

*На правах рукописи*

**Жаркова Наталья Николаевна**

**ДИАГНОСТИКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО  
ПИТАНИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОУДОБРЕНИЙ  
МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА ЛУГОВО-  
ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Специальность: 06.01.04 – агрохимия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора сельскохозяйственных наук

Брянск – 2022

Диссертационная работа выполнена на кафедре агрохимии и почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

**Научный консультант:** **Ермохин Юрий Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ

**Официальные оппоненты:** **Шеуджен Асхад Хазретович**, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, заведующий отделом прецизионных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»

**Минкина Татьяна Михайловна**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета

**Маланкина Елена Львовна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры овощеводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»

Защита диссертации состоится 23 сентября 2022 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д220.005.01 при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ по адресу: 243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, 2а, корпус 4, тел./факс: +7(48341)24-7-21, e-mail: [uchsovet@bgsha.com](mailto:uchsovet@bgsha.com)

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

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г. и размещен на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <http://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим присылать ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д220.005.01  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

В. В. Дьяченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Актуальность изучения проблемы микроэлементов в агрохимии обусловлена их исключительно важной ролью в жизнедеятельности растений, животных и человека, что доказано многочисленными исследованиями, проведенными в России и за рубежом (Анспок П.И., 1990; Аристархов А.Н., 2000; Власюк П.А., 1976; Ермохин Ю.И., 2014; Катыльмов М.В., 1965; Панасин В.И., 1995; Пейве Я.В., 1961, 1980; Сычев В.Г. и др., 2009; Школьник М.Я., 1974; Шеуджен А.Х., 2003; Ягодин Б.А., 1981 и др.; Kabata-Pendias A., 2010; и др.).

В то же время в основных земледельческих регионах нашей страны площади почв с низкой обеспеченностью подвижными формами микроэлементов (медь, цинк и др.) достигают 50-90 % от обследованной территории (Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001; Аристархов А.Н., 2012). Подобная тенденция выявлена и при агрохимическом мониторинге плодородия почв Омской области, которые характеризуются низким содержанием цинка (98,9 % обследованных площадей), а также низким (47,1 %) и средним уровнем (50,0 %) подвижной меди в черноземных почвах (Красницкий В.М., 2002; Азаренко Ю.А., 2016, 2019; Аристархов А.Н., 2012). Содержание легкодоступных Zn и Cu ниже критических уровней для роста и развития растений приводит к значительным потерям в растениеводстве, снижая их урожайность и качество, а также к развитию эндемических болезней у животных и человека (Soumare M., 2003; Reavesm G.A., 2006; Shukla A.K., 2018; Gupta U., 2008; Ferreira da Silva R. de C., 2019; Протасова Н.А., 1998; Кишев А.Ю., 2018; Манашов Д.А., 2015).

Потенциальное решение этой проблемы возможно с помощью агрономического биообогащения сельскохозяйственных культур (Dimrka C.O., 2016; Valença A.W., 2017; Сандстед Х.Х., 2011), в т.ч. и лекарственных, отдельными биоэлементами, например, цинком и медью. Внесение эссенциальных микроэлементов способствует активации ферментативных процессов у лекарственных растений, что ведёт к биосинтезу и накоплению в них биологически активных веществ, повышает ценные качества лекарственного сырья (Макарова В.Г., 2006). При этом в растениях микроэлементы находятся в доступной, органически связанной форме, что повышает их усвоение, а также связь микроэлементов с биологически активными веществами способствует усилению фармакологических эффектов (Краснов Е.А., 2017). Следовательно, проблема микроэлементного питания лекарственных растений на современном этапе является актуальной, имеет важное агроэкологическое значение и её решение направлено как на повышение урожайности и качества лекарственных культур, так и сохранение плодородия почв.

При этом физиологические и агрохимические основы минерального питания лекарственных растений цинком и медью для условий юга Западной Сибири остаются не изученными, а недостаток в почвах микроэлементов является недооцененным агроэкологическим фактором. В связи с этим необходимо изучение закономерностей действия и последствий микроэлементов (цинка и меди) в системе «удобрение – почва – лекарственные растения» в зональных условиях юга Западной Сибири.

