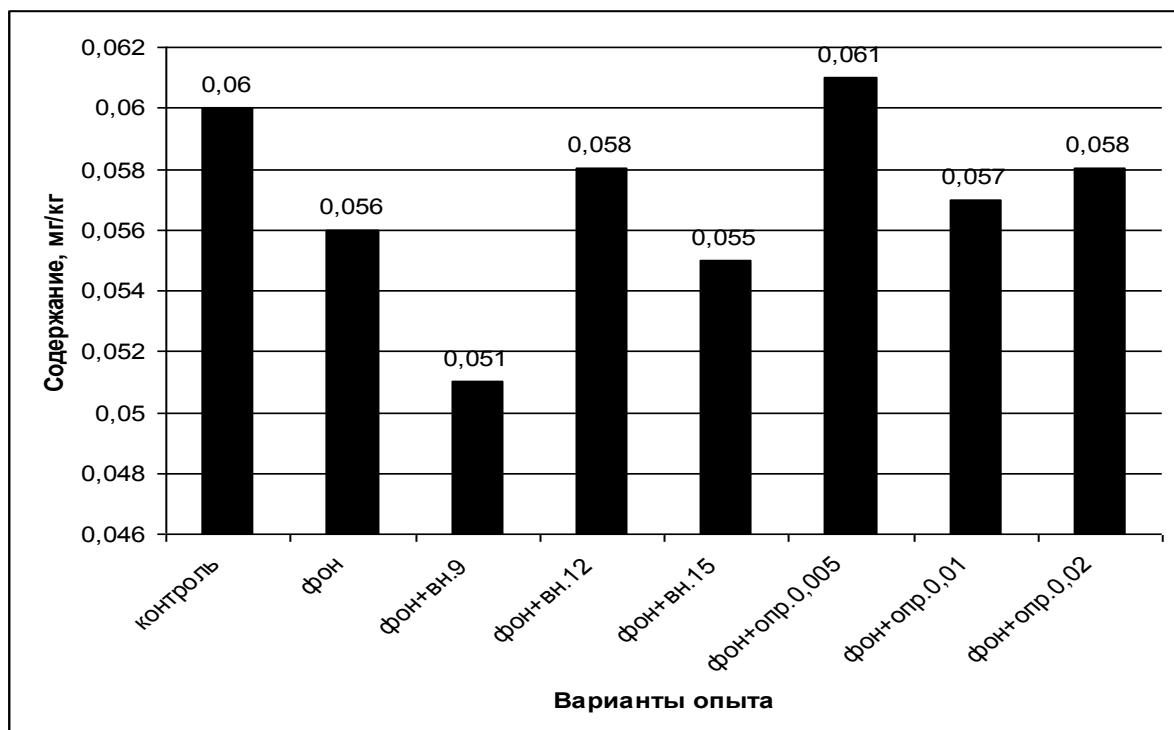


Рисунок 5.20 – Влияние йода на содержание кадмия в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

В приложении 22 представлены данные по содержанию кадмия в зерне пшеницы за три исследуемых года. В опытах с внесением йода отмечается тенденция снижения содержания кадмия (-8,9%) в дозе йода 9 кг/га (рисунок 5.21).

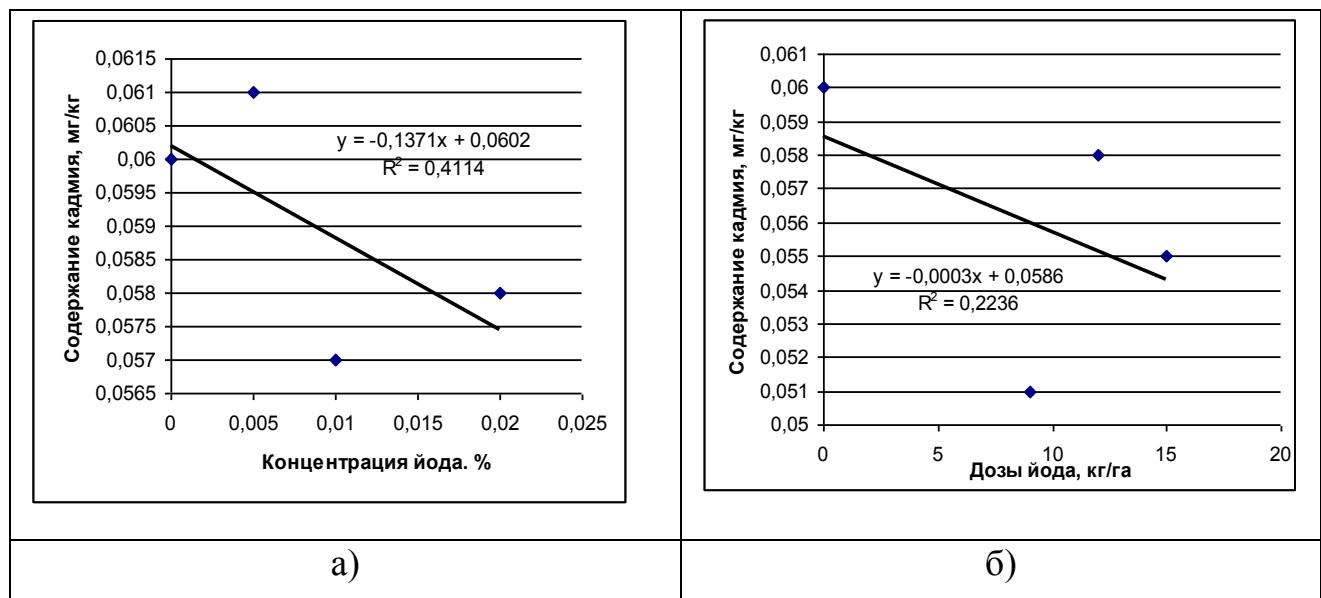


Рисунок 5.21 — Взаимосвязи йода с кадмием при а) опрыскивании и б) внесении

Повышение концентрации йода незначительно увеличивает содержание этого металла до фоновых показателей. Низкие коэффициенты корреляции (0,37 при опрыскивании и 0,47 при внесении) говорят о слабом влиянии йода на содержание кадмия. Таким образом, любой способ внесения йода (основной и некорневой) понижает содержание кадмия, делая продукцию экологически более безопасной.

Характер взаимодействия йода с кадмием – антагонизм. Отмечено, что во влагообеспеченный 2014 год содержание этого микроэлемента было снижено по сравнению с засушливым 2013 годом примерно в 1,5-1,7 раза.

Влияние йода на содержание цинка представлено на рисунке 5.22.

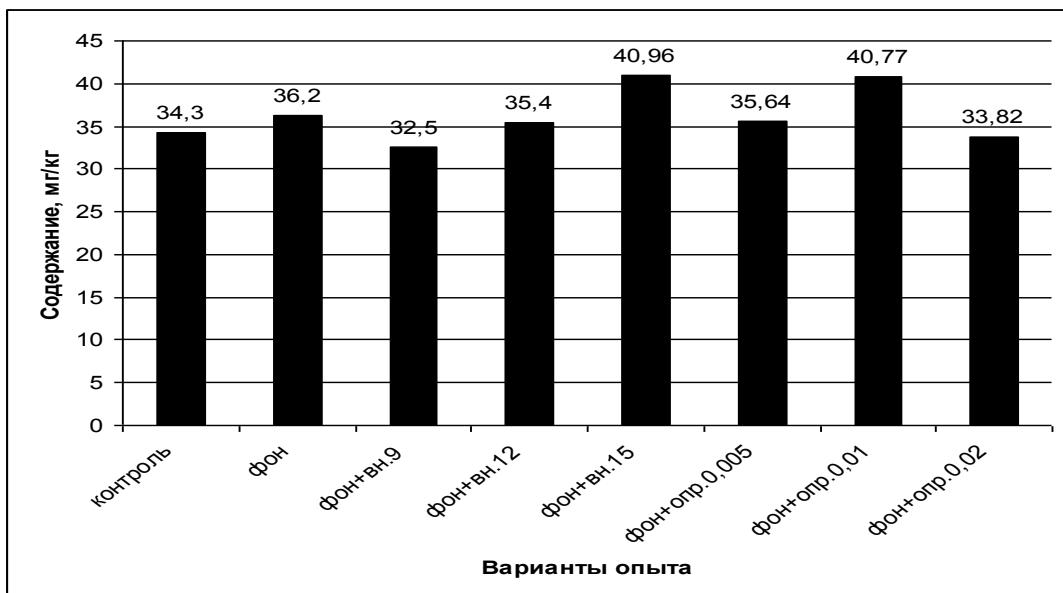


Рисунок 5.22 – Влияние йода на содержание цинка в зерне пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

В приложении 23 представлены данные по содержанию цинка в зерне пшеницы. В опытах с внесением йода отмечается увеличение содержания цинка до 12,7 % в дозе 15 кг/га (рисунок 5.23). Не отмечено зависимости накопления цинка в зерне пшеницы от метеоусловий года. Характер взаимодействия: синергизм между ионами переходит в антагонизм.

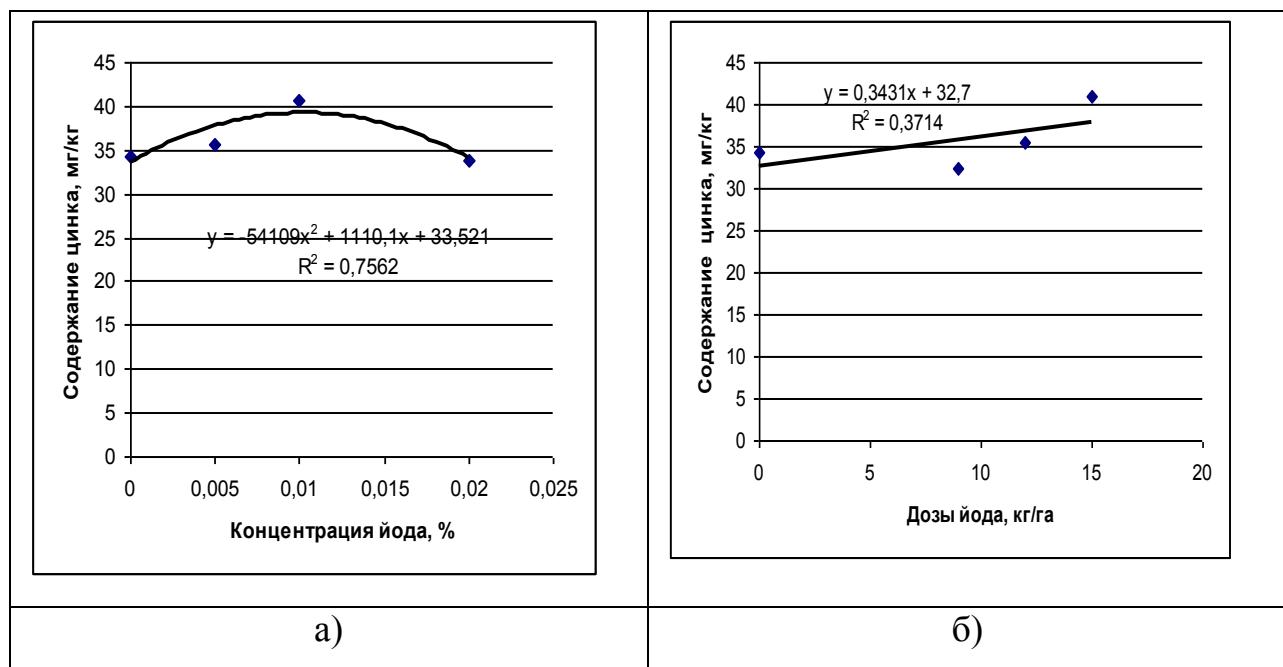


Рисунок 5.23 - Взаимосвязи йода с кадмием при а) опрыскивании и б) внесении

Можно сделать вывод о неоднозначном влиянии йода на накопление данных микроэлементов, здесь играет роль способ внесения йода, его дозы, а также гидротермические условия.

В литературе встречаются противоречивые сведения о взаимном влиянии йода и тяжелых металлов. По данным S. Smolen (Smolen,S., 2011) наблюдаются явления синергизма между йодом и такими металлами, как K, Mg, Ca, Mn и Cd.

К настоящему моменту механизм явлений антагонизма и синергизма химических элементов достаточно не изучен, и во многом причины возникновения данных эффектов не выяснены. Действие микроэлементов и токсичность тяжелых металлов тесно связаны с их физико-химическими свойствами, а также со способностью образования более или менее прочных соединений с функциональными группировками на поверхности или внутри живой клетки. Также известно, что микроэлементы и тяжелые металлы проявляют свои модулирующие и токсические эффекты преимущественно в растворенном состоянии, то есть в ионных формах. Поэтому предполагается, (Спицына С.Ф., 2014) что наблюдаемые эффекты синергизма и антагонизма элементов в живых организмах определяются электронным строением атомов и ионов данных элементов, а также с их окислительно-восстановительными, комплексообразующими и кислотными свойствами. По мнению Л.В. Гуркиной, (Гуркина Л.В., 2016) йод занимает предпоследнее место (уступая его ртути) в «ряду напряжений металлов», и большинство элементов (включая цинк, марганец, медь, железо, свинец, кадмий и никель) становятся его антагонистами, вытесняя его из растворов, не позволяя участвовать в биологическом обмене веществ, что проявляется в обширной йодной недостаточности.

Представляется интересным определить взаимосвязь между йодом и другими микроэлементами в зависимости от способа его внесения математическими уравнениями (таблица 5.9). В опытах с опрыскиваниями прослеживается более сильная корреляционная связь.

Таблица 5.9 – Взаимоотношения между йодом и микроэлементами

Химический элемент	Опрыскивание	Внесение
Медь	$y = 18,97x + 3,6$ (5.15) $r = 0,99$	$y = 0,0124x^2 - 0,155x + 3,63$ (5.19) $\eta = 0,84$
Цинк	$y = -54109x^2 + 1110,1x + 33,52$ (5.16) $\eta = 0,75$	$y = 0,34x + 32,7$ (5.20) $r = 0,61$
Кадмий	$y = -0,13 x + 0,06$ (5.17) $r = 0,64$	$y = -0,0003 x + 0,06$ (5.21) $r = 0,46$
Свинец	$y = -1509x^2 + 33,55x + 0,31$ (5.18) $\eta = 0,72$	$y = -0,0005x^2 + 0,0083x + 0,29$ (5.22) $\eta = 0,69$

Внесение йода в почву может повлиять на баланс других микроэлементов, поэтому было интересным рассмотреть взаимодействие с такими элементами, которые не охватывает агроэкологический мониторинг.

Был проведен анализ на 24 химических элементов на варианте с корневым внесением в максимальной дозе 15 кг/га (таблица 5.10). Существующие нормативы ПДК по содержанию тяжелых металлов в зерне пшеницы показывают, что даже максимальная доза внесения йода в почву является экологически безопасной.

В итоге, на основе установленных математических зависимостей между отдельными парами ионов при поступлении в зерно пшеницы, составлены схемы взаимоотношения между йодом и другими микроэлементами (таблица 5.11).

Таблица 5.10 – Содержание микроэлементов в зерне пшеницы в условиях применения йода (в мг/кг)

Химический элемент	Содержание, мг/кг		Изменение по сравнению с контролем, %	ПДК, мг/кг*
	контроль	внесение йода 15 кг/га		
Al	80,08±8,01	126±13	+57,3%	—**
As	0,04±0,006	0,05±0,007	+25,0%	0,2
B	1,07±0,11	1,25±0,12	+16,8%	—
Cd	0,02±0,004	0,03±0,005	+50,0%	0,1
Co	0,06±0,008	0,08±0,012	+33,0%	—
Cr	0,13±0,016	0,15±0,018	+15,3%	—
Cu	2,64±0,26	2,89±0,29	+9,4%	10
Fe	66,33±1,63	75,26±2,53	+13,5%	—
Hg	0,0006±0,00018	0,0008±0,00023	+33,5%	0,03
Li	0,1±0,012	0,13±0,016	+30,0%	—
Mn	45,11±1,51	50,14±1,01	+11,0%	—
Ni	0,42±0,051	0,37±0,044	-12,0%	—
Pb	0,08±0,012	0,12±0,015	+50,0%	0,50
Se	0,14 ±0,016	0,11±0,014	-21,4%	—
Si	15,23±1,52	8,39±0,84	-44,9%	—
Sn	0,005±0,0009	0,006±0,0012	+20,0%	—
Sr	1,19±0,12	1,29±0,13	+8,4%	—
V	0,18±0,021	0,26±0,031	+44,0%	—
Zn	32,57±3,26	35,92±3,59	+10,3%	50

* - ГОСТ 26927-86, ГОСТ 26930-86, ГОСТ 26932-86, ГОСТ 26933-86

—** - ПДК не установлено

Большинство изученных микроэлементов находятся в синергетических отношениях с йодом, то есть внесение йода в почву повышает их содержание в экологически безопасных пределах.

Таблица 5.11 – Взаимодействие микроэлементов при поступлении их в зерно пшеницы

Элемент	Микроэлементы		
	синергизм	синергизм-антагонизм	антагонизм
Cd			+
Pb		+	
Zn		+	
Cu	+		
Al	+		
As	+		
B	+		
Co	+		
Cr	+		
Fe	+		
Hg	+		
Li	+		
Mn	+		
Ni			+
Se	+		
Si			+
Sn	+		
Sr	+		
V	+		

В таблице 5.12 представлено содержание макро- и микроэлементов при корневом внесении йода.

