

**Степанова Ольга Владимировна**

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

**03.02.08 –экология (биология)**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Тюмень – 2019**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, доцент  
**Синдирева Анна Владимировна**

**Официальные оппоненты:** **Серегина Инга Ивановна**, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО Российской государственной аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

**Сибиркина Альфира Равильевна**, доктор биологических наук, профессор, кафедры геоэкологии и природопользования ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»

**Ведущая организация:** **ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук**

Защита диссертации состоится «21» мая 2019 года в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7.  
Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52. e-mail: [dissgausz@mail.ru](mailto:dissgausz@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья по адресу и на сайте университета <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «19» марта 2019 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Одной из актуальных экологических проблем является проблема микроэлементозов - патологических состояний, вызванных дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов, которая на сегодняшний день стоит остро и недостаточно освещена в литературе (Авцын, 1991). По мнению ряда ученых, Омская область, как и многие регионы России, является дефицитной по содержанию йода в почве, кормах, организмах человека и животных (Савченков, 2002; Ильин, 2007; Сысо, 2008, 2016; Конарбаева, 2012; Вильмс, 2015; Турчанинов, 2013). Одним из перспективных мероприятий по увеличению содержания йода в продуктах питания является обогащение растений, составляющих кормовую базу животных и человека, путем применения соединений, содержащих йод. В то же время представляется необходимой оценка экологической безопасности данного метода.

На основании многолетних данных ряда исследователей установлено, что применение йода 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. Йод оказывает положительное влияние на азотный, углеводный, энергетический и водный обмены, на ферментативную активность и окислительно-восстановительные процессы растений. (Кашин, 1987; Каббата-Пендиас, 1989). В то же время обнаружено отрицательное влияние избыточных концентраций йода на растения (Кашин, 1995). Проблема обогащения сельскохозяйственных культур йодсодержащими соединениями, мало изучена в России, в том числе и в Западной Сибири. Пределы содержания микроэлементов в живых организмах имеют узкую грань между токсичностью и необходимостью. Поэтому с целью оптимизации питания растений йодом возникает необходимость определения экологически безопасных и критических концентраций йода в почве и растениях в условиях южной лесостепи Западной Сибири. При этом необходима разработка нормативных показателей действия микроэлемента в системе почва-растение в определенных экологических условиях.

**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 применение 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 в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

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

Определены оптимальные уровни микроэлемента в системе почва-растение. 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.

**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.

**Апробация работы.** Результаты исследований 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 ВПО «СибАДИ», г. Омск, 2015), национальной научно-практической конференции с международным участием «Экологические проблемы региона и пути их решения», проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-BOOM» (г. Омск, 2016), конференции «Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития», посвященной 20-летию юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии ОмГАУ (г.Омск, 2016), Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)» (г.Омск, 2017), межвузовской экологической научно – практической конференции с международным участием, посвященной Году экологии (г.Омск, 2017), III Международной школе-семинаре 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 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация представлена на 231 странице и состоит из введения, обзора литературы, 6 глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа включает 57 рисунков, 44 таблицы и 26 приложений. Список используемой литературы состоит из 244 наименований, в том числе 37 – иностранных авторов.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 1. ЙОД В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ – ЖИВОТНЫЕ – ЧЕЛОВЕК (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

В главе обозначено значение микроэлементов в живых организмах, описана роль йода в объектах окружающей среды, представлено содержание и закономерности распределения йода в различных типах почв, а также содержание и биологическая роль микроэлемента в растениях; показано значение йода для человека и животных и пути решения проблемы йододефицита.

## Глава 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с поставленной целью и задачами в 2013-2015 гг. были проведены полевые и лабораторные исследования.

Объектами исследований были: 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.

**Лабораторный опыт по оценке влияния йодида калия на микробиологическую активность** почвы заложен в трехкратной повторности по следующей схеме: контроль, КІ в дозах 1, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 кг/га. Проводили компостирование почвы с инкубацией 21 сутки. По окончании эксперимента в почве определяли численность агрономически важных микроорганизмов путем посева на твердые питательные среды, ферментативную активность, фитотоксичность почвы, а также содержание йода в почве.

Анализ ферментативной активности почвы проводился в воздушно-сухих образцах: инвертазы – по Купревичу, уреазы – по Гофману, каталазы – газометрически (Хазиев, 1982). Фитотоксичность почвы определяли по методике Минеева В.Г. (Минеев, 1991). Согласно методике, в качестве тест-объекта использовались семена редиса красного с белым кончиком.