В 2016 году решением президиума Совета при Президенте РФ была утверждена дорожная карта «Хелснет» Национальной технологической инициативы. В рамках направления «Превентивная медицина» дорожной карты предусматривается создание к 2035 году около 300 тыс. фермерских хозяйств, занимающихся выращиванием, первичной переработкой и хранением лекарственного сырья. Возрождение лекарственного растениеводства в России позволит укрепить фармакологическую безопасность страны и увеличить продолжительность жизни населения (Козко, Цицилин, 2018). В рамках этого вопросы изучения агрохимических приёмов возделывания лекарственных растений с целью повышению их урожайности и качества являются важными и актуальными.

**Степень разработанности темы.** Большое количество исследований посвящено изучению содержания цинка и меди в почвах и растениеводческой продукции (Азаренко и др., 2019; Аристархов, 2000б; 2012; Аристархов и др., 2012; Бускунова, Аминеева, 2011; Ильин и др., 2003; Красницкий и др., 2014; Лунев и др., 2012; Синдирёва А.В., 2001, 2012; Синдирева А.В. и др., 2012, 2020; Сысо, 2007; Сычев и др., 2015). Ряд авторов изучали способы внесения и влияние различных доз цинковых и медных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры (Аристархов и др. 2014, 2016а, 2017; Болдышева, 2018; Попова, 2018; Склорова, 2008, 2014а, 2014б; Смирнова, 2003 и др.). В Нечерноземной зоне РФ вопросами эффективности применения регуляторов роста, макро- и микроудобрений под лекарственные культуры занимались В.Б. Загуменников (2002), Н.И. Сидельников (2014), Е.Л. Маланкина (2007), Е.Ю. Бабаева (1999) и др. Результаты, полученные в ходе их исследований, указывают на высокую эффективность применения удобрений по изучаемые ими культуры (календула лекарственная, шалфей лекарственный, валерьяна лекарственная, амми большая, эхинацея пурпурная, маклея сердцевидная, душица обыкновенная, змееголовник молдавский и др.).

С 2000 г. на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ проводятся исследования по изучению эффективности различных доз и сочетаний макроудобрений для повышения урожайности и качества сырья лекарственных растений в условиях Западной Сибири: полынь гладкая – М.Н. Кожевина (2007), календула лекарственная – С.С. Мельникова (2007), тысячелистник обыкновенный – Н.Н. Тищенко (2010), пижма обыкновенная – Н.Н. Тищенко, И.С. Омутных (2012), пустырник пятилопастной – О.Д. Шойкин (2013). При этом для условий юга Западной Сибири остаются не изученными вопросы влияния микроудобрений на урожайность и показатели качества многолетних лекарственных культур семейства Сложноцветные (*Asteraceae*). В качестве объектов исследований были выбраны многолетние лекарственные растения семейства Сложноцветные, использующиеся для производства фитопрепаратов противовоспалительного, ранозаживляющего, бактерицидного, желчегонного, антигельминтного, иммуностимулирующего и другого действия: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) и эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.).

**Цель исследований** – разработка научно обоснованной интеграционной системы диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности

микроудобрений в системе почва – многолетние лекарственные растения (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

**Задачи исследований:**

– изучить влияние расчётных доз цинковых и медных удобрений на урожайность лекарственных растений;

– оценить влияние микроэлементов на химический состав лугово-черноземной почвы Западной Сибири;

– дать эколого-агрохимическую оценку содержания и распределения микроэлементов в системе почва – растение;

– установить агрохимические и физиологические нормативные количественные характеристики потребности растений в макро- и микроэлементах, интенсивность действия Zn и Cu на химический состав почвы, растений, урожайность и качество лекарственного сырья;

– определить оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в системе удобрение – почва – растение;

– изучить антагонизм и синергизм ионов макро- и микроэлементов при поступлении их в растения в зависимости от уровня и соотношения макро- и микроэлементов в почве, физиологической потребности растительного организма на разных стадиях онтогенеза;

– дать экономическую и биоэнергетическую оценку применения микроудобрений под многолетние лекарственные культуры.

**Научная новизна работы.** Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири разработана научно обоснованная интеграционная система диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности микроудобрений в системе почва – многолетние лекарственные растения, позволяющая повышать их продуктивность и управлять качеством лекарственного сырья с целью усиления фармакологических эффектов.