Таблица 5.12 – Содержание химических элементов в зерне яровой мягкой пшеницы (2013-2015 гг.)

Содержание в растениях	Дозы йода, кг/га			
	0	9	12	15
I, мг/кг	0,048	0,069	0,079	0,15
P, %	0,43	0,42	0,38	0,41
K, %	0,53	0,5	0,53	0,53
N, %	2,59	2,6	2,75	2,61
Cu, мг/кг	3,62	3,38	3,35	4,18
Zn, мг/кг	36,2	32,4	35,4	40,9
Cd, мг/кг	0,056	0,051	0,058	0,055
Pb, мг/кг	0,32	0,34	0,31	0,32

Так как при корневом внесении 9 кг/га наблюдается наибольшая прибавка урожайности пшеницы, следовательно, при этой дозе наблюдается оптимальное содержание химических элементов в зерне яровой мягкой пшеницы. В таблице 5.13 показаны оптимальные соотношения химических элементов в зерне при корневом внесении 9 кг/га.

Таблица 5.13 – Оптимальные соотношения химических элементов в зерне яровой мягкой пшеницы

Орган растения	Оптимальное соотношение	
	макроэлементов	микроэлементов
Зерно	$N \approx 6,2 \cdot P \approx 5,2 \cdot K$	$Zn \approx 667 \cdot Cd \approx 113 \cdot Pb \approx 10,9 \cdot Cu \approx 561 \cdot I$

На основании трехлетних данных полевых опытов с микроудобрениями, содержащими йод, полученных величин урожая и химического состава растений, выявленных математических зависимостей были установлены оптимальные уровни содержания макро- и

микроэлементов в растениях пшеницы, соответствующие максимальной урожайности (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Оптимальное содержание химических элементов в зерне яровой мягкой пшеницы

Оптимальное содержание							
макроэлементы, %			микроэлементы, мг/кг				
N	P	K	I	Cd	Zn	Cu	Pb
2,59	0,44	0,54	0,081	0,053	41,2	4,1	0,45

В среднем за годы исследования можно сделать вывод, что с повышением дозировки вносимого йода, эффективность использования микроэлемента из удобрений снижается.

Таким образом, строгое нормирование содержания и соотношения основных макроэлементов (N, P, K) и микроэлементов (Cd, Ni, Zn, I, Cu, Pb) в растениях позволит прогнозировать эффективность микроудобрений, величину урожая культур, а также экологическую ситуацию, связанную с химической нагрузкой в системе почва – растение.

5.4. Показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы

Следует учитывать тот факт, что диапазон положительного и токсического биологического действия микроэлемента невелик, и при переходе в зону высоких дозировок возможен отрицательный эффект от применения микроудобрений. В связи с этим нами было изучено влияние йодсодержащих удобрений на качество зерна яровой мягкой пшеницы (таблица 5.15, приложения 24-27). Основными показателями определения качества зерна являются масса 1000 зёрен, стекловидность, натура, белок, клейковина.

Таблица 5.15 – Показатели качества зерна (2013-2015 гг.)

Вариант		Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в колосе, шт.	Стекловидность, %	Натуря, г/л	Белок, %	Клейковина	
Фон		32,3	34,8	59,3	739	16,3	%	ИДК
Фон + опрыскивание, %	0,005	32,7	35,8	55,0	726	16,0	30,4	78
	0,01	34,2	36,5	<u>63,6</u> +7,3%	738	<u>16,5</u> +3,1%	30,0	77
	0,02	<u>34,6*</u> +7,1%	38,2	60,3	734,5	16,0	31,1	77
Фон + основное внесение, кг/га	9	33,4	36,2	61,0	741,5	16,0	31,0	80
	12	33,6	36,3	62,3	735	16,0	30,1	78
	15	32,9	38,9	59,0	733,5	16,1	29,8	79

Примечание: * - в числителе абсолютные значения, в знаменателе изменения по сравнению с контролем

Масса 1000 зёрен показывает количество вещества, содержащегося в зерне, его крупность. Масса 1000 зёрен является хорошим показателем качества семенного материала. Крупные семена дают более мощные и более продуктивные растения. Она находится в обратной корреляции с содержанием белка в зерне. Когда масса 1000 зерен уменьшается в результате действия неблагоприятных погодных условий, то более мелкое зерно будет иметь повышенное содержание белка. (В.Г.Минеев, 2001).

Самые высокие показатели увеличения массы 1000 зерен были получены при опрыскивании раствором иодидом калия с концентрацией 0,02%, масса 1000 зерен увеличилась на 2,3 г (+7,1%). В среднем за три года масса тысячи зерен превышает фон по всем вариантам опыта. Наибольшие значения наблюдаются на вариантах с опрыскиванием концентрацией 0,01 и

0,02%, внесением 9 и 12 кг/га, что также согласуется с данными по урожайности (приложение 8). Если сравнивать данные, полученные при основном и некорневом внесении микроэлемента, то метод опрыскивания оказался эффективнее, поскольку при опрыскивании наиболее четко прослеживается тенденция увеличения массы зерен.

Стекловидность зерна - важнейший показатель его качества. Он характеризует консистенцию эндосперма. Стекловидность определяется по внешнему виду и степени прозрачности эндосперма. Стекловидное зерно отличается повышенным содержанием белка, клейковины, хорошей углеводно-амилазной активностью, высоким выходом муки (Прянишников Д.Н., 1999).

Максимальные увеличение стекловидности зерна отмечено при внесении йода в дозе 12 кг/га (увеличение по сравнению с фоном на 6%). При опрыскивании максимальные показатели стекловидности наблюдаются на варианте с опрыскиванием концентрацией 0,02% (увеличение на 7,3% по сравнению с фоном).

Натура зерна - масса 1 литра семян в граммах, она тем больше, чем большее количество зерен поместились в определенном объеме, и чем больше удельный вес зерна. Натурная масса непосредственно связана с выходом муки. Чем выше натура зерна, тем выше выход муки. При определении натуры зерна для мягкой пшеницы пороговый предел составляет 710 г/л, ни в одной дозе полученные нами данные не понижают данный предел.

Максимальное увеличение натуры зерна отмечается при внесении йода в почву 9 кг/га. Основное внесение микроэлемента незначительно снижает натуру зерна.

Хлебопекарные качества муки определяются качеством *клейковины*. Полученные данные клейковины мягкой яровой пшеницы Памяти Азиева относятся к 1-классу пшеницы, а это говорит о том, что данную пшеницу можно использовать в хлебопечении (Животников Л.А., 1989).

Максимальное значение клейковины отмечается при внесении йода в дозе 9 кг/га. Дальнейшее же повышение дозы приводит к уменьшению процента клейковины. При опрыскивании пшеницы раствором йодида калия с концентрацией 0,02% наблюдается повышение клейковины на 1,3%. Клейковина напрямую зависит от содержания белка в зерне.

Белок - наиболее ценная часть пшеничного зерна. Содержание белка в исследуемом зерне при внесении микроэлемента варьирует незначительно. Некорневое внесение йода в концентрации 0,01% оказалось положительное влияние на формирование белка, максимально увеличив его процент содержания на 3,1%. По данным (Шевченко А.В., 2017), йод не оказывает отрицательного влияния на содержании общего белка в живом организме, но отмечена тенденция к увеличению его в пределах 0,7-23%.

О непосредственном участии йода в синтезе белков растений говорит то, что он входит в состав аминокислот и самих белков. По данным Кашина (Кашин В.К., 1987), микроэлемент действует на синтез аминокислот, являющихся первичным материалом для образования более сложных азотистых соединений, включая белки. Специфическая роль йода в растениях кроется в процессах азотного обмена.

Согласно данным таблицы 5.15, йодсодержащие удобрения не оказывают отрицательного действия на показатели качества зерна, а по таким показателям как масса 1000 зерен, количество зерен в колосе, стекловидность, наблюдается тенденция к положительному влиянию. Достоверного изменения показателей качества зерна при обогащении йодом пшеницы не отмечено.

Влияние йодсодержащих удобрений на показатели сухого вещества

В фазе колошения содержание сухого вещества в зерне снижаются по отношению к фону с увеличением дозы йода. Особенно сильно снижаются показатели при внесении - -12,4....-14,4%. В фазе полной спелости показатели близки к фоновым, не наблюдается достоверного влияния йодсодержащих удобрений на массу сухого вещества.

Таблица 5.16 – Влияние йода на содержание сухого вещества в зерне яровой мягкой пшеницы

Варианты опыта	Содержание сухого вещества, %			Среднее за три года	Изменения по сравнению с фоном, %
	2013	2014	2015		
Фон	81,09	87,01	84,1	84,05	-
Фон+опрыскивание, %	0,005	80,77	87,58	84,2	84,17 +0,1
	0,01	82,38	88,77	85,47	85,57 +1,8
	0,02	74,15	87,8	81,0	80,97 -3,7
Фон+внесение . кг/га	9	83,82	88,15	86,0	85,98 +2,3
	12	80,45	88,64	84,56	84,55 +0,59
	15	83,39	87,62	85,4	85,5 +1,7

По данным таблицы 5.16 можно проследить тенденцию увеличения массы сухого вещества с увеличением основной дозы внесения йода до 5,4%. Оптимальной концентрацией при опрыскивании является 0,01%.

5.5. Потребность в йоде при формировании урожая зерна яровой мягкой пшеницы

Использование йодсодержащих удобрений может существенно увеличивать вынос микроэлемента, как урожаем, так и единицей товарной продукции, способствуя изменению баланса химического элемента в системе почва–растение, что является довольно значимым фактором в практике применения микроудобрений и охраны окружающей среды (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Вынос растениями яровой мягкой пшеницы йода из почвы при его применении

Варианты опыта		Вынос йода, мг/га		Общий вынос, мг/га
		зерно	солома	
Фон		88,8	701,2	790,0
Фон+ опрыскивание, % е. кг/га	0,005	<u>124,2</u> +39%	<u>1129,9</u> +61,1%	<u>1254,1</u> +58,7%
	0,01	<u>195,3</u> +119%	<u>987,8</u> +40,9%	<u>1183,1</u> +49,7%
	0,02	<u>185,8</u> +109%	<u>572,2</u> -18,4%	<u>758,0</u> -4,1%
Фон+внесени е. кг/га	9	<u>121,4</u> 36%	<u>1725,1</u> +146,0%	<u>1846,5</u> +133,7%
	12	<u>139,5</u> +57%	<u>2586,4</u> +268,9%	<u>2725,9</u> +245,1%
	15	<u>321,3</u> +261%	<u>2785,6</u> +297,3 %	<u>3106,9</u> +293,3%

Примечание: * В числителе – вынос йода (в мг/га), в знаменателе – изменения по сравнению с фоном (%)

Согласно полученным данным, максимальный вынос йода зерном и соломой наблюдается при корневом внесении в дозе 15 кг/га. Прирост по отношению к фону составляет +261% для зерна и +297,3% для соломы. Показатели общего выноса йода из почвы говорят о том, что при основном внесении в почве йода остается от 7,1 до 11,9 кг/га. Такое накопление микроэлемента может сказаться на балансе элементов и микроорганизмов в почве, что может негативно повлиять на экологическое состояние почвы.

Установленные оптимальные дозы и способы применения удобрения являются предпосылкой для создания наилучшей структуры урожая, при которой наблюдается рациональное расходование элементов питания.

В таблице 5.18 представлена модель баланса исследуемого микроэлемента при использовании йодсодержащих удобрений

установленными дозами на основе полевых опытов, рассчитанная с использованием полученных нормативных параметров выноса элемента урожаем.

Таблица 5.18 – Модель баланса микроэлемента при различных способах внесения

Вариант	Фон	Фон+внесение, кг/га		
		9	12	15
Баланс	0,79	1,85 9000	2,73 12000	3,11 15000

Примечание: *в числителе – вынос микроэлемента, г/га, ** в знаменателе – внесенное количество элемента, г/га

Растения в течение вегетации потребляют определенное количество макро- и микроэлементов, как из внесенных удобрений, так и из почвы, особенно из верхнего 30-сантиметрового слоя, т. к. именно в нем располагается основная масса корней. Процент использования элементов из почвы и удобрений зависит от содержания их подвижных форм в корнеобитаемом слое, а также от природных условий вегетационного периода, возделываемых культур, уровня их урожая, типа почв (механического состава, запасов подвижных форм основных питательных веществ, кислотности и т.д.), количества и вида применяемых удобрений, способов их внесения и других условий.

Использование растениями питательных веществ из почвы

Если условно принять, что прибавка урожая растений создается только за счет дополнительного питания из удобрений, содержащих йод, то КИП рассчитывают по формуле:

$$КИП = \frac{B_y \cdot (Y - П)}{Y \cdot C}, \quad (1)$$

где B_y — общий вынос элементов питания биомассой растений в исследуемом варианте, кг/га;

Y — урожай основной продукции, ц/га;

$П$ — прибавка урожая основной продукции, ц/га,

C — содержание питательного вещества в почве, кг/га.

В условиях проведенных опытов были рассчитаны проценты использования микроэлементов из почвы, которые составляют 0,018-0,021%.

Применять удобрения рационально и экономно нельзя, не опираясь на агротехнические, организационно-экономические и хозяйствственные приемы возделывания высших растений, для которых предназначается система удобрений. (Ермохин Ю.И., 1994). Коэффициент использования питательных веществ из удобрений (КИУ) является довольно условным. В агрохимии данный коэффициент принято определять разностным методом по формуле (2):

$$КИУ = B_y - B_\phi / \Delta, \quad (2)$$

где Δ — доза внесенного элемента, кг/га;

B_y , B_ϕ — вынос элемента растением соответственно на варианте с его применением и на фоне, кг/га.

В нашем эксперименте внесение йода в дозах соответственно 9, 12, 15 кг/га увеличивало урожайность яровой мягкой пшеницы. Поэтому более правильный расчет показателя эффективности использования растениями элемента из удобрений (ПЭУ) на вариантах с прибавкой урожайности по сравнению с фоном определяется по формуле (3):

$$ПЭУ = B_y П 100 / У \Delta \quad (3)$$

где B_y — вынос питательного элемента биомассой растений в варианте с применением удобрений, кг/га;

Y — урожай продукции в варианте с применением удобрений, т/га;

$П$ — прибавка урожая основной продукции, т/га;

D – доза действующего вещества в удобрении, кг/га.

Данные таблицы 5.19 показывают различные результаты по использованию микроэлементов из удобрений в зависимости от возделываемой культуры и метода расчета показателя. При расчете ПЭУ (формула 3) учитывается влияние микроэлемента на доступность выноса питательных веществ из почвы.

Таблица 5.19 – Коэффициенты и показатели эффективности использования йода растениями яровой мягкой пшеницы (в среднем за 2013–2015 гг.)

В процентах

Доза йода, кг/га					
9		12		15	
КИУ	ПЭУ	КИУ	ПЭУ	КИУ	ПЭУ
0,0018	0,002	0,0026	0,0018	0,003	0,0016

Исследования по эффективности использования йод содержащих удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы показали, что при оптимальных дозировках йод оказывает достоверно положительное влияние на урожайность и качество культур. Коэффициенты использования йода растениями, рассчитанные на основе данных за три года полевого опыта, позволяют нормировать поступление йода с удобрениями.

6. ЭКОЛОГО-СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ ПОД ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

*Если вы хотите уничтожить нацию,
уберите йод из их пищевого рациона.*

Это так просто.

Гай Е. Абрахам, проф. Калифорнийского университета, Лос-Анджелес, США

Проблема дефицита йода признана такими международными организациями, как ООН, Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) мировой проблемой, проявляющейся все острее с возрастанием техногенного воздействия на человека и окружающую среду. В отличие от инфекционных заболеваний (натуральной оспы или полиомиелита) йоддефицитные заболевания нельзя ликвидировать раз и навсегда. Причина их возникновения лежит в неустранимой экологической недостаточности йода в почве и воде, ведущей к дефициту этого микронутриента в продуктах питания (Осокина И.В., 2013). Основным источником йода для человека и животных является пища. Недостаточное поступление этого микроэлемента в организм человека – важнейшая проблема мирового масштаба. Согласно данным ВОЗ, 1600 миллионов человек проживают в йоддефицитных регионах.

В России от недостатка йода страдает около 60 % населения. Центром по йододефицитным заболеваниям Минздрава России при непосредственном участии региональных специалистов дефицит йода выявлен в 30 субъектах РФ (Из Постановления Главного государственного санитарного врача, 2013). Система мониторинга и профилактики йоддефицитных заболеваний в России начала разрушаться в 1970-х годах и рухнула с развалом СССР. До середины 1990-х профилактика и мониторинг не производился (Национальный доклад, 2006). С конца 1990-х годов достигнут определенный прогресс в ликвидации дефицита йода, однако

прикладываемые усилия явно недостаточны. Омская область также является дефицитной по содержанию йода в почве, кормах, организмах человека и животных (Савченков М.Ф., 2002, Ильин В. Б., 2007, Сысо А.И., 2008, Конарбаева Г.А., 2012, Вильмс Е.А., 2015, Турчанино Д.В., 2013).