**Лабораторный опыт по изучению влияния йодсодержащих удобрений на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян зерновых культур** проводился по следующей схеме в шестикратной повторности: контроль (намачивание дистиллированной водой), намачивание раствором КІ с концентрацией йода 0,0025, 0,005, 0,01, 0,02, 0,04%. По окончании опыта (на третьи сутки) измеряли длину ростка и корня, а также всхожесть семян (ГОСТ 12038-84).

**Вегетационные опыты** с теми же зерновыми культурами заложены в шестикратной повторности по следующей схеме: контроль, намачивание и опрыскивание раствором КІ с концентрациями йода 0,005, 0,01, 0,02%, внесение в почву КІ в дозах 9, 12, 15 кг/га, что соответствует 3,8; 5,0; 6,3 мг/кг. По окончании опыта определяли массу и высоту растений.

**Полевые опыты** были заложены в 2013-2015 гг. по следующей схеме: контроль, фон  $N_{60}P_{30}$ ; фон + опрыскивание раствором КІ с концентрациями йода 0,005, 0,01, 0,02%; фон + основное внесение в почву КІ в дозах йода 9, 12, 15 кг/га.

Расчет доз макро- и микроэлементов проводили согласно исследованиям Ермохина Ю.И. (Ермохин, 2011). В опытах использовался районированный сорт-стандарт яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева. Йодид калия в виде

сухой соли вносился вручную в пахотный слой перед посевом. Опрыскивание проводилось перед фазой колошения. Растительные образцы отбирали в фазы колошения и полной спелости для определения биометрических показателей и химического состава растений. Учеты и наблюдения проводили по методике Б.А. Доспехова (Доспехов, 1985). Показатели качества зерна определяли в ФГБНУ СибНИИСХ (ныне ФГБНУ «Омский аграрный научный центр») по следующим показателям: натура зерна, стекловидность, количество и качество клейковины, содержание белка (ГОСТы 10840-64, 10987-76, 135861-68, 10846-91).

Определение содержания йода в почвенных и растительных образцах проводилось роданидно-нитритным методом по методике Г.Ф. Проскуряковой (Проскурякова, 1976), а также в ФГНБУ «Федеральный научный центр овощеводства» (г. Москва) вольтамперометрическим методом (ММУ 31-07/04 «Томьаналит»). Содержание макро- и микроэлементов определяли в ФГБОУ ГСАС «Ишимская» (г.Ишим). Микроэлементы Pb, Cd, Zn, Cu определяли атомно-абсорбционным методом. Калий определяли пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97), фосфор - фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97). Определение массовой доли азота осуществлялась методом Кьельдаля (ГОСТ 32044.-2012). Остальные химические элементы – масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС) и в АНО «Центр биотической медицины» (г. Москва). Полученные данные всех опытов подвергали статистической обработке. Оценку опытных данных производили методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов, 1985; Лакин, 1980). Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием программ STATIST, EXCEL.

**Метеорологические условия.** Вегетационный период 2013 г. характеризовался неравномерным распределением осадков по декадам. Вегетационный период 2014 г. отмечался меньшими по сравнению со среднемноголетними температурами. Количество осадков ниже нормы наблюдалось в июне, в июле и августе количество осадков превышало норму. Вегетационный период 2015 г. отмечался меньшими по сравнению со среднемноголетними температурами в июле и в августе. Норма месячных осадков была превышена в мае, июне и августе. В июле количество осадков снижено по сравнению со среднемноголетними значениями.

**Характеристика почвы опытного участка.** Почвенный покров опытного поля Омского ГАУ представлен лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвой. Содержание в почве нитратного азота было недостаточным, 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.

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

#### Содержание йода в лугово-черноземной почве

По результатам исследования получена зависимость содержания валового йода в лугово-черноземной почве от доз применяемого микроэлемента.