Впервые на основе системного подхода изучено влияние и установлены математические закономерности действия и последствия ацетатных форм цинковых и медных удобрений на продуктивность и качество многолетних лекарственных культур (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная), содержание и соотношение ряда макро- и микроэлементов в лугово-черноземной почве и растениях в основные фазы их роста и развития, получены нормативные физиолого-агрохимические характеристики, позволяющие оптимизировать микроэлементное питание лекарственных растений на основе принципов единого комплексного метода «Интегральная система почвенно-растительной оперативной диагностики (ИСПРОД)». Определены оптимальное содержание и соотношение макро- и микроэлементов и предельное содержание цинка и меди в системе почва – лекарственные растения с учетом агроэкологических условий региона.

**Теоретическая значимость результатов исследования** заключается в разработке научно обоснованной системы диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности цинковых и медных удобрений при

выращивании многолетних лекарственных культур (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири, обеспечивающих повышение урожайности и улучшение качества лекарственного сырья при высоких показателях экономической и биоэнергетической эффективности. Полученные результаты способствуют развитию отечественного фармацевтического производства и сокращению импорта лекарственного растительного сырья, а также восстановлению и развитию эфиромасличного и лекарственного растениеводства в РФ.

**Практическая значимость результатов исследования и их реализация.** Для условий южной лесостепи Западной Сибири на основе комплексного метода «ИСПРОД» разработана научно обоснованная система диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности микроудобрений при выращивании многолетних лекарственных культур, позволяющая повышать урожайность и качество лекарственного сырья, тем самым способствуя накоплению ценных биологически активных веществ.

Даны практические рекомендации, включающие агрохимические приемы возделывания многолетних лекарственных культур на лугово-черноземной почве юга Западной Сибири, позволяющие увеличивать урожайность тысячелистника обыкновенного (трава) на 32-43 %, пижмы обыкновенной (соцветия) на 43-74 %, эхинацеи пурпурной (трава) на 21-61 %, корни – 25-56 %; содержание действующих веществ: эфирного масла (тысячелистник) на 34-93 %, флавоноидов в пересчете на лютеолин (тысячелистник) на 34-37 %, флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин (пижма) на 21-27 %, суммы фенолпропаноидов в пересчете на цикоревую кислоту (эхинацея) на 4-7 %.

Установленные нормативные количественные характеристики почвы и растений, позволяют диагностировать и в дальнейшем оптимизировать макро- и микроэлементное питание лекарственных культур в период их роста и развития и тем самым управлять плодородием почвы и питанием растений, корректируя урожайность и качество лекарственного сырья, снижая негативные последствия ионного равновесия в почве и несбалансированного поступления микроэлементов в растения. Предложены апробированные формулы расчета доз микроудобрений в основное внесение на основе установленных оптимальных уровней содержания микроэлементов в почве и растениях, коэффициентов интенсивности действия микроэлементов.

Материалы диссертационной работы рекомендованы к использованию специализированными сельскохозяйственными предприятиями при промышленном выращивании многолетних лекарственных культур в условиях юга Западной Сибири, а также могут применяться в медицине, ветеринарии, экологии, в работе кафедр и факультетов агрономического, экологического, биологического, фармацевтического профиля, в научных исследованиях и учебном процессе вузов страны, при написании учебников и справочников.

Результаты исследования внедрены и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А.

Столыпина», в производственной деятельности ФГБУ «Центр агрохимической службы «Омский».

**Методология и методы исследований.** Методология исследований включала анализ отечественных и зарубежных источников литературы, разработку рабочей гипотезы, постановку цели и задач исследований, проведение полевых опытов, наблюдений, лабораторных анализов по общепринятым методикам и ГОСТам, математическую обработку экспериментальных данных и их анализ. При проведении исследований применялся системный подход, основанный на принципах интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики («ИСПРОД»), разработанной Ю.И. Ермохиным (1995, 2005, 2020, 2021).

В работе были использованы эмпирические (полевые опыты, лабораторные исследования, графическое и табличное представление материалов) и теоретические (дисперсионный, регрессионный и корреляционный анализы) методы исследований.

#### **Защищаемые положения:**

1. Установленные оптимальные уровни содержания и ионного равновесия подвижных форм микро- и макроэлементов в почве, физиолого-агрохимические параметры и критерии оптимального и уравновешенного соотношения элементов питания в основные фазы роста и развития лекарственных растений (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) являются основой диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности применения расчётных доз микро- и макроэлементов при моделировании управления продукционными процессами в зональных условиях региона.