Мировое сообщество накопило огромный опыт по профилактике и борьбе с заболеваниями, вызванными дефицитом йода. При выполнении международных и национальных программ по борьбе с дефицитом йода было отмечено, что увеличение потребления йода в йоддефицитных регионах привело к увеличению заболеваний щитовидной железы. Статистика показывает, что у части населения может наблюдаться негативный эффект от избыточного потребления йода с пищей, водой или медицинскими препаратами (SCF, 2002). Во многих странах установлен, кроме рекомендуемого, также максимальный уровень потребления йода.

Продовольственная безопасность является составной частью национальной безопасности страны, фактором сохранения ее государственности и суверенитета, важнейшей составляющей демографической политики и системы жизнеобеспечения, а также необходимым условием сохранения здоровья, обеспечения физической активности, долголетия и высокого качества жизни населения страны (Министерство сельского хозяйства России, проект доктрины сельскохозяйственной безопасности, 2009). Таким образом, снабжение продуктами, обеспечивающими потребление йода в соответствии с физиологическими нормами, является одной из составляющих продовольственной безопасности государства.

Среди возможных путей решения проблемы микроэлементозов: расширение ассортимента применяемых продуктов питания, обогащение готовых пищевых продуктов микроэлементом (йодирование соли), использование биологически активных добавок (йодистых препаратов) и биофортификация сельскохозяйственных растений. Одним из эффективнейших, хотя и на первый взгляд несколько сложным, является

методом йодирования продуктов животноводства. Успешное обогащение йодом было осуществлено на многих сельскохозяйственных культурах: китайской капусте, сельдерее, перце, редисе, капусте, шпинате, томатах, а также фруктах и ягодах (Caffagni A., 2012, Chun-Lai Hong, 2008, Medrano-Macias, 2016, Яковлева Е.А., 2015, 2016, Равашдех X., 2005). Разработаны методики обогащения йодом мяса кур, яиц, коровьего молока (Спиридонов А.И., 2010, Жучков А.А, Беликов Р.П., 2013, Короткова А.А., Горлов И.Ф., 2012).

Следует обратить внимание, что кулинарная обработка снижает содержание йода в пище, жарка/гриль на 20-23% (WHO, 1996), варка рыбы, мяса на 50%, кипячение молока на 25%, выпечка хлеба на 80% (Лифляндский В.Г., 2006). При некоторых видах обработки пищевых продуктов технологические потери йода могут составлять до 90% (Минздрав СССР, 1991). Суть биофортификации в переводе йода неорганического в органическую форму, что делает его менее летучим, а также в более усвояемую для растений и животных форму.

Проблема микронутриентной недостаточности и ее ликвидации у населения существует во всех странах, в том числе экономически развитых. В связи с этим анализ имеющихся в мире программ законодательно закрепленной фортификации пищевых продуктов приобретает особое значение. Одним из подходов к ее решению является обогащение витаминами и/или микроэлементами пищевых продуктов массового потребления, т.е. непосредственное добавление в процессе производства витаминов и микроэлементов. В настоящее время в Российской Федерации обогащение пищевых продуктов осуществляется отдельными их изготовителями только по собственной инициативе. Так, например, реализуются целевые программы, направленные на развитие хлебопекарной промышленности по выпуску обогащенных хлебобулочных изделий, такие как «Социальный хлеб», «Об обеспечении населения хлебобулочными изделиями, обогащенными микронутриентами». «В

сложившихся условиях обогащение хлеба и хлебобулочных изделий и других продуктов массового потребления микронутриентами, выпуск продукции специализированного, функционального и диетического назначения позволяет восполнить микроэлементную недостаточность максимального количества населения страны (Из постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14 июня 2013 г.).

Потребление пшеничного и ржаного хлеба, хлебобулочных изделий в домашних хозяйствах (по данным Росстата за 2007 г.) составило 174 г в сутки. Средний уровень потребления хлеба пшеничного и ржаного, оцененный на репрезентативной Российской выборке более 10000 человек, составил 156 г/день для лиц от 18 до 60 лет и 139 г/день для детей 11–18 лет. На основании этих данных среднее поступление йода только за счет потребления хлеба, изготовленного с использованием взамен обычной йодированной соли, составит 55–61 мкг/сут, что соответствует 36–40% от рекомендуемого суточного потребления йода для взрослых, и 50 мкг/сут (33%) для детей старше 11 лет.

При обогащении йодом продуктов питания используются различные йодорганические добавки, такие как йод-полимерные лекарственные средства «Монклавит-1» (Спиридов А.И., 2010), «Йодказеин», «Биойод» (Дуля М.С. с соавт., 2014), «Йоддар-Zn» (Короткова А.А., Горлов И.Ф., 2012). Изучая влияние этих добавок на организм человека, ученые не приходят к однозначному выводу. Одни ученые считают, что применение этих добавок помогает решить проблему йододефицита. Но многие исследователи категорически не приемлют данные пищевые добавки как панацею, а даже считают вредной для здоровья человека. Такое разногласие связано с тем, что с помощью таких добавок как «Йодказеин» продукт обогащается йодированным белком устойчивым к высоким температурам, а с другой стороны этот йод практически не отщепляется от белка при температуре до 600°C. Таким образом, нельзя с уверенностью говорить о

пользе продуктов с добавлением йодированных белков. А для профилактики йододефицита необходимо потреблять богатые йодом продукты, в которых йод накапливается естественным путем.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующий вывод, что наиболее перспективным является метод биофортификации сельскохозяйственных растений, применяя стандартные агрохимические технологии: внесение в почву вместе с минеральными удобрениями или опрыскиванием растений раствором соли йода (в частности, иодида калия). Выбор иодида калия в качестве удобрения связан с тем, что в растениях не возрастают количества нитратов, какое наблюдается при применении иодатов (возможно восстановление иодата до иодида под действием нитроредуктазы) (Голубкина Н.А., 2015).

В.В. Ковальским (1974), А.П. Авцыном (1991), В.Л. Сусликовым (2000), доказано, что закономерности адаптации организма и его нарушения с последующим развитием предпатологических и патологических состояний к геохимической среде должны рассматриваться на основе представлений о единстве среды и жизни. Должны учитываться географические и биогеохимические факторы, изучаться основные источники микроэлементов в данном регионе, пути и формы их миграции в почвах, водах, животных организмах.

В.В. Ковальский, родоначальник новой науки - геохимической экологии, вводит новое понятие - *биогеохимическая пищевая цепь*, (Ковальский В.В., 1982) которое предусматривает миграцию химических элементов и их соединений от основного источника мигранта – горных пород (или в случае техногенеза – антропогенной деятельности человека).

Биогеохимическая пищевая цепь в упрощенном виде представлена на рисунке 6. 1 (Ковальский В.В., 1982). Однако, реальное число ее звеньев гораздо больше, а цепь представляет собой сопряженные биогеохимические циклы различного уровня.

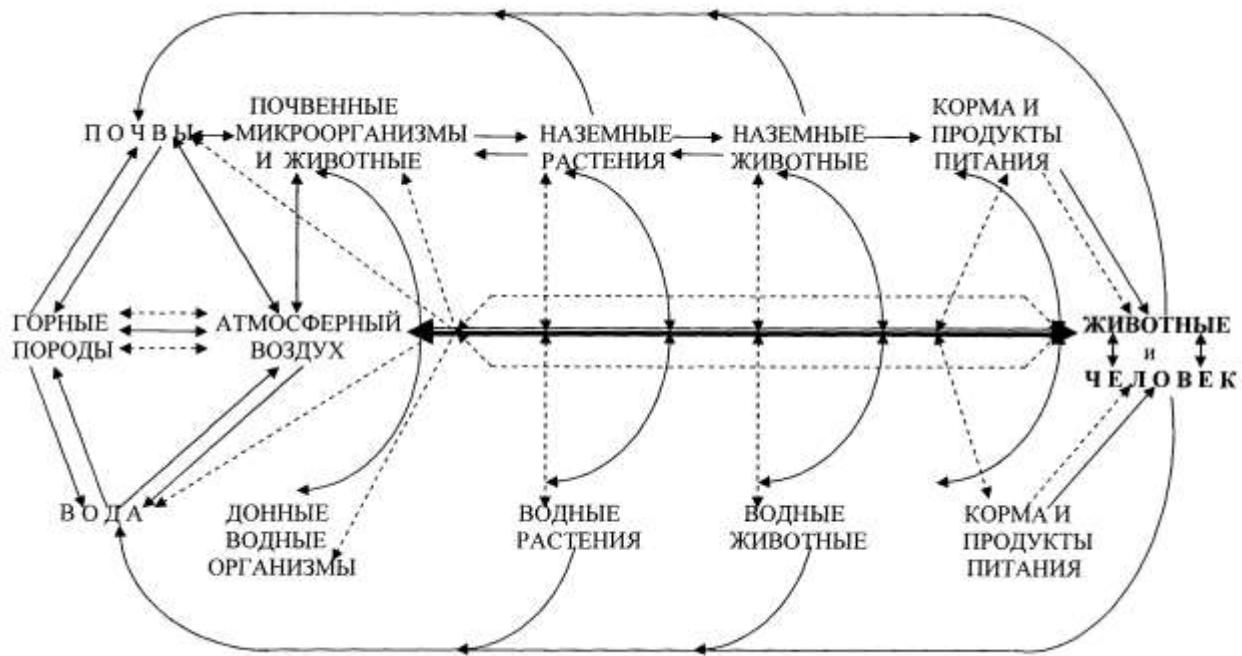


Рисунок 6.1 – Биогеохимическая пищевая цепь

Таким образом, поведение йода в живых организмах следует рассматривать через последовательную пищевую цепь от почвы, его содержание и зависимость от факторов окружающей среды, влияние его на микроорганизмы, содержащиеся в почве, содержание и накопление его в растениях в концентрациях, безопасных для животных и человека.

В.В. Ковальским (Ковальский В.В., 1982) были сформулированы проблемы геохимической экологии:

- экология пороговых концентраций и пороговой чувствительности организмов; исследование потребности организмов в микроэлементах методами геохимической экологии;
- биологические реакции микроорганизмов, растений и животных организмов и их популяций на недостаток или избыток определенных химических элементов в среде;
- эндемические болезни растений, животных и человека, вызываемые недостатком или избытком в среде и в рационе химических элементов;

Как видно, проблемы, связанные с микроэлементозами, находятся в тесной связи с проблемами геохимической экологии.

Понятие «пороговых концентраций химических элементов» было введено В.В. Ковальским в процессе его многолетних и многочисленных исследований биологической роли микроэлементов и изучения биогеохимических провинций. Необходимым явилось установление пороговых или критических концентраций микроэлементов, от которых начинается их недостаток (нижние пороговые концентрации) или избыток (верхние пороговые концентрации). Очевидно, между этими пороговыми концентрациями находятся те количества микроэлементов, которые выражают пределы потребности животных в микроэлементах (Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., 2008). В пределах между верхними и нижними пороговыми концентрациями химических элементов организм способен регулировать обменные процессы (пределы потребности), ниже или выше нижних или верхних пороговых концентраций регулирующие системы организма не могут полностью нормализовать обменные процессы.

Пределы содержания микроэлементов в живых организмах имеют узкую грань между токсичностью и необходимостью. С целью оптимизации питания растений йодом возникает необходимость определения оптимальных и критических концентраций на лугово-черноземной почве. Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири нами были разработаны критерии и параметры действия данного микроэлемента в системе почва-растение. Разработаны нормативы использования йода для почвы и под зерновые культуры. При этом анализ возможности применения данного микроэлемента осуществляется, как с агрономической, так и с санитарно-гигиенической позиций (Ильин В.Б., 1982, Синдирева А.В., 2012).

Использование системного подхода (Разумов В.И., 2004) позволит определить систему предметной области, состоящую из 2-х элементов (почва-растение) и установить агрохимические и физиологические нормативные количественные характеристики потребности растений в микроэлементе.

В наших исследованиях ресурсами предметной области выступают почва, экологические условия, компоненты – это растительный организм и микроэлемент йод. Результат химико-биологического взаимодействия микроэлемента йода в системе почва-растение отражается на урожайности и показателях качества зерновых культур, что ведет к разработке системы управления применением микроэлемента йода в сельском хозяйстве (рисунок 6.2).

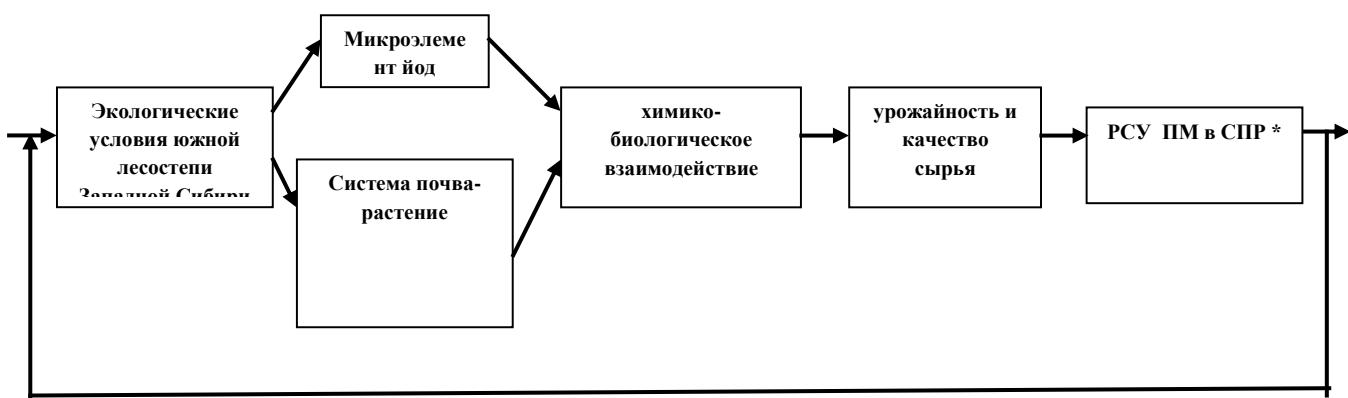


Рисунок 6.2 – Схема взаимодействия микроэлемента йода и системы почва-растение

*РСУ ПМ в СПР - разработка системы управления применения микроэлемента в системе почва-растение.

Анализируя отечественную и зарубежную литературу по вопросам нормирования содержания химических элементов в окружающей среде и дальнейшего включения этой информации в систему мероприятий по экологическому мониторингу, мы пришли к выводу, что основные этапы оценки, прогноза и нормирования действия микроэлемента должны выстраиваться по следующей схеме (Ковальский В.В., 1982, Синдирева А.В., 2012):

- 1 этап. Оценка элементного статуса объектов окружающей среды, сложившегося в регионе под действием природных факторов.
- 2 этап. Прогноз и оценка действия йода на основе моделирования его распространения в окружающей среде.

3 этап. Определение нормативов действия микроэлемента на основе комбинации результатов мониторинга с данными, полученными с применением моделирования.

4 этап. Принятие решения о целесообразности, приоритетности и эффективности оздоровительных мероприятий, направленных на оптимизацию микроэлементного статуса в системе почва–растение.

Первичным звеном для оценки являлась почва, где предусматривалось установление предельно допустимой концентрации микроэлемента. Для чего были поставлены опыты по микробиологической активности почвы.

Согласно публикациям В.Б. Ильина (Ильин В.Б., 1982, 1991, 2001), нормирование содержания микроэлементов в почве может преследовать различные цели исходя из функциональной многозначности почвы (почва – природное тело, компонент биогеоценоза, почва – средство и объект сельскохозяйственного использования, почва – среда обитания).

Механизм нормирования химических элементов в почве зависит от его цели. Почвы, только начавшие загрязняться, должны быть подвергнуты жесткому контролю для полного сохранения их нативных свойств (Ильин В.Б., 1991). Поэтому если содержание нормируемого химического элемента не является высоким, требуются особо чувствительные методы. Поскольку данных о нормировании содержания йода в почве с позиций биоиндикации и биотестирования немного, первым этапом при нормировании было установление его влияния на микробиологическую активность почвы. Наши исследования позволили установить тесные корреляционные зависимости между уровнем йода в почве и численностью ряда агрономически важных микроорганизмов. Это дало возможность использовать микробиологические тесты в целях установления оптимальных и критических уровней влияния микроэлемента на почвенную микрофлору с целью сохранения и оптимизации природных свойств почвы как компонента биоценоза (Степанова О.В., 2014, Синдирева А.В., 2012) (глава 3).

Согласно критериям В.В. Ковальского, оптимальное содержание йода в почве составляет 5-40 мг/кг. Внесение удобрений в количествах 0,4 - 6,3 мг/кг (от 1 до 15 кг/га) повышает содержание йода до оптимального (19,3 – 43,0 мг/кг). Высокие дозы – свыше 7,5 мг/кг (выше 21 кг/га) приводят к избыточной концентрации микроэлемента в почве (более 47,5 мг/кг) (глава 3). Йодсодержащие удобрения оказывают значительное влияние на биологическую активность лугово-черноземной почвы. В основном йод оказывает стимулирующее действие на численность микроорганизмов, не проявляя значимого токсического эффекта. Выявлена оптимальная доза для микроорганизмов - 8,8 мг/кг (21 кг/га; +226,6% по сравнению с контролем).