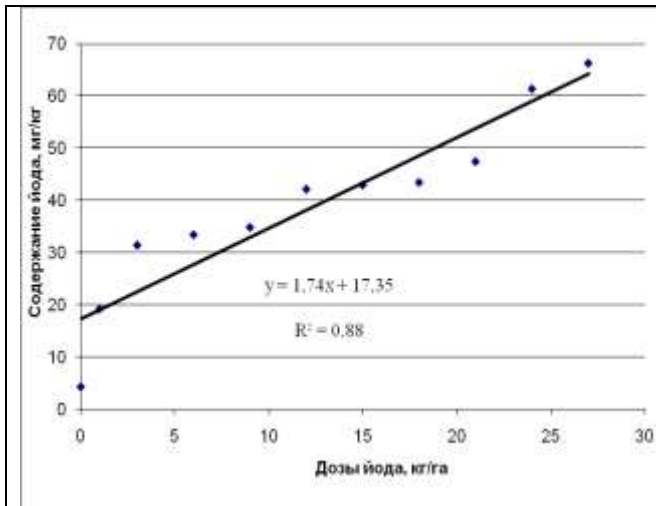


Рис. 1 – Зависимость содержания валового йода от внесенной дозы микроэлемента

Согласно уравнению (рис.1), установлен коэффициент «b» интенсивности действия йода на его содержание в почве. Так, 1 кг/га внесенного микроэлемента увеличивает в среднем за период исследований содержание йода в 1,74 раза. Внесение микроэлемента в дозах от 1 до 15 кг/га повышает содержание йода до оптимального уровня, свыше 18 кг/га - приводит к избыточной концентрации микроэлемента в почве (Ковальский, 1972).

#### Численность микроорганизмов в лугово-черноземной почве в условиях применения йода

С целью экологической оценки содержания йода в почве проведено исследование его влияния на микрофлору лугово-черноземной почвы и установлены корреляции между дозой вносимого йода и численностью ряда агрономически важных микроорганизмов почвы.

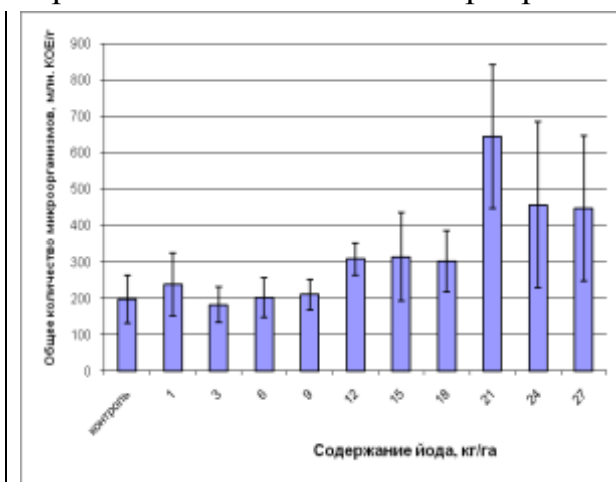


Рис. 2 – Общая численность микроорганизмов в среднем за 2013-2015 гг.

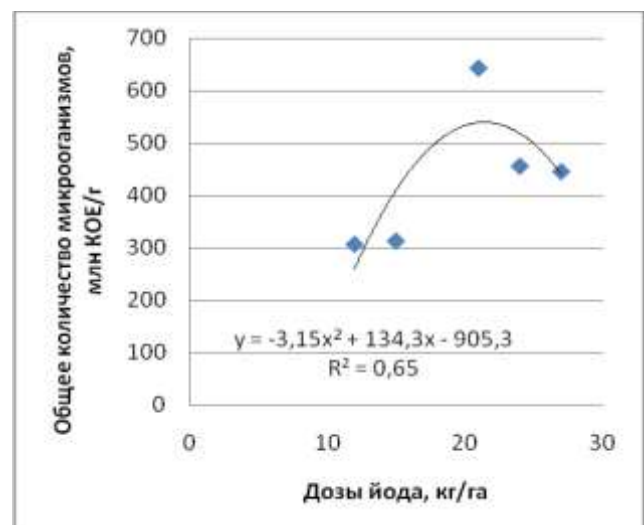


Рис. 3 – Зона оптимальных дозировок йода по показателю общей численности микроорганизмов



Зависимость между дозами йода и общей численностью микроорганизмов, (рис.2), свидетельствует о том, что доза 21 кг/га является стимулирующей для микрофлоры почвы. Это соответствует содержанию йода в почве  $47,5 \pm 0,4$  мг/кг. В условиях проведенного трехлетнего исследования установлена зона оптимальных дозировок йода по показателю общей численности микроорганизмов (рис.3). В то же время влияние микроэлемента на численность отдельных групп микроорганизмов неоднозначно (табл.1). В целом можно отметить, 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 большинства агрономически важных микроорганизмов.