2. Разработанная ИСПРОД лекарственных растений позволяет предложить единый комплексный метод в триаде «удобрение – почва – растение» к оценке и прогнозу эффективного применения микроэлементов (цинка и меди) на фоне сбалансированного оптимального питания НРК.

**Степень достоверности результатов работы** подтверждена значительным объемом экспериментального материала, полученного в результате многолетних полевых опытов с удобрениями лекарственных культур, лабораторных исследований, проводимых с использованием современных агрохимических и экологических методов оценки содержания и соотношения элементов питания в почве и растениях; обоснованным методическим подходом при разработке теоретических и прикладных моделей системы «ИСПРОД», ориентированных на решение практических задач, в первую очередь диагностику и оптимизацию минерального питания растений, прогнозирование величины и качества урожая. Результаты, полученные в ходе исследований, подтверждены публикацией основных положений диссертации, статистической обработкой полученных данных.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований излагались и обсуждались на региональных (Омск, 2016, 2018), Всероссийских (национальных) (Тюмень, 2018; Рязань, 2019; Омск, 2019) и Международных (Ставрополь, 2014;

Москва, 2015, 2016; Омск, 2015, 2017, 2018, 2020; Вологда, 2017; Санкт-Петербург, 2019) научно-практических конференциях, форумах и конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО Омский ГАУ (2008-2015 гг.).

**Объем и структура диссертации.** Диссертация изложена на 426 страницах основного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов, практических рекомендаций, 71 приложения, содержит 118 таблиц, 18 рисунков. Библиографический список включает 648 источников, в том числе 276 – на иностранном языке.

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 48 работ, в том числе 19 – в ведущих научных изданиях и журналах, перечень которых утвержден ВАК Министерства образования Российской Федерации, из них 3 работы в журналах, входящих в международную базу Scopus и Web of Science.

**Личный вклад автора** состоит в самостоятельном сборе и обработке фактического материала, его анализе, непосредственном участии в закладке и проведении полевых опытов, лабораторных анализов почвенных и растительных проб, обработке экспериментального материала, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке научных положений и выводов, подготовке научных публикаций, написании и оформлении текста диссертации.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность за научно-методическое руководство и всестороннюю помощь своему научному консультанту доктору сельскохозяйственных наук, профессору, Заслуженному деятелю науки РФ, лауреату Государственной премии РФ имени академика Д. Н. Прянишникова, Почетному агрохимику России Юрию Ивановичу Ермохину.

Автор искренне признателен за помощь при проведении исследований директору ФГБУ ЦАС «Омский», д-ру с.-х. наук, профессору В.М. Красницкому, начальникам отделов Е.Н. Морозовой, М.В. Смирновой. Также автор благодарит заведующего кафедрой геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» д-ра биол. наук, доц. А.В. Синдиреву за ценные методические советы и всестороннюю помощь; декана фармацевтического факультета ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России канд. фарм. наук, доц. Е.А. Лукшу за консультирование и проведение экспериментальных исследований по определению показателей качества лекарственного сырья.