Дозы йода, начиная с 5,0 мг/кг (12 кг/га и выше) стимулируют процесс азотфиксации. В естественной природе весь недостаток азота и все азотные потери компенсируются за счет азотфиксации, которая никогда не приводит к избытку или недостатку азота. Недостаток азота – это свойство несовершенных агроэкосистем. (Звягинцев Д.Г., 2005). Даже повышенные дозы йода в пределах 8,8 - 11,3 мг/кг (21-27 кг/га) могут быть стимулирующими для численности актиномицетов, играющими важную роль в оздоровлении почв. К положительному влиянию йода можно добавить, то, что высокие дозы микроэлемента стимулируют процессы минерализации органического вещества и перевод элементов питания в доступную для растений форму.

В наших исследованиях применение йода неоднозначно влияет на активность ферментов. Содержание уреазы обратно пропорционально внесенным дозам микроэлемента. Активность инвертазы дозы наиболее высока при небольших дозах йода в пределах 0,4-1,3 мг/кг (1-3 кг/га). Для каталазы зона оптимума составляет 2,5-7,5 мг/кг (6-18 кг/га). Согласно литературным данным, (Добровольская Т.Г., 1991), активность каталазы можно использовать в качестве показателя итоговой реакции растительного организма на сложный комплекс экологических воздействий. Примененные дозы от 0,4 до 8,8 мг/кг (1 до 21 кг/га) не показали фитотоксического

эффекта для растений. Повышенные дозы йода в пределах 10,0-11,3 мг/кг (24-27 кг/га) приводили к токсическому эффекту – снижение показателей на 20-30%.

Применяемые в полевых опытах дозы йодсодержащих удобрений 9-12-15 кг/га не оказывают токсического действия на лугово-черноземную почву и находятся в зоне оптимума для микроорганизмов.

В то же время применение повышенных доз йода может стать причиной негативного воздействия микроэлемента на рост и развитие растений, для чего было исследовано следующее звено для изучения поведения йода в живых организмах - растение.

Нормативов оценки минеральной полноценности и безопасности растительной продукции в России и в мире немного. В России сегодня используют нормативы показателей безопасности, максимально допустимые уровни (МДУ) и максимально допустимые содержания (МДС) для крупного рогатого скота. В зарубежных странах качество травянистых кормов оценивают по минеральной полноценности – соответствуя норме содержания макро- и микроэлементов в кормах, обеспечивающей высокую продуктивность животных, наличию дефицита элементов (Сысо А.И., 2016).

Наиболее перспективным и универсальным можно назвать эколого-биогеохимический подход к оценке экологического состояния территории, укосов трав и растительных кормов по содержанию в них биологически важных химических элементов. В основу этих критериев положены пороговые значения концентрации химических элементов в кормах, предложенные В. В. Ковальским, дополненные и уточненные его последователями (Ковальский В.В., 1974, Ермаков В.В., 2008).

Стандартные нормативы по ГОСТу на содержание йода в пищевой продукции отсутствуют. Ниже приводятся критерии, полученные по литературным данным.

Показатели содержания йода в растениях:

Зарубежные критерии оценки минеральной полноценности и безопасности (МДК) кормов для йода (Narwal R.P., 2013) составляют в норме 0,1-0,2 мг/кг.

Российские критерии оценки безопасной концентрации йода в кормах:

МДУ - зерно-зернофураж, грубые сочные корма - 2 мг/кг (Ермаков В.В., 2008); МДС - корма для скота - 30-40 мг/кг (Кальницкий Б.Д., 1985).

Таблица 6.1 – Эколого-биогеохимические критерии оценки содержания йода в укосах трав и растительных кормах (мг/кг)

(Ермаков В.В., 2008, Ильин В.Б., 2001)

Бедствие /дефицит	Кризис /дефицит	Риск /дефицит	Норма	Риск /избыток	Кризис /избыток	Бедствие /избыток
<0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-2	0,2-2,0	2-5	5-20

Эколого-биогеохимические критерии в части избытка совпадают с критериями оценки безопасности кормов, в части дефицита с агрохимическими критериями обеспеченности кормовых культур микроэлементами. Полного совпадения пределов эколого-биогеохимической и агрохимической оценки концентрации химического элемента в кормовых растениях нет, так как первые отражают потребность в них животных, а вторых - растительных организмов (Сысо А.И., 2016).

Результаты мониторинга элементного химического состава почв и сельскохозяйственных культур юга Западной Сибири показали негативную тенденцию изменения, но не в результате техногенного загрязнения окружающей среды, а из-за истощения плодородия почв. Средний уровень содержания йода в растениях за 2003-2009 годы снизился на 20% относительно данных за 1985-1989 годы, когда содержание микроэлемента считалось нормальным (Сысо А.И., 2016). Снижение плодородия почв связано с обеднением гумуса в них, а аккумуляция йода в почвах, как было

сказано выше (глава 1), зависит от органического вещества почвы. Большему количеству гумуса соответствует и более высокое содержание элемента.

Опираясь на полученные данные в ходе лабораторного и полевого опытов, можно сделать следующие выводы. Содержание йода в соломе и зерне яровой мягкой пшеницы без внесения микроэлемента недостаточное и составляет 0,034 и 0,035 мг/кг соответственно. Содержание микроэлемента в контрольных растительных образцах, полученных в ходе вегетационного опыта, также говорят о дефиците йода: для пшеницы – 0,05-0,07 мг/кг, для ржи 0,08 мг/кг, в овсе и ячмене содержание йода несколько выше 0,13 и 0,16 мг/кг соответственно, подтверждается данными других исследователей - 0,11 мг/кг (Мальгин М.А., 2001).

При таком способе применения удобрений, содержащих йод, как основное внесение в почву, наблюдается максимальное накопление йода. В дозе 15 кг/га содержание йода в зерне составляло 0,15 мг/кг, что превышает содержание йода на фоне минеральных удобрений на 213%, а в соломе 0,18 мг/ кг (+240% по отношению к фону). Нами применялось три способа обогащения зерновых культур. Метод предварительного намачивания семян является эффективным способом обработки зерновых культур с точки зрения накопления йода. При намачивании семян пшеницы в растворе с концентрацией йода 0,02% содержание йода составляло 0,44 мг/кг, что увеличивало содержание микроэлемента при сравнении с контролем на +530%, те же опыты для ржи – 1,06 мкг/кг (+1124% по сравнению с контролем). В наших опытах максимальное содержание йода наблюдалось в опытах с растениями ржи - 1,09 мг/кг. Нужно учитывать, что такие данные получены в начальной стадии развития растения (см. глава 4.2). По мере роста наступает эффект «расконцентрации», то есть уменьшение содержания йода из-за увеличения размеров растения. Следует отметить, что метод предварительного намачивания семян как способ

обогащения зерновых культур нужно применять с осторожностью, тщательно выбирая дозы конкретно для каждой культуры.

Такие способы обогащения пшеницы йодом, как корневое внесение и опрыскивание йодсодержащими удобрениями являются безопасными с экологической точки зрения, так как не приводят к избыточному содержанию йода в зерне и соломе пшеницы. Ориентируясь на существующие критерии, можно сделать вывод, что накопление йода в продукции, полученными в ходе наших опытов, можно считать экологически безопасными. Средние данные по содержанию микроэлемента, полученные в опытах для обогащенных образцов соломы и зерна находятся в пределах 0,06-0,18 мг/кг. Это значит, что данные способы обогащения и применяемые дозы приводят содержание йода в растениях зерновых культур к оптимуму. Следует отметить, что гидрометеорологические условия влияют на накопление микроэлемента. В условиях недостатка влаги (2013 год) накопление йода в зерне пшеницы было максимальным (в 3-5 раз выше контроля).

Наши исследования позволили определить нормативные агрохимические и физиологические характеристики для микроэлемента:

- коэффициенты использования микроэлемента из удобрений и почвы (КИУ, ПЭУ, КИП);
- коэффициенты «*b*» интенсивности действия микроэлемента на химический состав растений зерновых культур;
- с позиции качества растениеводческой продукции было установлено влияние йода на содержание сухого вещества и показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы.

При оценке влияния микроэлемента на химический состав растений особое внимание уделялось взаимодействию ионов, проявлению антагонистических и синергетических отношений между макро- и микроэлементами в процессе поступления их в растения.

В таблице 6.2 представлены оптимальные дозы микроэлемента и способы внесения для почвы и растений для различных показателей.

Таблица 6.2 – Оптимальные дозы микроэлемента и способы внесения

Почва	Микробиологическая активность	Ферментативная активность	Фитотоксичность почвы
	42,2-61,4 мг/кг 12-24 кг/га	33,5-42,2 мг/кг 6-12 кг/га	19,3-43,5 мг/кг 1-18 кг/га
Растение	Метод предварительного намачивания семян	Наиболее эффективный способ обработки зерновых культур с точки зрения накопления йода (до +1124% по сравнению с контролем)	
	Методы основного внесения и опрыскивания	Наиболее безопасный способ обработки зерновых культур с экологической точки зрения, т.к. не приводит к избыточному содержанию йода	

Полученные результаты исследований необходимо учитывать при применении йодсодержащих удобрений при возделывании зерновых культур в целях биофортификации и в дальнейшем при употреблении в пищу человека и животных. Выявление особенностей поведения микроэлемента в системе почва – растение необходимо для профилактики и лечения йоддефицитных заболеваний, вызванных недостатком микроэлемента в окружающей среде.

Таким образом, установленные закономерности действия микроэлемента в системе почва-растение и разработанные на их основе нормативные показатели содержания элемента в компонентах трофических цепей являются научной основой для формирования комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию элементного статуса объектов окружающей среды, и в конечном итоге, человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Йод оказывает стимулирующие действие на численность почвенных микроорганизмов, не проявляя токсического эффекта до дозы 21 кг/га. Применение повышенных доз йода (свыше 21 кг/га) может стать причиной негативного воздействия на почвенные микроорганизмы.

2. Йод в концентрациях от 0,005 до 0,04% оказывает стимулирующее влияние на всхожесть и энергию прорастания исследуемых зерновых культур. Наиболее отзывчивыми культурами на применение йода в качестве микроудобрения являются яровая мягкая пшеница и яровая рожь. В вегетационных опытах оптимальным способом обогащения является предварительное намачивание семян растений и опрыскивание раствором иодида калия с концентрациями йода 0,01 - 0,02%.

3. Внесение йода в качестве микроудобрения в исследуемых дозах положительно влияет на урожайность зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева. Наибольшая прибавка урожайности наблюдается при опрыскивании раствором иодида калия с концентрацией йода 0,01%, и составляет в среднем за три года 25%.

4. Максимальное накопление йода в зерне пшеницы наблюдается на варианте с внесением микроэлемента в дозе 15 кг/га и превышает уровень фона в среднем на 438,2 %, что составляет 0,15 мг/кг. Данное содержание йода в зерне пшеницы не превышает установленных в литературе токсических дозировок для растений.

5. Установлены коэффициенты интенсивности действия единицы йода, внесенного в почву (кг. д.в./га), на его содержание в почве и в растениях, позволяющие сделать прогноз накопления элемента и создавать его оптимальный уровень в результате его антропогенного применения.

6. Применение йода в виде иодида калия не способствовало изменению основных показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева по сравнению с контролем.

7. В процессе дополнительного поступления йода в растения яровой мягкой пшеницы отмечены явления синергизма с азотом, фосфором, свинцом, антагонизма с кадмием, синергизм между ионами цинка и меди при определенной концентрации йода переходит в антагонизм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Омской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 187 с.
2. Агрометеорологический бюллетень. – Омск: Гидрометеоиздат, 2013. – 34 с.
3. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск: Гидрометеоиздат, 2014. – 35 с.
4. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск: Гидрометеоиздат, 2015. – 35 с.
5. Авцын, А. П. Микроэлементозы человека./ А.П. Авцын // М.: Медицина. 1991. – 496 с.
6. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. / Л.Н.Александрова// – Л.: Наука. Лен. отд-ние, 1980. – 286 с.
7. Александрова, Э. А.Способ обработки озимой пшеницы. / Э. А. Александрова, Р. М. Гергаулова , Г.А Шрамко., Т.В Князева //Тип: патент на изобретение. Номер патента: 2349071 Страна: Россия. Год: 2009. Дата регистрации: 02.07.2007. Номер заявки: 2007124946/12.
8. Александровская, Е.Ю. Влияние селена на урожайность и показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области. / Александровская Е.Ю., Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Чуянова Г.И.,Серебренникова А.А// Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (21). – 98-104.
9. Аристовская, Т.В. Микробиология процессов почвообразования. / Т.В. Аристовская // Изд-во: Наука. – 1980. – С. 187.
10. Аргунов, А. В. Содержание некоторых макро- и микроэлементов в воде и кормах в биогеохимических провинциях республики Саха (Якутия). / А. В. Аргунов // Международный вестник ветеринарии. – 2011. – №1. – С. 45-46.
11. Астапенко, В.Г. Зобная болезнь. /В.Г. Астапенко, А.Т. Барченко // Минск: Беларусь. – 1978. – 64с.

12. Бессережнова, Н.К. Содержание и распределение йода в почвах, водах и растениях Волгоградской области и его влияние на биохимический состав растений. Автореф. дис... канд с.-х. наук. Волгоград. – 1973. – 26 с.
13. Бирюкова. Е.В. Современный взгляд на роль селена в физиологии и патологии щитовидной железы. / Е.В. Бирюкова // Эндокринология. Эффективная фармакотерапия. – 2017. № 1(8). – С. 34-41.
14. Бумбу, Я.В. Биогеохимия микроэлементов в условиях Молдавии. Автореферат диссертации. – 1983. МГУ, факультет почвоведения. – 48 с.
15. Бобренко, И. А. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири. / И. А. Бобренко, Н. В. Гоман, В. И. Попова // Омский научный вестник. – № 1 (128) 2014. – С. 107-111.
16. Богуславская, Н.В. Изменение микробиологической активности чернозема обыкновенного при внесении цинка и свинца. / Н.В. Богуславская // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2007. – № 2. – С. 324.
17. Булыгин, С.Ю. Микроэлементы в сельском хозяйстве. / С.Ю. Булыгин // Днепропетровск. – 2007.
18. Валдина, Е.А. Заболевания щитовидной железы./ Е.А. Валдина– М.: Знак почёта. – 1993. –224с.
19. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. / А.П. Виноградов // М.: Изд-во АН СССР. –1957. –234 с.
20. Виноградов, А.П. Введение в геохимию океана ./ А.П. Виноградов // М., 1967. – 215 с.
21. Вильмс, Е.А. Сравнительный анализ микроэлементного состава волос городских жителей Западной Сибири. / Е.А Вильмс, Н.В Гогадзе, Д.В Турчанинов, Т.Я. Корчина // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94. – № 7. – С. 99-103.
22. Власюк, П.А. Научные труды института физиологии растений и агрохимии./ П.А. Власюк, Е.С. Косматый, П.Д. Ленденская // – Т.5. – 1952.

23. Гаджимусиева, Н.Т. Динамический баланс йода в экосистеме Западного Прикаспия. / Н.Т. Гаджимусиева // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2014. – № 63. – С. 156-159.
24. Гаджимусиева, Н.Т. Биологическая продуктивность и динамический баланс йода в экосистеме Присулакской низменности. / Н.Т. Гаджимусиева // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – Т. 10. – № 2. – 2016. – С. 17-21.
25. Гаджимусиева, Н.Т. О динамике подвижных форм йода в компонентах аридных экосистем Западного Прикаспия. / Н.Т. Гаджимусиева, А.А. Сайдиева // Аридные экосистемы. – 2017. – Т. 23. – № 2 (71). – С. 62-67.
26. Гамаюрова, В. С. Ферменты. Лабораторный практикум. / В. С. Гамаюрова, М. Е. Зиновьева. – М.: Проспект Науки, 2011. – 256 с.
27. Гилязова И.Б., Шишинина Е.А., Водолазский В.В. Изучение изменения содержания йода в почвах Омской области в период «весна-осень». Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017): Материалы Международной научно-практической конференции (3–5 июня 2017 г.) – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 85-88.
28. Гладышев, В.П. Методологическое значение исследований земного и космического вещества в растительном пищевом сырье. / В.П. Гладышев, С.В Ковалева, Н.Р. Нуриахметова // Вестник ТГПУ. – 2003. – Выпуск 4 (36). – С. 50-52.
29. Голубкина, Н.А. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор). / Н.А. Голубкина, Е.Г. Кекина, С.М. Надежкин // Микроэлементы в медицине. – 2015. – № 16(3). – С. 12-19.
30. Горбунов, А. В. Поступление селена и йода в организм человека с различными рационами питания. / А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, О. И. Окина, М. В. Фронтасьева // Экология человека. – 2011. – № 10. – С. 3- 8.
31. Горбачев, А. Л. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и

прогноз развития эндемических заболеваний. / А. Л., Горбачев, Л. К. Добродеева, Ю. Р. Теддер, Е. Н. Шацова // Экология человека. – 2007. – № 1. – С. 4-11.

32. Горбачев, А. Л. Йодный дефицит как медико-социальная проблема (обзор литературы) / А. Л. Горбачев // Северо-Восточный научный журнал. – 2013. – № 1. – С. 32-37.

33. Горлов, И.. Мясная продуктивность и качество говядины при использовании в рационах бычков йодорганического препарата / И.Горлов, М. Спивак, Д. Ранделин, А. Закурдаева, З. Комарова // Молочное и мясное скотоводство. 2011. – № 6. – С. 22-24.

34. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести /в книге ГОСТ 523125-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия // Москва. – 2009. – 22 с..