Таблица 1 – Математические зависимости содержания микроорганизмов в почве (y) от дозы поступления йода (x, кг/га)

| Микроорганизмы                   | Уравнение зависимости           | r, η             |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Микроорганизмы, растущие на МПА  | $y = -1,02x^2 + 45,25x - 462,2$ | $\eta = 0,73(1)$ |
| Микроорганизмы, растущие на КАА  | $y = -0,71x^2 + 32,1x - 293,2$  | $\eta = 0,68(2)$ |
| Олигонитрофилы                   | $y = 0,14x^2 + 2,23x + 53,0$    | $\eta = 0,74(3)$ |
| Целлюлозоразлагающие             | $y = -2,0x + 67,47$             | $r = 0,85(4)$    |
| Фосфатмобилизующие               | $y = 8,32x + 45,89$             | $r = 0,82(5)$    |
| Грибы                            | $y = -0,09x^2 + 2,4x + 41,9$    | $\eta = 0,48(6)$ |
| Общее количество микроорганизмов | $y = -3,15x^2 + 134,3x - 905,3$ | $\eta = 0,65(7)$ |

Определив активность некоторого комплекса ферментов можно судить об эколого-функциональном состоянии почвы. Дозы микроэлемента до 12 кг/га (уровень йода в почве составляет  $42,2 \pm 1,1$  мг/кг) способствуют повышению активности каталазы (в среднем на 21,9%). С увеличением содержания йода в почве активность ферментов снижается (в среднем на 59,4% уреазы, до 23% инвертазы).

Для оценки фитотоксичности лугово-черноземной почвы с различным содержанием йода, использовали метод биотестирования с использованием тест-культуры редиса (Минеев, 1991). Проведенные исследования показывают, что в небольших дозах йод в основном оказывает стимулирующее влияние на его начальные показатели роста и развития, с повышением дозы стимулирующее влияние йода снижается. В целом, установлено отсутствие значимого токсического эффекта доз йода на тест-объект и, соответственно, на почву. При дозах свыше 21 кг/га отмечался токсический эффект – снижение высоты роста тест-культуры на 20-30%.

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

Цель лабораторных опытов - установить оптимальные концентрации микроэлемента для растительного организма по показателям роста и развития в начальные этапы онтогенеза и определить зерновую культуру, которая была наиболее отзывчивой на применение йода в качестве микроудобрения. Влияние йода на длину ростка и корня различных культур неоднозначно. Для озимой и яровой пшеницы оптимальной концентрацией йода в питательном растворе являлась доза 0,01%, для ячменя и овса – 0,005 и 0,01% (табл. 2). Наиболее отзывчивой на применение йода культурой является яровая пшеница и рожь.

Таблица 2 – Оптимальные концентрации йода (в %) по показателям лабораторной всхожести и начального роста зерновых культур

| Культура                     | Показатель          |            |              |             |
|------------------------------|---------------------|------------|--------------|-------------|
|                              | энергия прорастания | всхожесть  | длина ростка | длина корня |
| Пшеница яровая Памяти Азиева | 0,04                | 0,01       | 0,01         | 0,01-0,02   |
| Пшеница озимая Омская-4      | 0,005               | 0,01       | 0,01-0,04    | 0,01        |
| Рожь Сибирь                  | 0,005-0,02          | 0,005      | 0,02         | 0,01        |
| Овес Иртыш 13                | 0,005               | 0,005-0,01 | 0,005        | 0,005-0,01  |
| Ячмень Омский 87             | 0,01                | 0,01       | 0,005-0,02   | 0,005-0,01  |

В результате проведенных вегетационных исследований установлено, что 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 (табл. 3). Содержание йода в полученных растительных образцах зависело от культуры и способа применения и изменялось в диапазоне 0,1-1,09 мг/кг.

Вегетационный опыт также показал, что оптимальный способ обогащения растений – это намачивание раствором йодида калия с концентрацией йода 0,01%. По показателям роста наиболее отзывчивой оказалась яровая мягкая пшеница.

Таблица 3 – Математические зависимости содержания йода (у) в растениях зерновых культур от дозы поступления йода (х)

| Культура              | Намачивание<br>(у,мкг/кг; х,%)       | Опрыскивание<br>(у,мкг/кг; х,%)        | Внесение<br>(у,мкг/кг;х,кг/га)       |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Пшеница Памяти Азиева | $y= 19303x +101,6$ (8)<br>$r = 0,91$ | $y= 17114x +36x$ (13)<br>$r = 0,95$    | $y= 25,524x +22,7$<br>(18) $r=0,87$  |
| Пшеница Омская 36     | $y= 16320x +50,2$ (9)<br>$r = 0,98$  | $y= 13509x +39,8$ (14)<br>$r = 0,86$   | $y=1,7143x +46,071$<br>(19) $r=0,79$ |
| Рожь Сибирь           | $y= 44720x +284,2$<br>(10) $r=0,90$  | $y=42851x +349,8$ (15)<br>$r =0,83$    | $y=31,9x +100,3$ (20)<br>$r =0,98$   |
| Овес Иртыш 13         | $y=19006x +261,2$ (11)<br>$r =0,79$  | $y=14149x +241,2$<br>(16)<br>$r =0,78$ | $y=19,905x +150,8$<br>(21) $r =0,94$ |
| Ячмень Омский 87      | $y=305,7x +285$ (12)<br>$r =0,75$    | $y= 9565,76x +129,8$<br>(17) $r =0,87$ | –                                    |

С целью прогноза содержания йода в зерновых культурах согласно уравнениям, установлены коэффициенты интенсивности накопления микроэлемента - коэффициенты «*b*» (табл.4).