За регулярную помощь в проведении полевых и лабораторных опытов автор благодарит заведующую учебной лабораторией «Агрохимия» Е.Г. Пыхтареву, а также всех преподавателей, аспирантов и лаборантов кафедры агрохимии и почвоведения, и кафедры экологии, природопользования и биологии, а также обучающихся ФГБОУ ВО Омский ГАУ, принимавшим участие в проведении исследований.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В главе проведен анализ российских и зарубежных литературных источников, касаемых различных аспектов плодородия почв по содержанию подвижных форм цинка и меди и необходимости широкого применения микроудобрений (Аристархов А.Н., 2000, 2012, 2013, 2016; Волков А.В., 2015; Ермохин Ю.И., Синдирёва А.В., Трубина Н.К., 2001, 2002; Ермохин Ю.И., 2014; Орлова Э.Д., 1968, 1971, 1973, 1975, 1996, 2007; Сальникова Е.В., 2012, 2018; Скальный А.В., 2003; Сычев В.Г. и др., 2009; Ferreira da Silva R. de C., 2019; Gupta U., 2008; Reavesm G.A., 2006; Shukla A.K., 2018; Soumare M., 2003; Vanlauwe B., 2015). Освещены современные представления о физиологическом и биохимическом значении цинка и меди для растительных и животных организмов (Власюк П.А., 1969; Добролюбский О.К., 1956; Катыльмов М.В., 1965; Ковда В.А., 1975, 1985; Орлова Э.Д., 1989; Пейве Я.В., 1961, 1980; Удрис Г.А., 1990; Школьник М.Я., 1974; Ягодин Б.А., 1981; Alloway B.J., 2008; Begum M.C., 2016; Cakmak I., 2008; Chang H.B. 2005; Fageria N.K., 2002, 2004; Lebourg A., 1998; Vavoulidou E.E., 2005; Pavelkova M., 2018; Marschner H., 2012; Yruela I., 2005; Burkhead J.L., 2009; Tripathi D. K., 2015; Printz B., 2016; и др.). Показано взаимодействие цинка и меди с другими элементами в почвах и при поступлении в растения (Анспок П.Н., 1990; Аристархов А.Н., 2000; Сычев В.Г., Аристархов А.Н. и др., 2009; Aref, 2001; Adiloglu, Adiloglu, 2006; Lakshmanan et al., 2005; Camp and Fudge, 1945; Ozanne, 1955; Christensen and Jackson, 1981; Carrillo-González et al., 2006; Sauvé et al. 1997; Hinsinger and Courchesne 2008; Chaignon et al. 2002; Herbiket al. 2002; Panou-Filotheou и Vasabalidis, 2004; Bernalet al. 2006, 2007; и др.). Рассмотрены вопросы распространения, биологии, экологии, биохимического состава, значения и применения изучаемых лекарственных растений (Губанов И.А., 1993; Крылов Г.В., 1969; Куцик Р.В, 2002; Ладынина Е.А, Морозова Р.С, 1989; Лекарственные растения и их применение, 1976; Носов А.М., 2001; Сидельников Н.И, 2015; Чиков П.С., 1989; Шайдуллина Г.Г., 2000; Akram M., 2013; Benedeket al., 2007; Solecki, 1975; Heywood V.H., 1995; и др.).

### ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

**2.1 Объекты исследований.** В ходе исследований изучаемыми объектами служили: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) сорта White Beauty, пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) сорта Удача, эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) сорта Знахарь, лугово-черноземная почва южной лесостепи Омской области, микроэлементы медь и цинк в форме ацетатных солей, связанные в едином комплексе агротехнических мероприятий, почвенных и гидротермических условий.

**2.2 Агрохимическая характеристика почвы опытного участка.** Полевые опыты с многолетними лекарственными культурами проводили на опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ, расположенном в увально-прииртышском почвенном

районе южной лесостепи Омской области. Полевые опыты с тысячелистником обыкновенным и пижмой обыкновенной (опыты № 1-2) закладывали в 2012 г. на лугово-черноземной маломощной малогумусовой тяжелосуглинистой почве, с эхинацей пурпурной в 2016 г. на лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почве опытного поля Омского ГАУ. Агрохимические показатели данной почвы были следующие: гумус – 4,92 %; pH водной вытяжки – 6,5-6,8; сумма поглощенных оснований – 25,2-28,2 мг·экв/100 г. Перед посадкой лекарственных растений содержание нитратного азота в пахотном слое почвы было низкое, подвижного фосфора – среднее и высокое, обменного калия – высокое и очень высокое, обеспеченность подвижными формами цинка и меди была низкая (табл. 1).

**Таблица 1 – Агрохимическая характеристика лугово-черноземной почвы опытного поля**

Опыт	Содержание макро- и микроэлементов в слое почвы 0-30 см, мг/кг				
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn**	Cu**
Полевой опыт № 1-2 (тысячелистник, пижма)	9 / 7	60 / 216	138 / 419	0,65	0,08
Полевой опыт № 3 (эхинацея)	12,5 / 10	109,8 / 394	247 / 749	1,1	0,10
Оптимальное*	32	69	84	-	-
ПДК***	-	-	-	23	3