35. ГОСТ 10840-64 Зерно. Методы определения натуры. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. –15 с.

36. ГОСТ 10987-76 Зерно. Методы определения стекловидности. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.

37. ГОСТ 13586.1-68 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. ГОСТ Р 52554-2006. Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.

38. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.

39. ГОСТ 26927-86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.

40. ГОСТ 26930-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. –15 с.
41. ГОСТ 26932-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения свинца ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.
42. ГОСТ 26933-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения кадмия. ГОСТ Р 52554-2006.Пшеница. Технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2007-07-01. – 15 с.
43. ГОСТ 32044.-2012 (ISO 5983-1: 2005) Корма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и массовой доли протеина.
44. ГОСТ 30504-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. Минск. – 1997. – Дата введения– 01.01. 1999. – 10 с.
45. ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора (фотометрический и титриметрический методы определения содержания фосфора). / Минск. – 1997. Дата введения – 01.01. 1999. – 12 с.
46. Градобоев, Н.Д. Почвы Омской области / Н.Д. Градобоев, В.М. Прудникова, И.С. Сметанин. – Омск: – 1960. – 373 с.
47. Глебова, И.В. Химический мониторинг распределения йода в фитопедоценозах северной части Центрального Черноземья. / И.В. Глебова., П.П. Ходыревская // Проблемы региональной экологии. Изд-во: ООО Издательский дом «Камертон» (Москва)/ – 2008. – № 3. – С. 85-88.
48. Гунчак, Р.В.The iodine content of the soil and cereals of the woodlands. / Р.В.Гунчак, Г.М.Седило, С.О. Вовк.// Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2016. – Т. 18. – № 2-2 (67). – С. 77-80.
49. Гуркина, Л.В. Взаимное действие биогенных микроэлементов и элементов тяжелых металлов в организме животных. / Л.В. Гуркина, И.К.

Наумова, М.Б. Лебедева // Сельскохозяйственные науки. – 2016. – № 1. – С. 33-37.

50. Деланж. Ф. Йодный дефицит в Европе – состояние проблемы на 2002 год / Ф. Деланж // Интернет-журнал Тиронет. – 2003. – № 1 .URL: <http://www.thyronet.rusmedserv.com/doct/thyr-3-5.htm> (дата обращения 15.08.2018)

51. Дибирова, А.П. Содержание Mn, В I в почвах горной зоны Дагестана. / А.П. Дибирова, З.Н Ахмедова, Н.И Рамазанова, Н.Т Гаджимусиева // Современные научные технологии. – 2005. – № 6. – С. 52.

52. Дибирова, А.П. Содержание марганца, цинка, бора, йода в почвах горного Дагестана. / А.П. Дибирова, З.Н Ахмедова, Н.И Рамазанова, Н.Т Гаджимусиева // Почвоведение. – 2009. – № 10. – С. 1213-1221.

53. Добровольская, Т.Г. Микробный пул в торфяных почвах. / Т.Г. Добровольская, Л.М. Полянская, А.В. Головченко // Почвоведение. -1991.- N7.- С. 69-77.

54. Дорошкевич, С.Г. Методы почвенных и агрохимических исследований./ С.Г. Дорошкевич // Улан-Удэ: Издательство БГСХА. – 2004. – 106 с.

55. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. / Б.А.Доспехов // Москва. – 1968. (2-е изд.).

56. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. / Б.А.Доспехов //– М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.

57.Добровольский, В.В. География микроэлементов: глобальное рассеяние / В.В Добровольский // М.: Мысль. – 1983. – 272 с.

58.Дубкова, Н.З. Способ снижения дефицита йода в организмах животных / Н.З. Дубкова, З.К. Галиакберов, И.А. Дубков, А.Н. Николаев, В.Ф. Шарафутдинов // Аграрная наука. – 2010. – № 3. – С. 21-22.

59. Дуля, М.С., Обогащение йодом муки и хлебобулочных изделий / М.С. Дуля, С.Л. Люблинский, А.В. Дюмулен, В.А. Сибиряков // Хлебопродукты. Изд-во «Злебопродукты» (Москва). – 2014. – № 5. – С. 52-55.

60. Практикум по микробиологии /под ред. Н.С. Егорова //Учебное пособие. М., Изд-во Моск. ун-та. – 1976. - 307 с.
61. Ермаков, В.В. Геохимическая экология животных. / В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков // М.: Наука. – 2008. – 315 с.
62. Ермохин Ю. И. Оптимизация минерального питания и качества картофеля и овощных культур: дис... д-ра. с.- х. наук / Ю. И. Ермохин. – Омск, 1983. – 438 с.
63. Ермохин Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск : ОмГАУ, 1995. – 208 с.
64. Ермохин, Ю.И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений. / Ю.И Ермохин, А.Ф. Неклюдов // Омск. – 1994. – 43 с.
65. Ермохин, Ю.И. Взаимосвязи в питании растений / Ю.И Ермохин, А.В. Синдирева // Монография. Вариант – Омск. – 2010. – 206 с.
66. Ермохин, Ю.И. Познай свой дом и помоги природе и себе / Ю.И. Ермохин, Э.П. Гужулов, А.Е. Сницарь // – Омск. – 1998. – 264 с.
67. Ефремов, А.А. Минеральные вещества – основа снижения антропогенного воздействия окружающей среды на организм человека / А.А. Ефремов, Л.Г. Макарова, Н.В. Шаталина, Г.Г. Первышина // Химия растительного сырья. – 2002. – №3. – С. 65–68.
68. Жабонос, Л.Д. Применение иодистого калия и других микроэлементов при выращивании огурцов в весенних теплицах / Л.Д. Жабонос // Химия в сел. хоз-ве. – 1968. – № 2. – С. 14-16.
69. Животников, Л.А. Пшеница / Л.А. Животников, С.В. Бирюков, А.Я. Степаненко. – К. Урожай. – 1989. – 320 с.
70. Жучков, А.А. Маркетинговая оценка обеспеченности населения пищевыми продуктами, обогащенными йодом / А.А. Жучков, Р.П.. Беликов // Вестник ОрелГИЭТ. – 2013. – №2(24) 6 . – С. 6-10.

71. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – Москва: Изд-во МГУ. –1987. – 256 с.
72. Иванов, В.В.. Экологическая геохимия элементов / В.В.Иванов // М.: Недра. – 1996. – Кн. 3. – 352 с.
73. Ильин, В. Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин //Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. - 129 с.
74. Ильин В.Б., Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. // В.Б. Ильин , А.И. Сысо// Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2001. – 229 с.
75. Ильин, В. Б.Геохимическая ситуация на территории Обь-Иртышского междуречья / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1442-1451.
76. Илиев, П. Формы общебиологической стимуляции у растений / П. Илиев // Стимуляция у растений. – София. – 1969. – С. 81-90.
77. Илялетдинов, А. Н. Микробиологические превращения металлов. / А.Н.Илялетдинов // Институт микробиологии и вирусологии АН КазССР. – Алма-Ата: Наука . – 1984 . – 268 с. : ил. –Библиогр.: с.233-266.
78. Имади Т.Х. Йод в некоторых почвах Русской равнины и Крыма. Автореферат диссертации. –1966. –МГУ. – 24 с.
79. Каббата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Каббата-Пендиас, Х. Пендиас // М., 1989. – 429 с.
80. Кальницкий Б.Д., Минеральные вещества в кормлении животных. / Б.Д. Кальницкий // Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние. – 1985. – 207 с.
81. Карчевский, А.Н. Взаимосвязь экологических факторов и йоддефицита у детей промышленных центров Байкальского региона / А.Н. Карчевский, Н.И. Маторова, А.В. Прусакова, Н.В. Ефимова, О.А. Рычагова, Л.Г.Лисецкая, О.М. Журба // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2004. –№ 2. – Т.2.
82. Каррер, П. Курс органической химии / П Л. Каррер // Госхимиздат . – 1960. – 1216 с.

83. Кашин, В.К. Влияние форм и доз иодистых соединений на продуктивность и накопление йода растениями овса. / В.К. Кашин // Агрохимия. – № 8. – 1984. – С. 101-106.
84. Кашин, В.К. Биогеохимия, фитофизиология и агрохимия йода /В.К. Кашин // Л.: Наука . – 1987. – 260 с.
85. Кашин, В.К. Йод в объектах окружающей среды Забайкалья и эффективность обогащения им растений / В.К. Кашин // Химия устойчивого развития. – 2008. – Т. 16. –№ 2. – С. 173-182.
86. Кашин, В.К.Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье. / В.К. Кашин., Л.Л. Убугунов // Агрохимия . – 2012 . – № 4 . – С. 68-76.
87. Ковальский, В.В. Геохимическая среда и жизнь. / В.В. Ковальский // М.:Наука . – 1982. – 78 с.
88. Ковальский, В.В. Биологическая роль йода. / В.В. Ковальский // М.: Колос. – 1972. – С. 3-32.
89. Ковальский, В.В. Геохимическая экология./ В.В. Ковальский //М.: Наука. – 1974. – 280 с.
90. Ковалевский, А.Л. О физиологических барьерах поглощения химических элементов растениями. / А.Л. Ковалевский. // Докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ . – 1971. – С. 134-144.
91. Коданев, И.М. Агротехника и качество зерна. /И.М Коданев // М.; 1970. –231 с.
92. Кожевникова, Н.М. .Влияние неодимсодержащих микроудобрений на нитрификационную способность каштановой почвы, урожай гороха и овощных культур. / Н.М.Кожевникова, Н.Л. Щибикова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2008. – № 2. – С. 96-100.
93. Колесников, С.И. Влияние загрязнения фтором, бором, селеном, мышьяком на биологические свойства чернозема обыкновенного. / С.И.

Колесников, А.А Попович, К.Ш. Казеев, В. Ф. Вальков // Почвоведение. – 2008. – № 4. – С. 448-453.

94. Конарбаева, Г.А. Бром и йод в почвах г. Новосибирска. / Г.А Конарбаева // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 62-67.

95. Конарбаева, Г.А. Галогены в почвах юга Западной Сибири. / Г.А Конарбаева // Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2004. – 200 с.

96. Конарбаева, Г.А. Поглотительная способности черноземов по отношению к брому и йоду. / Г.А Конарбаева // Агрохимия. – 2010. – № 10. – С. 44-51.

97. Конарбаева, Г.А. Влияние различных факторов на содержание йода в почвах Западной Сибири / Г.А Конарбаева, Б.А. Смоленцев Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования», (Петрозаводск-Москва, 13-18 августа 2012 г.) Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2012. – Кн.1. – 100 с.

98. Конарбаева, Г.А. К вопросу о целесообразности извлечения йода из почв нейтральным солевым раствором. / Г.А Конарбаева, Ю.В Ермолов // Агрохимия . – 2005. – № 4. – С. 67-72.

99. Конарбаева, Г.А. Фтор и йод в растениях. / Г.А Конарбаева // Агрохимия. – 2006. – № 10. – С . 85-93.

100. Конарбаева Г.А. Валовое содержание и распределение йода в профиле некоторых почв Западной Сибири. / Г.А Конарбаева // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С . 66-73.

101. Конарбаева, Г.А. Влияние физико-химических свойств почв заполярной территории Западной Сибири на содержание в них йода. / Г.А Конарбаева, Б.А. Смоленцев. // Агрохимия. – 2014. – № 2. – С. 50- 59.

102. Конарбаева, Г.А. Йод в гумусовом веществе почв юга Западной Сибири. / Г.А Конарбаева, В.В. Демин // Агрохимия . – 2011. – № 8. – С . 73-80.

103. Конарбаева, Г.А. Изменение содержания галогенов в системе почва-растение в условиях агроценозов. / Г.А Конарбаева, В.Н. Якименко // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2014. – № 3. – С. 23-35.

104. Конарбаева, Г.А Влияние физико-химических свойств буровоземов и литоземов Кузнецкого Алатау на распределение в них йода. / Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А.// Агрохимия. – 2016. – № 12. – С. 34-41.

105. Коломиец, Н.Д. Проблема дефицита йода, пути и результаты ее решения в республике Беларусь./ Н.Д. Коломиец, Т.В.Мохорт, Е.В. Федоренко, Е.Г. Мохорт, С.В. Петренко, И.И. Кедрова // Вопросы питания. 2014.–Т.83.–№ 3.–С.93.

106. Короткова, А.А. Технология обогащения молочных продуктов для детского питания биодоступными формами йода и селена. / А.А., Короткова, И.Ф. Горлов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2012. – № 5-6. – С. 40-43.

107. Коробова, Е.М. Распределения йода в почвах и луковой растительности геохимически контрастных ландшафтов в связи с оценкой йодного статуса Брянской области / Е.М. Коробова, В.Ю. Березкин, Л.И. Колмыкова, Н.В. Корсакова // Вестник Российского университета Дружбы Народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. Изд-во: Российский университет дружбы народов (Москва). – 2013. – № 4. – С . 60-67.

108. Коробова, Е.М. К вопросу о формах нахождения йода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах. / Е.М.Коробова, Б.Н. Рыженко, Е.В. Черкасова, Э.М Седых, Н.В. Корсакова, В.Н. Данилова, С.Д. Хушвахтова, В.Ю. Березкин // Геохимия. Изд-во: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН «Издательство «Наука» (Москва). – 2014. – № 6. – С. 554.

109. Корягин, Ю.В. Влияние применения биопрепаратов и микроэлементов на посевные качества семян яровой пшеницы. / Ю.В. Корягин // Достижения науки и техники АПК. 2014. – № 10. – С. 29-30.

110. Котенко, К.В. Сравнительный анализ радионуклидного состава выпадений в ближней и дальней зонах после аварии на ЧАЭС и ближней зоне после аварии на АЭС «Фукусима-1. / К.В. Котенко, С.М.Шинкарев, Ю.В. Абрамов, Е.О. Грановская, В.Н. Яценко, Ю.И. Гаврилин, У.Я. Маргулис, О.С. Гарецкая, И. Тетсуджиз, Х. Масахару // Медицина труда и промышленная экология. Изд-во: НИИ медицины труда (Москва). – 2012. – № 10. – С. 1-5.

111. Кубасова, Е.Д.Современные представления о роли факторов внешней среды и дисбаланса биоэлементов в формировании эндемического зоба. / Е.Д. Кубасова, Р.В. Кубасов // Успехи современной биологии. – 2009. – Т. 129. – № 2. – С. 181-190.

112. Кузнецова, О.В.Анализ содержания йода в почве, воде и некоторых растительных объектах (фасоли обыкновенной)./ О.В.Кузнецова, В.С Лапин, Г.Г.Поткина // Сборник научных трудов «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее», 2006 г. URL: <http://e-lib.gasu.ru/konf/biodiversity/2006/50/pdf> (дата обращения 15.08.2018)

113. Лакин, Г.Ф. Биометрия ./ Г.Ф. Лакин // Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высшая школа. – 1990. –352 с.

114. Лазарев, В.И. Влияние кальцийсодержащих соединений на свойства чернозема типичного. / В.И. Лазарев, Н.Н. Трутаева // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2007. – № 5. – С. 51-53.

115. Лебедовский, И. А.. Влияние микроэлементов на продуктивность и качество озимой пшеницы, возделываемой на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья. / И. А. Лебедовский, И. В.Шабанова, Е. А. Яковлева // Научный журнал КубГАУ. – №82(08). –2012. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/44.pdf>. (дата обращения 15.08.2018).

116. Лейкин, Ю.Л. Основы экологического нормирования: Учебник (Ю.А. Лейкин. – М.: Форум: Инфра - М., 2014. – 368 с. – (Высшее образование).

117. Лифляндский, В.Г. Витамины и минералы от А до Я. / В.Г. Лифляндский// Издательский Дом Нева. – Москва, Петербург – 2006.
118. Магомедов, Л.А., Йод в атмосферных осадках Дагестана: I Всес. конф. по пробл. микроэлементов в биологии. Тез. докл. / Магомедов Л.А., Салманов А.Б., . Кишинев: Штиинца. - 1966. - С.38 - 39.
119. Мальгин, М.А. Химические элементы в системе почва-растение. / М.А. Мальгин / Наука. – Новосибирск – 1982. – С. 54-73.
120. Мальгин, М.А. Проявление йодной недостаточности на Алтае. / М.А. Мальгин // Горно-Алтайск. – 1988. – 55 с.
121. Мальгин, М.А. Дефицит йода в пищевых цепях Горного Алтая и его последствия. / М.А. Мальгин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. - № 9 . – С. 555 – 566.
122. Маладаев, А.А.. Влияние лантана на микробиологическую активность серой лесной почвы и продуктивность кукурузы. / А.А. Маладаев, И.Б. Чимитдоржиева, Н.Е. Абашеева // Агрохимия. – 2010. –№ 6. – С. 13-17.
123. Манукало, С.А. Йодная недостаточность в животноводстве. / С.А. Манукало, А.Х. Шантыз // Ветеринария Кубани. – 2010. – № 5. – С. 7-8.
124. Минеев, В.Г. Определение суммарной токсичности почвы, корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений. Методика и результаты. / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе, Л.П. Воронина, В.Коваленко // Вестник с.-х. науки. – 1991. – С. 63 –71 .
125. Министерство здравоохранения СССР «Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах для различных групп населения». – 1991.
126. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия./ Е.Н. Мишустин // М.: Наука. –1972. – 344 с.
127. Мишустин, Е.Н. Микробиология. / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев //Москва: Агропромиздат. – 1987. – 368 с.
128. Мищенко, Л.Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование .Л.Н. Мищенко // Омск. – 1991. – 162 с.