Таблица 4 – Коэффициент "b" интенсивности накопления йода в растениях

| Вариант опыта    | Коэффициент "b", в мг/кг |                   |             |               |                  |
|------------------|--------------------------|-------------------|-------------|---------------|------------------|
|                  | пшеница Памяти Азиева    | пшеница Омская 36 | рожь 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 в почву | 0,025                    | 0,001             | 0,031       | 0,019         | —*               |

примечание —\* нет данных

Полученные количественные характеристики «*b*» растений позволяют прогнозировать содержание йода в растениях зерновых культур по формуле :

$$C_{\text{мг/кг}} = C_{\text{ф}} + Д \cdot b,$$

где *C* и *C<sub>ф</sub>* – содержание йода до внесения в почву (*C<sub>ф</sub>*) и после (*C*), мг/кг ; *Д* – доза внесенного микроэлемента, кг/га; *b* – коэффициент интенсивности действия йода.

Содержание галогена в растениях оценивается в России следующим образом: верхней пороговой концентрацией микроэлемента можно считать 0,8-1,2 мг/кг (Ковальский, 1972). Данные показывают, что такие способы обогащения йодом, как внесение и опрыскивание в изучаемых дозах являются наиболее безопасными с экологической точки зрения. Изученные дозы также не способствуют его накоплению в растениях в дозах, опасных для животных и человека.

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

В ходе полевого опыта был проведен анализ биометрических показателей растений в фазу колошения и в фазу полной спелости. 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 микроэлемента при опрыскивании с концентрацией йода в растворе 0,02% дают наилучшие прибавки по сравнению с фоновыми (в среднем за три года: по массе растений +27,5%, по массе колоса +40,7%, по высоте растений +14,8%).

По данным трехлетних опытов выявлено, что действие микроэлемента на урожайность зерна и соломы яровой мягкой пшеницы зависело от метеорологических условий года, его концентрации и способа внесения (табл.5).

Таблица 5 – Влияние йода на урожайность зерна и соломы яровой пшеницы  
(в среднем за 2013-2015 гг.)

| Вариант опыта                 | Урожайность зерна, кг/м <sup>2</sup> | Изменения по сравнению с фоном |       | Урожайность соломы, кг/м <sup>2</sup> | Изменения по сравнению с фоном |       |       |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|
|                               |                                      | кг/м <sup>2</sup>              | %     |                                       | кг/м <sup>2</sup>              | %     |       |
| Контроль                      | 0,22                                 |                                |       | 1,44                                  |                                |       |       |
| Фон                           | 0,24                                 | -                              | -     | 1,58                                  | -                              | -     |       |
| Фон+ опрыскивание, %          | 0,005                                | 0,27                           | +0,03 | +12,5                                 | 1,79                           | +0,21 | +13,3 |
|                               | 0,01                                 | 0,30                           | +0,06 | +25,0                                 | 2,08                           | +0,50 | +31,6 |
|                               | 0,02                                 | 0,28                           | +0,04 | +16,6                                 | 1,91                           | +0,33 | +20,8 |
| Фон+ основное внесение, кг/га | 9                                    | 0,27                           | +0,03 | +12,5                                 | 1,92                           | +0,34 | +21,5 |
|                               | 12                                   | 0,26                           | +0,02 | +8,3                                  | 1,9                            | +0,32 | +20,3 |
|                               | 15                                   | 0,26                           | +0,02 | +8,3                                  | 1,81                           | +0,23 | +14,5 |
| НСР <sub>05</sub>             |                                      | 0,03                           |       |                                       | 0,2                            |       |       |

Исследования показали эффективность некорневого внесения йода в виде иодида калия, причем наибольшее положительное влияние оказала обработка растений раствором KI с концентрацией микроэлемента, равной 0,01%. Прибавка урожайности зерна яровой мягкой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг. составила 25%. Некорневые подкормки основываются на способности растения поглощать питательные элементы надземными органами, минуя почву. По

мнению В.К. Кашина (Кашин, 1987), это наиболее эффективный способ применения удобрений. Поглощение микроэлемента идет по «безбарьерному типу», что позволяет регулировать их содержание в нужных количествах.