Примечание: Макроэлементы: в числителе – содержание, определенное в 2 %-ной уксуснокислой вытяжке, в знаменателе – стандартными методами (N-NO<sub>3</sub> в водной вытяжке; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O по Ф.В. Чирикову); \* – по Ермохину Ю.И. (Ермохин Ю.И., 1995); \*\* Zn и Cu определяли в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8; \*\*\* СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

**2.3 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований.** Характеристика агрометеорологических условий за период с 2012 по 2018 гг. проведена по данным ГМС г. Омска. Метеорологические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований складывались по-разному, что способствовало объективной оценке действия и последствий микроудобрений на продуктивность и показатели качества лекарственного сырья. Согласно показателю ГТК наиболее благоприятными по влагообеспеченности условия для роста и развития растений были в 2013 (ГТК=1,28) и 2015 (ГТК=1,16) годах. Среднесуточные температуры воздуха за вегетационный период незначительно превосходили среднеголетние значения в 2012, 2016 и 2017 гг., тогда как недобор тепла отмечен в 2013, 2015 и 2018 гг.

**2.4 Методика проведения полевых опытов.** Для решения поставленных задач по оптимизации микроэлементного питания лекарственных культур были заложены полевые опыты. Предшественником лекарственных культур в годы исследований был чистый пар. Микрополевые опыты закладывали по схемам, представленным в таблицах 2-3.

В полевых опытах медь и цинк вносили по фонам (N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> и N<sub>125</sub>), так как положительное действие микроэлементов проявляется только при оптимальном питании макроэлементами.

На основании ранее проведённых исследований 2004-2011 гг. (Тищенко Н.Н., 2011) с многолетними культурами, расчёт фонов осуществляли по формуле (1) (Ермохин Ю.И., 2010) с учётом потребности растений в удобрениях в основное внесение:

$$D_{п} = \frac{D_0 \cdot X_0}{X_{п}} \quad (1)$$

где  $D_{п}$  – предполагаемая доза удобрений, кг д.в./га;

$D_0$  – установленная на основании полевых опытов доза удобрений (кг д.в /га) при соответствующем содержании (мг/кг) элемента в почве ( $X_0$ );

$X_{п}$  – фактическое содержание соответствующего элемента в почве, мг/кг.

**Таблица 2 – Схема полевого опыта с тысячелистником обыкновенным (опыт №1) и пижмой обыкновенной (опыт №2), 2012-2015 гг.**

Удобрение	Вариант опыта	Доза удобрения, кг д.в./га	Доля ПДК элемента	
Без удобрений	Абсолютный контроль	–	–	
Аммиачная селитра, простой суперфосфат, хлористый калий	Фон (N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> )	N – 135 P – 45 K – 45	–	
Ацетат цинка	Фон +	Zn <sub>20</sub>	20	0,25
		Zn <sub>40</sub>	40	0,5
		Zn <sub>60</sub>	60	0,75
		Zn <sub>80</sub>	80	1,0
Ацетат меди		Cu <sub>2,4</sub>	2,4	0,25
		Cu <sub>4,9</sub>	4,9	0,5
		Cu <sub>7,2</sub>	7,2	0,75
		Cu <sub>9,7</sub>	9,7	1,0

**Таблица 3 – Схема полевого опыта с эхинацеей пурпурной (опыт № 3), 2016-2018 гг.**

Удобрение	Вариант опыта	Доза удобрения, кг д.в./га	Доля ПДК элемента	
Без удобрений	Абсолютный контроль	–	–	
Аммиачная селитра	Фон (N <sub>125</sub> )	125	–	
Ацетат цинка	Фон +	Zn <sub>10,7</sub>	10,7	0,25
		Zn <sub>21,4</sub>	21,4	0,5
		Zn <sub>32,4</sub>	32,4	0,75
		Zn <sub>42,8</sub>	42,8	1,0
Ацетат меди		Cu <sub>2,3</sub>	2,3	0,25
		Cu <sub>4,7</sub>	4,7	0,5
		Cu <sub>7,0</sub>	7,0	0,75
		Cu <sub>9,4</sub>	9,4	1,0

Медные и цинковые удобрения вносили в долях ПДК элемента: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 (таблицы 2-3). Дозы внесения микроэлементов в полевых опытах рассчитывали с учетом установленных ПДК (ПДК<sub>Cu</sub> = 3 мг/кг, ПДК<sub>Zn</sub> = 23 мг/кг) и фактического содержания элементов в почве до посадки.