129. Мищенко, Л.Н. Почвы Западной Сибири: учеб. пособие. / Л.Н. Мищенко, А.Л. Мельников // Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ. – 2007. – 248 с.
130. ММУ 31-07/04 «Томьянанлит». Методика выполнения измерений массовых концентраций общего йода, йодид-ионов и йодат-ионов в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически активных добавках.
131. МУ МСХ РФ (ЦИНАО)- М., 1992 РД 52.18.191-89, М., Роскомгидромет СССР, 1990 гт (определение тм)
132. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. / В.Д. Муха // Сб. науч. трудов Харьковского СХИ. – Харьков. – 1980. – Т. 273. – С. 13-16.
133. Национальный атлас почв Российской Федерации. О.В. Чернова. Лугово-черноземная почва. – Москва. – 2011. – С. 144 -146.
134. Национальный доклад. Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России. Пути решения проблемы. // Минздравсоцразвития РФ, Российская Академия медицинских наук, ГУ Эндокринологический научный центр РАМН Центр по йоддефицитным заболеваниям МЗ и СР РФ, ГУ НИИ питания РАМН, Центр научно-технического сотрудничества предприятий солевой промышленности. – М. – 2006.
135. Нестеренко, О. Накопление и взаимное влияние микроэлементов в корнях топинамбура. / О. Нестеренко // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 2. – С. 104-107.
136. Нестеренко, О. Накопление и взаимное влияние микроэлементов в корнеплодах петрушки./О. Нестеренко // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 10. – С. 77-80.
137. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожаев). / А.А. Ничипорович// М.. – 1961. – 135 с.

138. Олива, Т.В. Тепличное производство йоднакопительного листового салата сорта Лолло Росса. / Т.В. Олива, С.И. Панин, Е.Ю. Колесниченко, Е.А. Кузьмина, Е.А. Ярцева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 6/0. – С. 635.
139. Осокина, И.В. Эпидемиология йоддефицитных заболеваний в республике Тыва по результатам скрининга врожденного гипотиреоза. / И.В. Осокина, В.Т. Манчук // Проблемы эндокринологии. – 2000. – Т. 46. – №1. – С. 7-9.
140. Осокина, И.В. HLA-маркеры сахарного диабета 1 типа в тувинской популяции. / И.В. Осокина, М.Н. Болдырева, Р.К. Ширшина, И.А. Гуськова, В. Богатова, Е.Г. Грудакова, Д.О. Кабдулова, Л.П. Алексеев // Сахарный диабет. – 2001. – № 4. – С. 8-9.
141. Осокина, И.В. Йоддефицитные заболевания в Республике Хакасия. / И.В. Осокина, В.Т. Манчук // Проблемы эндокринологии. – 2003. – Т. 49. – №3. – С. 22-23.
142. Осокина, И.В. Эпидемиология йоддефицитных заболеваний в Сибири. / И.В. Осокина / Тихоокеанский медицинский журнал. – 2000. – № 3. – С. 68-69.
143. Осокина, И.В. Йодный дефицит в Центральной Сибири. Исследования, профилактика, мониторинг. / И.В. Осокина // Saarbruken.: Palmarium academic publishing. – 2013. – 225с.
144. Панькив, В.И. Проблема сочетанного дефицита йода и селена в развитии заболеваний щитовидной железы. / В.И. Панькив // Международный эндокринологический журнал, ISSN 2224-0721 № 5(61). – 2014. – С. 75-80.
145. Пашаев, П.А. Влияние ионов йода на электрические свойства бимолекулярных фосфолипидных мембран. / П.А. Пашаев, Л.М. Цофина // Биофизика. – 1968. – Т.13. – № 2. – С. 360-362.
146. Петербургский, А.В. Практикум по агрономической химии. / А.В. Петербургский. // М: Колос. – 1968. – 496 с.

147. Перфильева, А.И. Влияние монойодацетата натрия и тепловой обработки на продуктивность картофеля в вегетационных и полевых опытах./ А.И. Перфильева, Е.В. Рымарева, Е.Г. Рихванов // Агрохимия. – 2013. – № 6. – С. 40-46.
148. Пигарева, Н.Н. Влияние лантаносодержащих микроудобрений на нитрификационную способность почв криолитзоны Забайкалья. / Н.Н. Пигарева, Н.М. Кожевникова // Агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 11-17.
149. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований : учеб. пос. для студентов высших учебных заведений. / А.С. Пискунов // М.: Коллес. – 2004. – 312 с.
150. Покатилов, Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. / Ю.Г Покатилов // Новосибирск. – 1993. – 165 с.
151. Полевые культуры Западной Сибири: учеб. пос. // под ред. Н.М. Крючкова. – Омск. – 2002. – 459 с.
152. Попов, А.И. Исследование химических элементов в листьях голубики обыкновенной в процессе отногенеза. / А.И. Попов, Ю.Н. Дементьев // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С..91-96.
153. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14 июня 2013 г. № 31 г. Москва «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения» / Российская газета – Федеральный выпуск –№ 6184 (208). –2013 г.
154. Потатуева, Ю.А.Поступление йода в растениях при внесении различных его доз на основных типах почвы. // Минеральные удобрения и серная кислота. / Ю.А. Потатуева, Р.И . Прокофьева // М. : 1970. – Вып. 217. – С. 108-123.
155. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ Под ред. Академика РАСХН В.Г.Минеева. – М.: Изд-во МГУ. – 2001. – 689 с.

156. Проскурякова, Г.Ф. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микролицества йода в биологических объектах. / Г.Ф. Проскурякова, О.Н. Никитина // Агрохимия. – 1976. – № 7. – С. 140-143.
157. Прянишников, Д.Н. Избранные труды /Под ред. А.П. Виноградова // Из-во «Наука». – 1999 г. –598 с.
158. Пузанов, А.В. Приоритетные микроэлементы (I, Se, Mn, Co, Cu, Zn, Hg) в наземных экосистемах Тувинской горной области: Автореф. дис.... д-ра биол. наук / А.В. Пузанов // Новосибирск. – 2005. – 43 с.
159. Разумов, В.И. Категориально-системная методология в подготовке ученых: учеб. пособие / В. И. Разумов // Омск : Изд-во ОмГУ. – 2004. – 277 с.
160. Ранделин, А. В. Влияние видовой и сортовой принадлежности семян на процесс биоконверсии йода./ А. В. Ранделин, Е. Ю. Злобина, Н. И. Мосолова, В. А Парамонов // Аграрный вестник Урала. –№ 9 (115). – 2013. – С. 12-14.
161. Розен, Б.Я. Геохимия брома и йода./ Б.Я. Розен // М.:Недра. – 1970. –142 с.
162. Равашдех, Х. Влияние внекорневых обработок йодом и селеном на урожайность и качество ягод смородины и крыжовника. Автореферат дис... канд. с/х. наук: 06.01.07. / Хуссам Равашдех // М., 2005. – 104 с.
163. Рейнгард, Я.Р. Деградация почв экосистем юга Западной Сибири. Монография / Я.Р Рейнгард // М:-во сельского хозяйства РФ, Федеральное гос. Образовательное учреждение высш. проф. образования «Омский аграрный университет». Лодзь. – 2009. – 71 с.
164. Русина, Т.В. Атмосферный и почвенный пути поступления йода в растения. Автореф. дис....канд. биол. наук. / Т.В. Русина // М., 1985. – 24 с.
165. Савченков, М.Ф. Актуальность проблемы дефицита йода для населения Сибири. / М.Ф. Савченков, В.Г. Селятицкая // Йод и здоровье населения Сибири. Новосибирск: Наука. – 2002. –С. 9-15.

166. Сайфиддина, Д. Взаимодействие макро- и микроэлементов в растениях. Антагонизм и синергизм. / Д., Сайфиддина, С. Ботирова, А. Расулов, Ш. Абдуллаев // В сборнике: Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества материалы XVII международной научно-практической конференции. Научно-информационный издательский центр "Институт стратегических исследований". – 2015. – С. 8-12.

167. Салихов, Ш.К.Эндемический зоб в Дагестане как результат дефицита йода и слелена в объектах ее биосфера. / Ш.К. Салихов, М.А. Яхияев, С.Г. Луганова, М.Г. Атаев, З.В. Курбанова, К.А. Алиметова // Вестник ТГУ. – 2014. – Т.19. – Вып.5. – С.1729-1731.

168. Селявкин, С.Н. Оценка биологического состояния почвы по микробиологической и ферментативной активности / С.Н. Селявкин, О.Б. Мараева, А.Л. Лукин. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2(45). – С. 36-39.

169. Синдиева, А.В. Влияние селена на численность микроорганизмов и ферментативную активность лугово-черноземной почвы. / А.В. Синдиева, О.Ф. Хамова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (3). – С. 22-26.

170. Синдиева, А.В. Влияние микроэлементов (Cd, Ni, Zn, Cu, Pb) на химический состав растений в условиях южной лесостепи Омской области. / А.В. Синдиева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 9 (83). - С. 35-39.

171. Синдиева, А.В.Взаимодействие никеля с микроэлементами в растениях овощных и кормовых культур. / А.В. Синдиева, Е.А Скудаева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (13). – С. 31-36.

172. Синдиева, А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное. /А.В. Синдиева // Диссертация на соискание

ученой степени доктора биологических наук. ФГОУ ВПО "Тюменская государственная сельскохозяйственная академия". – Тюмень. – 2012.

173. Синдирева А.В.Микробиологическая активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы в условиях применения йода. / Синдирева А.В., Степанова О.В., Хамова О.Ф. // Вестник Омского государственного аграрного университета . – 2015. – № 3 (19). – С. 25-31.

174. Синдирева, А.В. Биохимические особенности содержания и распределения йода в почвах Иртышского увала Омской области. / А.В. Синдирева, В.В. Водолазский, И.Б. Гилязова, Е.А. Шишинина / В сб. материалов: Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития. Материалы научно-практической конференции, посвященной 20-летнему юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии. Омск. –2016. – С. 73-76.

175. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ГНУ СибНИИСХ/Отв. ред Р.И. Рутц. –Омск: Вариант-Омск, 2011. – 116 с.)

176. Спицына, С.Ф. Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения. / С.Ф Спицына, А.А. Томаровский, Г.В.Оствальд // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 29-32.

177. Строев, И.Йод и интеллектуальный потенциал России. / И. Строев, Л. П. Чурилов // Медицина XXI век . – № {1}.– 2005. – С. 14-20.

178. Степанова, О.В. Оценка токсичности почвы методом биотестирования при внесении разных доз йода / Степанова О.В., Рослякова О.В. // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. Материалы Международной школы-семинара молодых исследователей, г. Тюмень, 13-16 мая 2014 г. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. – 2014. – С. 276-278.

179. Сусликов, В.Л. Геохимическая экология болезней. Атомовиты. / В.Л. Сусликов // Атомовиты. Т.2.: М: Гелиос АОВ. – 2000. – 672 с.

180. Сысо, А.И..Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири. / А.И. Сысо, В.Б. Ильин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 33-36.

181. Сысо, А.И. Российские нормативы оценки качества почв и кормов: проблемы их использования. / А.И. Сысо // В сб.: Экологический мониторинг среды. Материалы международной школы молодых ученых. Новосибирский государственный аграрный университет. – 2016. – С. 153-168.

182. Сысо, А.И. Актуальные вопросы гигиенической и биогеохимической оценки качества почв и растительной продукции. / А.И. Сысо // В сборнике: Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах материалы II Международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В. Б. Ильина. – 2016. – С. 132-142.

183. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии 4-е изд., перераб и доп. /Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева // – М.: Колос. – 1993. – 175 с.

184. Нечаев, А.П. Технологии пищевых производств / А.П. Нечаев, И.С. Шуб, О.М., Аношина и др. Под ред. А. П. Нечаева // М.: КолосС – 2005. – 768 с.

185. Турчанинов, Д.В. Эффективны ли биологически активные добавки - нутрицевтики? / Д.В. Турчанинов, Е.А. Вильмс // Вести МАНЭБ в Омской области. – 2013. – № 1(1). – С. 18-20.

186. Титлянова, А.А. Системное описание круговорота веществ. Основные понятия в количественные параметры / А.А. Титлянова // Экология. – 1984. – № 1. – С. 58-59.

187. Тутельян, В.А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека. / В.А. Тутельян, В.Б. Спиричев, Б.П. Суханов, В.А. Кудашева // М.: Колос. – 2002. – 424 с.

188. Фридланд, В.М. Классификация и диагностика почв СССР. / В.М. Фридланд // М., 1977. – 423 с

189. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. / Ф.Х. Хазиев // М.: Наука, 1982. – 204 с.

190. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. / Ф.Х. Хазиев // М., 1992.-143с.
191. Харитонова, С.В. Эффективность предпосевной обработки семян яровой пшеницы регуляторами роста и микроэлементами в условиях степной зоны Южного Урала. / С.В. Харитонова, В.Б.Щукин, О.Г. Павлова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 4. – № 24-1. – С. 7-9.
192. Ходыревская, Н.Н. Экологический мониторинг йода в биогеоценозах сенокосов Центрального Черноземья / Ходыревская Наталья Николаевна // Автореф. дис..... канд. с/х. Курск. 0 03.00.16. – 129 с.
193. Шевченко, С.А. Динамика общего белка и его фракций в сыворотке крови сельскохозяйственной птицы под влиянием препаратов йода и селена. / С.А.Шевченко, А.И. Шевченко, О.А. Багно // Вестник НГАУ. – 1(42). – 2017. – С. 167-174.
194. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия./ А.Х. Шеуджен // Майкоп: ГУРИПП «Адыгея». – 2003. –1028 с.
195. Шеуджен, А. Х. Агроэкологическая эффективность применения микроэлементов на посевах озимой пшеницы. / А. Х. Шеуджен, И. А. Булдыкова, Р. В Штуц // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №96(02). -- URL : <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/36.pdf> (дата обращения 15.08.2018).
196. Шишинина, Е.А. Анализ содержания йода в разных типах почв Омской области/ Е.А. Шишинина// Молодёжь. Химическая наука и образование: материалы VIII межвузовской научно-практической конференции с международным участием .Омск: ООО «ИТЦ», 2017. – С. 94-96.
197. Шишинина, Е. А. Анализ измерения активности каталазы овса под влиянием йодида калия. / Е.А. Шишинина // Молодёжь. Химическая наука и образование. Материалы VII научно-практической конференции с международным участием / Омск: ООО «ИТЦ», 2016. 100 с. – С.51-52
198. Шишинина, Е.А. Применение йодида калия как стимулятора роста растений в условиях Западной Сибири. / Е.А. Шишинина, А.А. Юнусова

//Человек и природа: сборник материалов студентов научно-практической конференции (Омск, 21 апреля, 2016 г). – Омск: изд-во ОмГПУ, 2016. – С. 131-133.

199. Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник.// – Л.: «Наука», 1974. – 324 с.

200. Щукин, В.Б.Хлебопекарные свойства зерна озимой пшеницы при поздних подкормках микроэлементами и азотом в условиях степной зоны Южного Урала. / В.Б. Щукин, А.А. Громов, Н.В. Щукина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 1. – № 22-2. – С. 33-36.

201. Щукин, В.Б.Влияние некорневых подкормок микроэлементами на фотосинтетические показатели посева озимой пшеницы./ В.Б. Щукин, А.А. Громов, Н.В. Щукина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – Т. 4. – № 12-1. –С. 61-65.

202. Щукин, В.Б.Влияние некорневых подкормок микроэлементами на формирование продуктивного стеблестоя растениями озимой пшеницы. / В.Б. Щукин, А.А. Громов, Н.В. Щукина. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – Т. 3. – № 11-1. – С. 10-12.

203. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований / Ф. А. Юдин. – М. : Колос, 1980. – 363 с.

204. Яковлева, Е.А. Об использовании йодных и борных удобрений на посевах риса. / Е.А. Яковлева, Т.Н. Бондарева, А.Х. Шеуджен // Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. В сб.: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. –2016. – С. 62-64.

205. Яковлева, Е.А. Урожайность и качество зерна риса при использовании йодного и борного удобрений. / Е.А. Яковлева, Т.Н. Бондарева, А.Х. Шеуджен // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 1 (14). – С. 45-48.

206. Янишевская, О.Л.Влияние различных способов обогащения йодом на урожай и качество листового салата. / О.Л. Янишевская, Ю.В Кумицкая // Гавриш. – 2003. – № 1 – . С. 16-17.