Внесение иодида калия 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.

Диапазон положительного и токсического биологического действия микроэлемента невелик, и при переходе в зону высоких дозировок возможен отрицательный эффект от применения микроудобрений. Нашими исследованиями установлено, что йодсодержащие соединения в изученных дозировках не оказывают значительного влияния на основные показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы. В то же время йод интенсивно накапливался, как в зерне, так и соломе (рис. 4).

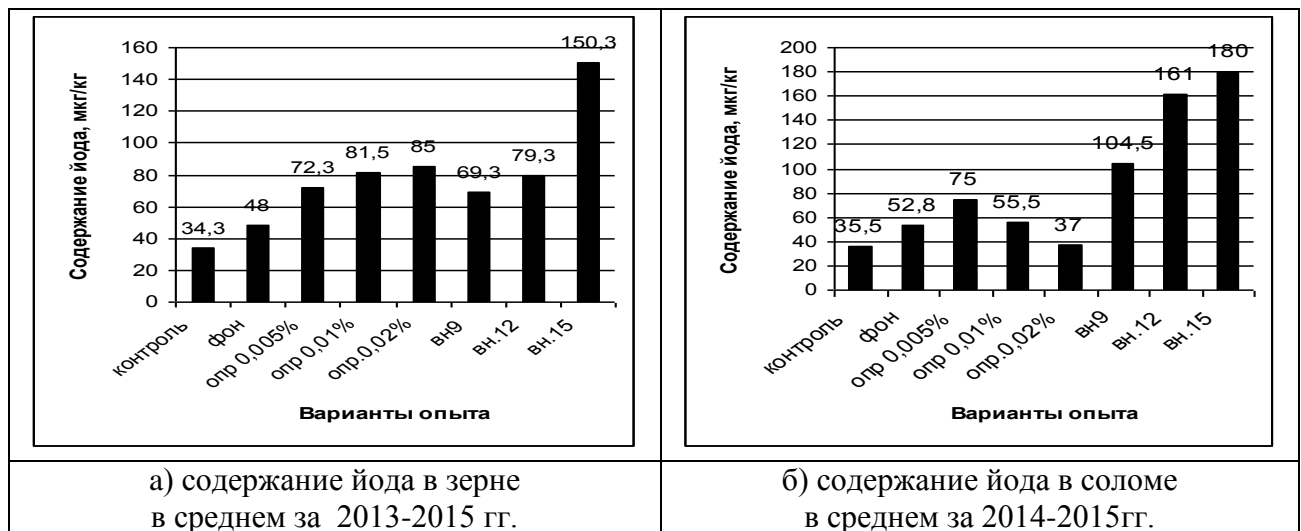


Рис. 4 – Содержание йода в зерне и соломе яровой пшеницы в зависимости от доз и способов его применения

Установлена прямая зависимость между внесенной дозой йода и содержанием его в зерне яровой пшеницы ( $y$ , мкг/кг):

$$y = 2225,7x + 48,8 \quad (r = 0,82) \quad (22) \quad (x, \%) \text{ при опрыскивании};$$

$$y = 6,6x + 23,9 \quad (r = 0,88) \quad (23) \quad (x, \text{кг/га}) \text{ при основном внесении}.$$

В опытах с корневым внесением микроэлемента наблюдается наибольшее накопление йода (+407% по отношению к контролю в соломе и +438,2% в зерне на варианте 15 кг/га). Стандартные нормативы по ГОСТу на содержание йода в пищевой продукции отсутствуют. Поэтому, ориентируясь на существующие критерии, можно сделать вывод, что накопление йода в продукции, полученной в

наших опытах, 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 (табл.6).

Таблица 6 – 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<br>(контроль)<br>0,06-0,18<br>(обогащенное) | 0,08-1,5 <sup>1,2</sup>                 | <0,1 <sup>2</sup><br>до 0,07 <sup>3</sup> | 0,8-1,2 <sup>1</sup> | 0,005-0,056 <sup>4,5</sup>      |

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

### ***Содержание и соотношение микроэлементов в условиях применения йода.***

#### ***Отношения между макроэлементами и йодом в зерне пшеницы***

Формирование урожая, качество растениеводческой продукции зависят от химического состава растений. Поэтому важно изучить влияние микроэлементов на их накопление в зерне пшеницы. С позиции оценки экологической безопасности продукции необходимо установить взаимодействие между ионами йода и ионами металлов, таких как свинец, кадмий, медь и цинк.

По данным наших опытов, некорневое внесение йода повышает содержание свинца в зерне. Внесение йода в почву в дозе 9 кг/га снижает содержание кадмия, цинка и меди в пределах 10%.

В ходе исследований, направленных на установление взаимозависимости поступления йода и макроэлементов, получены следующие результаты. Корневое внесение йода в почву в дозе 12 кг/га достоверно увеличивало содержание азота в зерне на 6,2%. При опрыскивании растворами KI с концентрациями йода 0,005 и 0,01% наблюдалось явление синергизма с фосфором. Увеличение концентрации йода снижает содержание макроэлемента до 9%. Не выявлена зависимость между содержанием фосфора и внесением йода в почву. Достоверного влияния йода на содержание калия в зерне пшеницы не доказано, все данные в пределах погрешности опыта (табл. 7).

Таблица 7 – Взаимосвязь между дозами йода (x) и содержанием макро- и микроэлементов (y) в зерне яровой пшеницы

| Химический элемент | Опрыскивание, x, %                                      | Внесение в почву, x, кг/га                              |
|--------------------|---|---|
| Медь (y, мг/кг)    | $y = 18,97x + 3,6$ (24)<br>$r = 0,99$                   | $y = 0,0124x^2 - 0,15x + 3,63$ (31)<br>$\eta = 0,84$    |
| Цинк (y, мг/кг)    | $y = -54109x^2 + 1110,1x + 33,52$ (25)<br>$\eta = 0,75$ | $y = 0,34x + 32,7$ (32)<br>$r = 0,61$                   |
| Кадмий (y, мг/кг)  | $y = -0,13x + 0,06$ (26)<br>$r = 0,64$                  | $y = -0,0003x + 0,05$ (33)<br>$r = 0,46$                |
| Свинец (y, мг/кг)  | $y = -1509x^2 + 33,55x + 0,314$ (27)<br>$\eta = 0,72$   | $y = -0,0005x^2 + 0,0083x + 0,29$ (34)<br>$\eta = 0,69$ |

Помимо представленных выше химических элементов в условиях внесения в почву максимальной дозы йода изучено взаимодействие галогена с такими элементами, как Al, As, B, Co, Cr, Fe, Hg, Li, Mn, Se, Si, Sn, Sr, V. Между большинством изученных микроэлементов и йодом отмечаются явления синергизма при поступлении в растение.

С использованием данных трехлетних 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 (табл.8).

Таблица 8 – Оптимальное содержание химических элементов в зерне яровой мягкой пшеницы

| 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.

Максимальный вынос йода зерном и соломой наблюдается при корневом внесении в дозе 15 кг/га. Увеличение по сравнению с фоном составляет +261% для зерна и +297,3% для соломы. Установлены коэффициенты и показатели эффективности использования йода яровой мягкой пшеницей.

В условиях проведенных опытов были рассчитаны проценты использования микроэлемента из микроудобрений. КИУ составлял от 0,0018 до 0,003%, а ПЭУ – от 0,0016 до 0,002%.

## **ГЛАВА 6. ЭКОЛОГО-СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДЕЙСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Рассмотрены эколого-биогеохимические критерии оценки содержания йода в почве и растениях. Представлены оптимальные и критические уровни микроэлемента в лугово-черноземной почве и растениях зерновых культур, а также дозы микроэлемента и способы внесения, экологически безопасные для почвы и растений с позиции различных показателей при возделывании зерновых культур в целях биофортификации в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

### **Заключение**

1. Йод оказывает стимулирующее 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 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 работ, опубликованных по теме диссертации

#### Публикации в журналах, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Синдирева А.В. Влияние йода на микробиологическую активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы/ А.В.Синдирева, **О.В. Степанова**, О.Ф. Хамова // Омский научный вестник. – 2015. – № 2 (144). – С. 252-256.
2. Синдирева А.В. Экологическая оценка влияния йодсодержащих удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области/ А.В. Синдирева, Е.Г. Кекина, **О.В. Степанова**// Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. - № 1. – С.41-46.
3. Синдирева А.В. Экологическая оценка различных способов применения йодида калия под зерновые культуры / А.В. Синдирева, О.И. Курдуманова, **О.В. Степанова**, И.Б. Гилязова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 2. – С. 134-141.
4. Синдирева А.В. Влияние совместного действия селена и йода на химический состав, урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области / А.В. Синдирева, Н.А. Голубкина, Е.Г. Кекина, **О.В. Степанова**// Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 10. – С. 51-57.