207. Akiyama, R. Studies of adsorption of in soils. / R. Akiyama., W. Hidenor, M. Satoshi. // Transact. 14th Int. Congr. Soil. Sci, Aug., 12-18. – 1990. – V.2. – P. 287-288.
208. Alsanosy ,A. Current iodine nutrition status and progress toward elimination of iodine deficiency disorders in Jazan. / A. Alsanosy , G. Mutwakel, K.Elsawi, M.Salih, Z. Shaaban, B. Ahmed // Saudi Arabia .BMC Public Health 2012. - 12:1006 URL: http://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/1006_2012) (дата обращения 15.08. 2018).
209. Azizi F, Mehran L: Experiences in the prevention, control and elimination of iodine deficiency disorders: a regional perspective. East Mediterr Health J 2004, 10(6):761–770.
210. Beyer, L. The chemical composition of soil organic matter in classical humus compound fractions and in bulk samples a review/ L. Beyer // Z. Pflanzenernährung Bodenkunde. – 1996. – Bd. 159. – № 6. - S.527-539.
211. Caffagni, A. Iodine uptake and distribution in horticultural and fruit tree species. / A. Caffagni, N.Pecchioni, P.Meriggi, V.Bussi, E. Sabatini, N. Acciari, T.Ciriaci, L.Pulcini, N. Felicion, M. Beretta, J.Milc // Italian Journal of Agronomi/ - 2012. – Volume 7:e32. – P. 229-236.
212. Caffagni A. Iodine Fortification Plant Screening Process and Accumulation in Tomato Fruits and Potato Tubers / A. Caffagni, L. Arru, P.Meriggi, J. Milc // Taylor & Francis, 2011. – 42. – P. 706 – 718
213. Hetzel B.S., Pandav C.S.S.O.S. for a billion. The conquest of Iodine Deficiency Disorders. 2nd Ed. -Dehli: Oxford University Press publ., 1996. –466 p.
214. Chun-Lai Hong. Transfer of iodine from soil to vegetables by applying exogenous iodine / Chun-Lai Hong, Huan-Xin Weng, Ya-Chao Qin and others // Agronomy for Sustainable Development. – 2008. – V. 28. – p. 575–583.
215. Charoensiriwatana, W. Consuming iodine enriched eggs to solve the iodine deficiency endemic for remote areas in Thailand. / W. Charoensiriwatana, P. Srijantr, P.Teeyapant, J.Wongvilairattana // Charoensiriwatana et al. Nutrition

Journal 2010, 9:68 URL: <http://www.nutritionj.com/content/9/1/68> (дата обращения 15.08. 2018).

216. Gerasimov G. IDD elimination in Russia: challenges and solutions. IDD Newsletter. – 2008. – Vol. 28. – P. 1-6.

217. Delange,F. Elimination of Iodine Deficiency Disorders in Central and Eastern Europe, the Commonwealth of Independent States, and the Baltic States./ F. Delange, A.Robertson, E. McLoughney, G.Gerasimov // Geneva: WHO/Euro/NUT/98.1. 1998. – P. 1-168.

218. De, S.K. Adsorption of iodide by soil at different levels of pH / S.K. De, A. Sharafat, N.S. Rao // Sci and Cult. – 1972. – Vol. 38. – N 9. – P. 416 – 418 c.

219. Fordyce,F.M. Database of the Iodine Content to Food and Diets Populated with Data from Published Literature. / F.M. Fordyce// Commissioned Report CR/03/84N.- Nottingham: British Geological Survey. – 2003. (мексика)

220. Hollowell, G. The prevalence of iodine deficiency in women of reproductive age in the United States of America. / G. Hollowell, E. Haddow // Public Health Nutrition: 10(12A). – 2010. – 1532–1539.

221. Johnson, C. C. Environmental controls in Iodine Deficiency Disorders Project Summary Report. / C. C. Johnson, F. M. Fordyce, A. G Stewart // British Geological survey Commissioned Report CR/03/058N. BGS, Keyworth, Nottingham, UK. – 2003. – P.1-17.

222. Narwal R.P., Pollutant elements in soil-plant-animal system in India and future thrust areas./ R.P. Narwal, R.R. Dahiya, R.S. Malik // Eur. Chem. Bull. – 2013. – 2(1). – S. 38-45.

223. Kiferle, C. Tomato fruits: a good target for iodine biofortification / C. Kiferle, S.Gonzali, H.Holwerda, R.Ibaseta // Frontiers in Plant Science. – 2013. – Vol. 4. – Article 205. – P. 1-10.

224. Konrade, I., Medicina 50 (2014) 124 – 129. / I. Konrade, L. Neimane, M. Makrecka, I. Strele, E. Liepinsh, A.Lejnieks, P.Vevere, U. Gruntmanis, V. Pīrāgs, M. Dambrova // Journal homepage: URL : <http://www.elsevier.com/locate/> (дата обращения 15.08. 2018).

225. Lawson,P.G. Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. / P.G. Lawson, D. Daum, R.Czaderna, H. Meuser, J. W. Härtling // *Front.PlantSci.* - 6:450.doi:10.3389/fpls. – 2015. – 00450
226. Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoepler M. (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. General Aspects. – 2004. –Vol.1 – P. 343-367.
227. Oktay, D. Sources of iodine and iodine 129 in rivers. / D. Oktay, H. Santschi. // *Water resources research*. – 2002. – Vol. 38. – No. 8. – P. 24 (1-10).
228. Osokina, I.V. Monitoring of iodine deficiency in Central Siberia according to the results of neonatal TSH screening. // I.V. Osokina, D.E. Osokina // *Hormone Research in Paediatrics*. – 2013. –T. 80. –S1.P. 458.
229. Prepared for APHDPC December 2007. The prevalence and severity of iodine deficiency in Australia.
230. SCF. Opinion of the Scientific Committee of Food on Tolerable Upper Intake Level Of Iodine. // European Commission. Directorate C. – 2002.
231. Shaw, T.I. The mechanism of iodine accumulation by the brown sea weed *Laminaria digitata*. 1. The uptake of ^{131}I . / T.I. Shaw // *Proc.Roy. – Soc.* 1959. – Vol.150. – N4. – P.35-371.
232. Shaw T.I. The mechanism of iodine accumulation by the brown sea weed *Laminaria digitata*.2. Respiration and iodine uptake / T.I. Shaw // *Proc.Roy. Soc.* 1960. – Vol.152. – N1. – P.109-117.
233. Schomburg, L. On the importance of selenium and iodine metabolism for thyroid hormone biosynthesis and human health. / L. Schomburg, J. Köhrle // *Mol.Nutr. Food Res.* – 2008. –V. 52(11). – P. 235-246.
234. Schumm-Draeger, P.M. Jod und thyreoidale Autoimmunitat./ P.M. Schumm-Draeger // *Z. Arzt. Fortbild.Qualitatssich.* – 2004. – V. 98. – № 5. – P. 73-76.
235. Smolen,S. Preliminary evaluation of the influence of soil fertilization and foliar nutrition with iodine on the efficiency of iodine biofortification and chemical composition of lettuce. / S. Smolen, R.Rozek, I. Ledwozyw-Smolen, P.Strzelenski // *J. Elem.* 16,613–622.doi:10.5601/jelem.2011.16.4.10.

236. Smolen, S. Influence of iodine form and application method on the effectiveness of iodine biofortification, nitrogen metabolism as well as the content of mineral nutrients and heavy metals in spinach plants . // S. Smolen, W. Sady // (*Spinacia oleracea L.*). *Sci. Hortic.* 143, 176–183. doi: 10.1016/j.scienta.2012.06.006.

237. Smolen, S. Preliminary evaluation of the influence of soil fertilization and foliar nutrition with iodine on the efficiency of iodine biofortification and chemical composition of lettuce. / S. Smolen, S. Rozek, I. Ledwozyw-Smolen, P. Strzetelski // *Journal of Elementology* –2011.–Vol. 16(1). –P.103-114.

238. Speeckaert, M. Value and pitfalls in iodine fortification and supplementation in the 21st century. / M. Speeckaert, R. Speeckaert, K. Wierckx, R. Delanghe // *British Journal of Nutrition.* – 2011. – 106 . – 964–973.

239. WHO. Guideline: fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders. Geneva: World Health Organization; 2014.

240. Zimmermann, M. Iodine. American Society for Nutrition. / M. Zimmermann, P. Trumbo // *Adv. Nutr.* 4: 262–264. – 2013; doi:10.3945/an.113.003665.

241. Zimmermann, M. Short communication. Low dose oral iodized oil for control of iodine deficiency in children. / M. Zimmermann, P. Adou, T. Torresani, C. Zeder, R. Hurrell // *British Journal of Nutrition.* – 2000. – 84. – 139 – 141.

242. Zimmermann, M. Symposium on ‘Geographical and geological influences on nutrition’Iodine deficiency in industrialised countries. /M. Zimmermann // *Proceedings of the Nutrition Society.* – 2010 . – 69. – 133–143.

243. WHO. Trace elements in human nutrition and health. // World Health Organization. – Geneva. – 1996.

244. Weng, H. X., Weng, J. K., Yan, A. L., Hong, C. L., Yong, W. B., and Qin, Y. C. (2008). Increment of iodine content in vegetable plants by applying iodized fertilizer and the residual characteristics of iodine in soil. *Biol. Trace Elem. Res.* 123, 218–228. doi: 10.1007/s12011-008-8094-y

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Средняя температура воздуха и суммы осадков по месяцам

(2013-2015 гг.)

Месяц	Температура, °С				Осадки, мм			
	2013	2014	2015	среднемноголетний показатель	2013	2014	2015	среднемноголетний показатель
Май	10,2	12,7	13,9	13,5	15	21,3	44	40,6
Июнь	16,6	18,2	22,2	20,5	7,6	14,6	59	56,2
Июль	19,0	16,5	18,5	21,0	33	57,3	53,7	68,4
Август	17,1	19,2	15,4	18,5	20	43,1	68,8	60,1

Приложение 2

Результаты микробиологического анализа почвенных образцов с разными дозами йода, 2013 г.

Лабораторный номер образца	Вариант	Численность микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы, КОЕ								Активность ферментов		
		сапрофиты на МПА, млн	потребляющий минеральный азот на КАА, млн	олигонитрофилы, млн	фосфатмобилизу- ющие, млн	целлюлозораспо- лющие, тыс.	нитрификаторы, тыс	грибы, тыс	общее количество микроорганизмов, млн			
1	контроль	26,0	20,8	36,6	39,4	124,3	1,37	36,0	123,0	10,5	0,93	0,75
2	1 кг/га	32,7	26,5	72,4	99,7	134,3	1,55	45,1	231,5	11,1	0,5	0,90
3	3кг/га	32,0	26,5	50,3	65,7	116,3	2,44	42,0	174,5	11,3	0,38	0,9
4	6кг/га	33,5	22,2	83,6	91,3	45,0	1,47	28,0	276,6	7,9	0,15	0,65
5	9кг/га	36,0	21,3	83,0	119,6	113,0	2,09	42,5	260,0	8,8	0,37	0,95
6	12кг/га	37,8	27,5	86,5	150,0	78,8	1,34	44,0	302,0	8,5	0,23	0,87
7	15/га	33,0	29,0	127,3	111,7	83,5	2,72	43,4	301,1	9,0	0,32	0,83
8	18г/га	37,0	41,1	186,2	128,7	34,5	2,3	44,8	394,3	7,1	0,19	0,77
9	21га	54,4	49,2	260,0	325,2	23,8	1,23	32,5	688,6	6,5	0,13	0,83
10	24га	27,0	40,1	84,3	170,8	37,1	1,56	37,8	322,0	7,4	0,21	0,88
11	27г/га	36,0	35,0	151,5	182,8	16,4	1,62	25,0	405,3	6,7	0,14	0,68

Результаты микробиологического анализа почвенных образцов с разными дозами йода, 2014 г.

Лабораторный номер образца	Вариант	Численность микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы, КОЕ								Активность ферментов	
		сапрофиты на МПА, млн	потребляющий минеральный азот на КАА,	олигонитрофильы, млн	фосфатмобилизующие, млн	целлюлозолагающие, тыс.	нитрификаторы тыс	грибы, тыс	общее количество микроорганизмов, млн	инвертаза, мг инвертн.	уреаза, мг $\text{NH}_3/\text{г}$
1	контроль	33,5	53,8	95,7	127,9	47,9	7,0	37,1	310,1	14,7	0,74
2	1 кг/га	39,0	45,4	97,5	189,3	15,4	7,6	86,9	372,2	14,2	0,62
3	3кг/га	38,7	29,3	107,7	102,1	11,3	7,5	75,6	278,8	15,0	0,66
4	6кг/га	39,1	31,4	65,6	77,0	21,1	6,6	95,6	214,1	13,8	0,66
5	9кг/га	34,1	33,5	59,3	103,8	3,5	7,5	64,6	231,7	12,4	0,41
6	12кг/га	39,4	23,6	103,6	210,9	4,4	6,6	72,5	378,5	12,8	0,51
7	15кг/га	44,3	54,3	152,5	254,4	2,6	5,7	88,3	506,5	11,5	0,39
8	18кг/га	44,0	36,5	164,6	132,6	1,6	5,6	170,2	379,7	11,3	0,37
9	21кг/га	100,8	60,0	390,2	370,0	2,7	8,7	67,2	921,0	11,0	0,25
10	24кг/га	92,1	62,8	346,1	359,0	3,2	6,3	78,1	861,1	12,4	0,24
11	27кг/га	70,8	52,6	352,8	293,1	4,5	7,2	75,8	769,2	11,5	0,35

Результаты микробиологического анализа почвенных образцов с разными дозами йода, 2015г.

Лабораторный номер образца	Вариант	Численность микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы, КОЕ							Активность ферментов		
		сапрофиты на МПА, млн	потребляющие минералы	олигонитрофильы, млн	фосфатомобилизующие, млн	целлюлозорастворяющие, тыс.	нитрификаторы, тыс	грибы, тыс	общее количество микрооргани	инвертаза, мг инвертн.	уреаза, мг $\text{NH}_3/\text{г}$
1	контроль	28,2	25,0	50,6	52,6	97,8	1,05	25,3	157,4	8,8	0,42
2	1 кг/га	19,2	25,0	30,3	33,5	38,2	0,89	30,3	109,1	8,2	0,39
3	3кг/га	20,2	20,0	30,9	21,4	60,1	0,76	36,0	93,5	8,6	0,52
4	6кг/га	20,5	18,0	35,8	38,0	65,8	0,83	46,5	113,3	9,3	0,49
5	9кг/га	23,9	19,3	47,5	46,0	68,5	0,45	33,3	137,7	8,6	0,41
6	12кг/га	27,5	25,2	89,7	98,0	52,4	0,78	54,2	241,4	8,9	0,39
7	15/га	21,8	20,1	36,4	54,0	38,2	0,82	39,2	133,3	8,9	0,44
8	18г/га	18,8	21,0	40,6	32,7	73,8	0,91	44,6	114,1	8,7	0,47
9	21га	32,1	30,5	118,5	141,0	19,5	0,88	41,8	322,6	8,6	0,46
10	24га	25,8	21,5	58,0	80,0	30,6	0,99	34,6	186,3	9,1	0,49
11	27г/га	16,1	17,7	75,6	54,2	42,8	0,86	25,0	164,6	9,0	0,46

Приложение 5

Влияние йода на показатели роста семян редиса (2013 г.)

Вариант опыта	Средняя длина ростка, см	Средняя длина корня, см
Контроль по чистой воде	5,32±0,09	16,0±2,26
Контроль по почве	5,44±0,09	15,18±3,8
1 кг/га	4,9±0,49	14,05±2,3
3 кг/га	6,24±0,5	21,49±4,3
6 кг/га	4,34±0,38	15,19±4,2
9 кг/га	6,01±1,56	16,16±3,7
12 кг/га	6,48±1,32	17,09±2,0
15 кг/га	5,95±0,03	16,31±3,6
18 кг/га	5,95±1,16	15,94±2,3
21 кг/га	5,37±1,6	15,46±4,3
24 кг/га	5,28±1,0	12,23±2,9
27 кг/га	3,82±0,5	13,65±3,9

Приложение 6

Влияние йода на показатели роста семян редиса (2014 г.)

Вариант опыта	Средняя длина ростка, см	Средняя длина корня, см
Контроль по чистой воде	5,19±0,1	12,8±1,2
Контроль по почве	5,3±0,2	9,8±1,8
1 кг/га	4,2±0,5	10,7±2,3
3 кг/га	5,5±0,5	15,4±3,3
6 кг/га	3,8±0,4	9,3±3,1
9 кг/га	3,8±1,1	6,6±2,6
12 кг/га	4,6±1,2	14,2±2,0
15 кг/га	6,0±1,1	11,2±1,6
18 кг/га	4,3±1,1	9,8±2,3
21 кг/га	3,1±1,5	7,4±1,3
24 кг/га	2,4±1,9	5,3±1,9
27 кг/га	3,1±0,8	8,1±1,9

Приложение 7

Влияние йодсодержащих удобрений на массу растений пшеницы
(2013-2015 гг.)

Масса растений									
Вариант опыта	в фазу колошения			среднее за три года	в фазу полной спелости			среднее за три года	
	2013	2014	2015		2013	2014	2015		
Контроль	5,77± 0,42	5,8± 0,81	4,6± 1,31	5,29	3,11± 0,78	2,84± 1,05	2,80± 0,70	2,91	
Фон	5,56± 1,78	6,23± 1,55	4,11± 1,13	5,30	3,49± 1,11	2,83± 0,71	2,87± 0,81	3,06	
Фон+опрыскивание	0,005%	7,36± 1,82	6,05± 1,74	5,4± 1,45	6,27	3,29± 1,22	3,11± 0,69	3,54± 1,28	3,31
	0,01%	6,29± 0,73	5,88± 1,62	4,99± 1,07	5,72	3,33± 1,37	3,42± 0,84	3,56± 1,11	3,43
	0,02%	5,67± 1,61	6,61± 1,78	4,78± 1,08	5,68	4,63± 1,95	3,26± 0,76	3,83± 1,48	3,90
Фон+внесение	9 кг/га	6,66± 0,73	6,91± 1,38	5,09± 1,12	6,22	4,45± 0,91	2,81± 0,73	2,57± 1,11	3,27
	12 кг/га	5,34± 0,74	6,83± 1,33	5,35± 1,22	5,84	4,53± 0,81	2,91± 0,81	3,25± 0,97	3,56
	15 кг/га	6,07± 1,08	7,43± 1,76	5,26± 0,29	6,25	4,97± 0,67	3,32± 0,88	2,51± 0,73	3,60
HCP ₀₅		1,16	1,72	1,19	1,35	0,79	0,74	0,84	0,79

Приложение 8

Влияние йодсодержащих удобрений на массу колоса

(2013-2015 гг.)

Вариант опыта		Масса колоса							
		в фазу колошения			среднее за три года	в фазу полной спелости			среднее за три года
		2013	2014	2015		2013	2014	2015	
Контроль		0,95± 0,17	1,05± 0,21	1,01± 0,25	1,00	1,43± 0,33	1,21± 0,24	1,37± 0,31	1,33
Фон		0,82± 0,33	0,97± 0,39	1,03± 0,31	0,94	1,35± 0,45	1,56± 0,35	1,30± 0,39	1,40
Фон+внесение	0,005%	1,27± 0,220	0,96± 0,16	1,3± 0,2	1,17	1,45± 0,45	1,83± 0,36	1,32± 0,59	1,53
	0,01%	1,11± 0,20	0,96± 0,21	1,18± 0,24	1,08	1,49± 0,33	1,64± 0,48	1,7± 0,57	1,61
	0,02%	1,03± 0,29	1,03± 0,2	0,98± 0,45	1,01	2,02± 0,95	2,03± 0,71	1,87± 0,51	1,97
	9 кг/га	0,97± 0,25	0,94± 0,24	1,1± 0,28	1,00	1,64± 0,31	1,72± 0,43	1,11± 0,49	1,49
	12 кг/га	0,95± 0,13	1,08± 0,21	1,02± 0,19	1,01	1,83± 0,24	1,61± 0,50	1,18± 0,41	1,54
15 кг/га		1,06± 0,25	1,18± 0,21	1,08± 0,27	1,16	1,98± 0,37	1,56± 0,42	0,92± 0,31	1,48
HCP ₀₅		0,23	0,2	0,34		0,33	0,43	0,37	0,37

Приложение 9

Влияние йода на массу листьев пшеницы в среднем за три года (2013-2015 гг.)

Вариант опыта	Масса листьев в фазу колошения		Площадь листьев в фазу колошения	
	масса, г	изменения по сравнению с фоном, %	площадь, см ²	изменения по сравнению с фоном, %
Контроль	0,99		12,48	
Фон	0,89	--	13,8	--
Фон+опрыскивание	0,05%	1,08	+22 %	14,3
	0,01%	0,89	0	14,5
	0,02%	0,77	-13%	9,82
Фон+внесение	9 кг/га	1,08	+22%	11,3
	12 кг/га	0,92	+4%	14,02
	15 кг/га	0,95	+7%	10,05

Приложение 10

Влияние йода на высоту растений пшеницы (2013-2015 гг.)

Вариант опыта	Высота растений, см							
	в фазу колошения			Среднее	в фазу полной спелости			Среднее
	2013	2014	2015		2013	2014	2015	
Контроль	60,07	54,7	42,2	52,3	79,0	79,7	63,5	74,0
Фон	59,5	55,5	42,4	52,4	78,7	80,7	63,8	74,4
Фон+опрыскивание	0,005%	61,9	59,1	49,8	56,9	88,1	80,8	69,6
	0,01%	58,1	57,4	43,1	52,8	88,6	80,2	69,7
	0,02%	53,4	51,8	40,1	48,4	88,7	88,3	75,0
Фон+внесение	9 кг/га	58,6	57,5	48,4	54,8	87,6	81,5	63,5
	12 кг/га	56,4	51,8	49,9	52,7	87,1	82,6	62,5
	15 кг/га	56,5	54,9	47,7	53,0	91,6	83,5	62,3
HCP ₀₅	-	-	-		5,52	5,87	6,99	6,0

Приложение 11

Влияние йода на урожайность яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2013г.

Вариант	Урожайность зерна, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном		Урожайность соломы, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном		
		кг/м ²	%		кг/м ²	%	
Контроль	0,35	-	-	2,04	-	-	
Фон	0,36	-	-	2,37	-	-	
Фон+опрыскивание	0,005	0,40	+0,04	+11,1	2,43	+0,06	+2,53
	0,01	0,41	+0,05	+13,9	2,67	+0,30	+12,66
	0,02	0,43	+0,07	+19,4	2,40	+0,03	+1,27
Фон+внесение	9 кг/га	0,39	+0,03	+8,3	2,46	+0,09	+3,8
	12 кг/га	0,40	+0,04	+11,1	2,54	+0,17	+7,17
	15 кг/га	0,39	+0,03	+8,3	2,49	+0,12	+5,06
HCP ₀₅	0,03			0,2			

Влияние йода на урожайность яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2014 г.

Вариант	Урожайность зерна, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном		Урожайность соломы, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном		
		кг/м ²	%		кг/м ²	%	
Контроль	0,20	-	-	1,10	-	-	
Фон	0,21	-	-	1,14	-	-	
Фон+опрыскивание	0,05%	0,24	+0,03	+14,3	1,58	+0,44	+38,6
	0,01%	0,28	+0,07	+33,3	1,67	+0,53	+46,5
	0,02%	0,22	+0,01	+4,8	1,40	+0,26	+22,8
Фон+внесение	9 кг/га	0,24	+0,03	+14,3	1,73	+0,59	+51,8
	12 кг/га	0,22	+0,01	+4,8	1,38	+0,24	+21,1
	15 кг/га	0,19	-0,02	-9,5	1,00	-0,14	-12,3
НСР 05		0,03		0,2			

Приложение 13

Влияние йода на урожайность яровой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2015 г.

Вариант	Урожайность зерна, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном		Урожайность соломы, кг/м ²	Прибавка по сравнению с фоном	
		кг/м ²	%		кг/м ²	%
Контроль	0,16			1,19		
Фон	0,17	-	-	1,25	-	-
Фон+опрыскивание	0,005%	0,18	+0,01	+5,9	1,36	+0,11 +8,8
	0,01%	0,21	+0,04	+23,5	1,90	+0,65 +52,0
	0,02%	0,20	+0,03	+17,6	1,93	+0,68 +54,4
Фон+внесение	9 кг/га	0,17	-	-	1,57	+0,32 +25,6
	12 кг/га	0,18	+0,01	+5,9	1,78	+0,53 +42,4
	15 кг/га	0,21	+0,04	+23,5	1,95	+0,70 +56,0
НСР ₀₅		0,03		0,2		

Приложение 14

Средняя урожайность зерна пшеницы (2013-2015 гг.)

Вариант	Урожайность, кг/м ²				Прибавка по сравнению с фоном	
	2013	2014	2015	в среднем	кг/м ²	%
Контроль	0,35	0,20	0,16	0,23		
Фон	0,36	0,21	0,17	0,24	-	-
Фон+опрыскивание	0,005%	0,40	0,24	0,18	0,27	+0,03 +12,5
	0,01%	0,41	0,28	0,21	0,30	+0,06 +25,0
	0,02%	0,43	0,22	0,20	0,28	+0,04 +16,6
Фон+внесение	9 кг/га	0,39	0,24	0,17	0,27	+0,03 +12,5
	12 кг/га	0,40	0,22	0,18	0,26	+0,02 +8,3
	15 кг/га	0,39	0,19	0,21	0,26	+0,02 +8,3
HCP ₀₅		0,03				

Приложение 15

Средняя урожайность соломы пшеницы за три года (2013-2015 гг.)

Вариант	Урожайность, кг/м ²				Прибавка по сравнению с фоном	
	2013	2014	2015	в среднем	кг/м ²	%
Контроль	2,04	1,10	1,19	1,44		
Фон	2,37	1,14	1,25	1,58	-	
Фон+опрыскивание	0,005%	2,43	1,58	1,36	1,79	+0,21 +13,3
	0,01%	2,67	1,67	1,90	2,08	+0,50 +31,6
	0,02%	2,40	1,40	1,93	1,91	+0,33 +20,8
Фон+внесение	9 кг/га	2,46	1,73	1,57	1,92	+0,34 +21,5
	12 кг/га	2,54	1,38	1,78	1,90	+0,32 +20,3
	15 кг/га	2,49	1,00	1,95	1,81	+0,23 +14,5
HCP ₀₅				0,2		

Приложение 16

Содержание йода в зерне и соломе яровой мягкой пшеницы (в мкг/кг)

Вариант	2013		2014		2015		среднее	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Контроль	23±12	- **	40±1,5	30±8	40±10	41±11	34,3	35,5
Фон	49±12	-	48±16	44,6±12	47±12	61±16	<u>48</u> +39%*	<u>52,8</u> +48%
Фон+опрыскивание, %	0,005	108±28	-	52±3	77±20	57±15	73±19	<u>72,3</u> +110,8% +50,6%***
	0,01	114±30	-	81±15	46±12	49±13	65±17	<u>81,5</u> +137,6% +69,8%
	0,02	158±41	-	60±16	32±8	37±10	42±11	<u>85</u> +147,8% +77,1%
	9 кг/га	74±19	-	50±1,5	92±24	84±22	117±30	<u>69,3</u> +102,0% +44,4%
	12 кг/га	93±24	-	54±4	130±34	91±24	192±50	<u>79,3</u> +131,3% +65,2%
	15 кг/га	99±26	-	202±52	143±37	150±39	217±56	<u>150,3</u> +438,2% +213,1%

* - выделена прибавка по сравнению с контролем

** - данные отсутствуют

*** - изменения по сравнению с фоном

Приложение 17

Влияние йода на содержание азота в зерне пшеницы (2013-2015 гг.)

Вариант опыта		Содержание азота, %			Среднее	Изменения по сравнению с фоном, %
		2013	2014	2015		
Контроль		2,7	2,53	2,43	2,55	
Фон		2,75	2,39	2,65	2,59	-
Фон+опрыскивание	0,005%	2,77	2,29	2,41	2,49	-3,8%
	0,01%	2,8	2,41	2,58	2,59	0
	0,02%	2,7	2,31	2,43	2,48	-4,3%
Фон+внесение	9 кг/га	2,8	2,48	2,52	2,6	+0,4%
	12 кг/га	3,01	2,58	2,66	2,75	+6,2%
	15 кг/га	2,82	2,48	2,54	2,61	+0,8%
HCP ₀₅		0,1				

Приложение 18

Влияние йода на содержание фосфора в зерне пшеницы (2013-2015гг.)

Вариант опыта	Содержание фосфора, %			Среднее	Изменения по сравнению с фоном	
	2013	2014	2015			
Контроль	0,41	0,41	0,43	0,41		
Фон	0,44	0,44	0,42	0,43	-	
Фон+опрыскивание	0,005%	0,47	0,47	0,47	0,47	+9,3%
	0,01%	0,45	0,43	0,45	0,44	+2,3%
	0,02%	0,36	0,42	0,42	0,40	-9,2%
Фон+внесение	9 кг/га	0,41	0,41	0,44	0,42	-2,3%
	12 кг/га	0,37	0,37	0,39	0,38	-11,6%
	15 кг/га	0,42	0,39	0,41	0,41	-4,6%
HCP ₀₅	0,01					

Приложение 19

Влияние йода на содержание калия в зерне пшеницы (2013-2015 гг.)

Вариант опыта	Содержание калия, %			Среднее	Изменения по сравнению с фоном
	2013	2014	2015		
Контроль	0,62	0,45	0,47	0,51	
Фон	0,66	0,5	0,44	0,53	-
Фон+опрыскивание	0,005%	0,69	0,46	0,48	0,54 +1,88
	0,01%	0,7	0,5	0,49	0,54 +1,88
	0,02%	0,6	0,45	0,45	0,56 +5,6
Фон+внесение	9 кг/га	0,61	0,51	0,46	0,5 -5,6
	12 кг/га	0,62	0,48	0,48	0,53 -
	15 кг/га	0,67	0,45	0,45	0,53 -
HCP ₀₅	0,05				

Приложение 20

Влияние йода на содержание свинца в зерне пшеницы (мг/кг)

Вариант опыта	Содержание свинца			Среднее	Изменения по сравнению с фоном
	2013	2014	2015		
Контроль	0,34	0,33	0,22	0,29	-
Фон	0,33	0,35	0,28	0,32	-
Фон+опрыскивание	0,005%	0,41	0,57	0,57	0,51 +45%
	0,01%	0,40	0,41	0,54	0,45 +40%
	0,02%	0,35	0,49	0,33	0,39 +22,8%
	9 кг/га	0,40	0,31	0,32	0,34 +6,3%
	12 кг/га	0,40	0,31	0,32	0,31 -3,1%
	15 кг/га	0,41	0,34	0,19	0,32 -
HCP ₀₅		0,14			

Приложение 21

Влияние йода на содержание меди в зерне пшеницы (мг/кг)

Вариант опыта	Содержание меди			Среднее	Изменения по сравнению с фоном, %
	2013	2014	2015		
Контроль	2,00	3,24	6,0	3,74	-
Фон	3,30	2,74	4,82	3,62	-
Фон+опрыскивание	0,005%	3,30	2,98	4,85	3,71 +2,5
	0,01%	3,20	3,03	5,16	3,79 +4,7
	0,02%	3,00	3,94	4,97	4,00 +10,5
Фон+внесение	9 кг/га	3,10	2,54	4,5	3,38 -6,6
	12 кг/га	3,10	2,45	4,52	3,35 -0,88
	15 кг/га	3,40	2,85	6,29	4,18 +15,5
HCP ₀₅	1,17				

Приложение 22

Влияние йода на содержание кадмия в зерне пшеницы (мг/кг)

Вариант опыта	Содержание кадмия			Среднее	Изменения по сравнению с фоном
	2013	2014	2015		
Контроль	0,059	0,035	0,087	0,06	-
Фон	0,052	0,03	0,087	0,056	-
Фон+опрыскивание	0,005%	0,058	0,037	0,087	0,061 +8,9%
	0,01%	0,063	0,04	0,070	0,057 +1,8%
	0,02%	0,064	0,037	0,073	0,058 +3,6%
Фон+внесение	9 кг/га	0,058	0,037	0,058	0,051 -8,9%
	12 кг/га	0,052	0,037	0,087	0,058 +3,6%
	15 кг/га	0,058	0,035	0,072	0,055 -1,7%
HCP ₀₅	0,02				

Приложение 23

Влияние йода на содержание цинка в зерне пшеницы (мг/кг)

Вариант опыта	Содержание цинка			Среднее	Изменения по сравнению с фоном	
	2013	2014	2015			
Контроль	25,0	41,5	36,5	34,3	-	
Фон	26,0	43,8	38,7	36,2	-	
Фон+опрыскивание	0,005%	25,0	45,2	36,8	35,6	-1,65
	0,01%	40,0	43,6	38,7	40,8	+12,7
	0,02%	20,0	42,5	38,9	33,8	-6,6
Фон+внесение	9 кг/га	20,0	41,6	35,8	32,4	-10,5
	12 кг/га	25,0	44,2	37,0	35,4	-2,2
	15 кг/га	40,0	44,4	38,5	40,9	+12,9
HCP ₀₅	2,62					

Приложение 24

Показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2013 г.

Вариант опыта		Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натурा, г/л	Клейковина	
					%	ИДК
Контроль	33,9	51	745	16,02	32	70
Фон	32,5	49	756	16,19	32,8	77
Фон+опрыскивание	0,005%	32,4	51	744	16,76	32,7
	0,01%	33,6	51	743	16,93	32,7
	0,02%	36,5	51	755	16,81	33,2
	9 кг/га	32,2	49	762	16,97	34,8
	12 кг/га	32,4	50	741	16,42	32.8
	15 кг/га	32,4	49	745	16,36	31,7

Приложение 25

Показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2014 г.

Вариант опыта	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натурा, г/л	Белок, %	Клейковина	
					%	ИДК
Контроль	36,0	64	726	15,90	28,2	97
Фон	36,3	76	739	16,27	27,5	100
Фон+опрыскивание	0,005%	36,1	62	726	15,99	27,8
	0,01%	37,5	87	738	16,53	27,2
	0,02%	37,2	74	734	16,01	27,4
Фон+внесение	9 кг/га	35,5	81	741	16,06	27,2
	12 кг/га	37,6	83	735	15,99	25,2
	15 кг/га	34,9	73	733	16,07	25,8

Приложение 26

Показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева, 2015 г.

Вариант опыта	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натурा, г/л	Белок, %	Клейковина	
					%	ИДК
Контроль	28,2	52	708	15,79	31,9	59
Фон	28,3	53	722	16,36	32,7	57
Фон+опрыскивание	0,005%	29,8	52	708	15,22	30,8
	0,01%	31,6	53	733	16,13	32,5
	0,02%	30,1	56	714	15,22	32,0
Фон+внесение	9 кг/га	32,5	53	721	15,16	31,2
	12 кг/га	30,8	54	729	15,56	31,2
	15 кг/га	31,2	55	722	15,79	32,0