#### Прочие публикации

1. Серебренникова А.В. Влияние йода и селена на всхожесть семян зерновых культур / А.В. Серебренникова, **О.В. Степанова**, И.С. Пыхтина, А.В. Синдирева, Г.И. Чуянова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2013. –Т.3. – № 6. –С. 267-270.
2. **Степанова О.В.** Влияние йода и селена на всхожесть семян зерновых культур / **О.В. Степанова**, А.В. Серебренникова, И.С. Пыхтина // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2013 г.: в 34 частях. – Часть 21. – Тамбов: ТРОО «Бизнес-Наука-Общество». – 2013. – С. 125-127.
3. Синдирева А.В., Влияние селена и йода на показатели роста и развития зерновых культур /А.В. Синдирева, **О.В. Степанова**, А.А.Серебренникова// Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) (г. Пермь, 14–15 ноября 2013 г.) – Том 1. – Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. – С. 233-241.
4. **Степанова О.В.** Оценка токсичности почвы методом биотестирования при внесении разных доз йода / **О.В. Степанова**, О.В. Рослякова // 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.
5. **Степанова О.В.** Оценка действия селена и йода на всхожесть семян, рост и развитие зерновых культур/ **О.В. Степанова**, А.В. Серебренникова, В.В. Водолазский, Ю.А. Водолазская // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: материалы V Международной научно-практической конференции (Омск, 24 апреля, 2014): в 2 ч. Ч.2. – Омск: Изд-во ОмГПУ. – 2014. –С. 247-252.
6. **Степанова О.В.** Влияние йода на фитотоксичность лугово – чернозёмной почвы/ **О.В. Степанова**, О.В. Рослякова // Материалы 53 – й Международной студенческой

конференции, МНСК-2015: Сельское хозяйство / Новосиб. гос. ун-т (11-17 апреля 2015). – С. 27.

7. **Степанова О.В.** Применение категориально-системной методологии при оценке действия йода в системе почва-растение// Вестник Омского университета. – 2015. – № 1. – С. 119-122.

8. Синдирева А.В. Категориально-системный подход при решении проблемы йододефицита / А.В.Синдирева, **О.В. Степанова** // Вестник Омского университета. – 2015. – № 2. – С. 112-114.

9. Синдирева А.В. Микробиологическая активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы в условиях применения йода. / А.В. Синдирева, **О.В. Степанова**, О.Ф. Хамова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (19). – С. 25-31.

10. Синдирева А.В. Экологическая оценка влияния йода на урожайность и накопление макро- и микроэлементов в зерне яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири/ А.В. Синдирева, **О.В. Степанова**// Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития: сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 20-летию юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии ОмГАУ. – Омск: Литера, 2016. – С.201-207.

11. Синдирева А.В. Агрономическая и экологическая оценка эффективности применения йода под яровую пшеницу/ А.В. Синдирева, **О.В. Степанова**, О.Д. Шойкин, А.В. Серебренникова// Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием «Экологические проблемы региона и пути их решения», проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ» (13–15 октября 2016 г.). – 2016. – С. 318-324.

12. Синдирева А.В. Оценка воздействия йода в качестве микроудобрения на систему почва-растение/ А.В. Синдирева, И.Б. Гилязова, **О.В. Степанова** // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017): материалы Международной научно-практической конференции (3–5 июня 2017 г.) – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 257-261.

13. Степанова О.В. Влияние йода на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы. / **О.В. Степанова**/ Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III международной школы-семинара молодых исследователей. (г. Тюмень, 23-28 апреля). – 2018. – С. 285-292.

14. Синдирева А.В. Экологическая оценка действия йода в системе почва-растение. / А.В. Синдирева, О.В. Степанова, Г.И. Чуянова// Архитектура, строительство, транспорт. Материалы научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ» 2-3 декабря 2015 года). Омск: Изд-во СибАДИ, 2015. – С. 1313-1318.

15. Синдирева А.В. Влияние различных способов применения йода на рост и химический состав растений овса. / А.В. Синдирева, О.И. Курдуманова, И.Б. Гилязова, О.В. Степанова// Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2016. - №4 (7) октябрь - декабрь. - URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2016-god/7/32-statya-2016-4/477-00222>. - ISSN 2413-4066.

16. Синдирева А.В. Решение проблемы йододефицита путем обогащения зерновых культур йодсодержащими удобрениями/ А.В. Синдирева, О.В. Степанова// Вести МАНЭБ в Омской области. – 2017. – № 2 (9). – С. 41-44.

17. Синдирева А.В. Биоэнергетическая эффективность применения йода под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве./ Синдирева, О.В. Степанова, О.Д. Шойкин// Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2017. – № 4(11) октябрь-декабрь. URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/4/00483.pdf>. - ISSN 2413-4066.