Проводимые опыты – однофакторные, изучаемым фактором являлись различные дозы микроудобрений. В опытах с тысячелистником обыкновенным и пижмой обыкновенной варианты размещали систематически, последовательно в один ярус. В полевом опыте с эхинацеей пурпурной размещение вариантов также было систематическое, но ступенчатое, в несколько ярусов со сдвигом вариантов на две делянки. Размеры делянок во всех опытах 10 м<sup>2</sup>. Опыты закладывали в четырехкратной повторности. Макро- и микроудобрения вносили однократно в год посадки лекарственных растений в следующих формах: аммиачная селитра (N – 34 %), простой гранулированный суперфосфат (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 19,0 %), калий хлористый (K<sub>2</sub>O – 60,0 %), ацетат цинка ((CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Zn – 29,7 %) и ацетат меди ((CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Cu – 32 %).

Лекарственные растения выращивали рассадным способом. Посадку культур проводили в середине мая, уборку – в августе (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная) – сентябре (эхинацея пурпурная). Уход за посадками включал мероприятия, предусмотренные агротехнологиями возделывания изучаемых культур.

Закладка полевых опытов проводилась по общепринятым методикам, разработанным и утвержденным РАСХН для лекарственных культур: «Проведение полевых опытов с лекарственными культурами» (М, 1981); «Методика исследований при интродукции лекарственных растений» (М, 1984). Учёты, наблюдения, отбор и анализ почвенных и растительных образцов проводили по общепринятым методикам (Доспехов, 1985; Методика..., 1967; Ягодин, 1987).

**2.5 Методика лабораторных исследований.** Лабораторные исследования проводили в агрохимической лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ, а также на базе ФГБУ «ЦАС «Омский», ФГБУ «Омский референтный центр Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору», ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России.

В полевых опытах 2012-2018 гг. химические анализы почвенных и растительных образцов проводили на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ и в аккредитованной лаборатории Центра агрохимической службы «Омский» общепринятыми в агрохимии и почвоведении методами (Практикум по агрохимии, 2008; Самофалова И.А., 2013).

Отбор и пробоподготовка почвенных и растительных образцов осуществлялись по общепринятым методикам. Гумус определяли по методу И. В. Тюрина в модификации В.Н. Симаковой, сумму поглощенных оснований по К.К. Гедройцу, гранулометрический состав по Н.А. Качинскому, рН потенциометрическим методом, нитратный азот (водная вытяжка); подвижный фосфор, обменный калий по Ф.В. Чирикову (ГОСТ 26204-91). В почвенных пробах в 2%-ной CH<sub>3</sub>COOH вытяжке (соотношение почвы и раствора 1:5) определяли нитратный азот – по Грандваль-Ляжу с дисульфобензоевой кислотой, подвижный фосфор – по Дениже в модификации Малюгина и Хреновой, калий – методом пламенной фотометрии. В свежих растительных образцах в основные фазы определяли – нитратный азот (Nн), неорганический фосфор (Pн) и свободный калий (Kс) с помощью 2%-ной уксуснокислой вытяжки в соотношении 1:20 по

методике К.П. Магницкого (Магницкий К.П., 1972) в модификации Ю.И. Ермохина (Ермохин Ю.И., 1975). Валовые N, P, K определяли методом мокрого озоления по К.Е. Гинзбург и Г.М. Щегловой; N – методом индофенольной зелени; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – по Денеже в модификации А. Малюгина и Е. Хреновой; K<sub>2</sub>O – на пламенном фотометре.

Содержание подвижных форм микроэлементов (цинк, медь) в почвенных образцах измеряли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Varian AA-140» по ГОСТ 30178-96 (Cu – ГОСТ Р 50683-94, Zn – ГОСТ Р 50686-94) метод Крупского и Александровой. В растительных образцах после предварительного сухого озоления (525±25°C) определяли цинк, медь, железо и марганец атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 27997-88; ГОСТ 27998-88; ГОСТ 30692-2000).

Содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в лекарственном сырье определяли согласно ОФС.1.5.3.0009.15 в ФГБУ «Омский референтный центр Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору».

Фитохимический анализ проводили в образцах сырья, собранных в фазу массового цветения. Определение показателей качества проводили в лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения Омского ГАУ, а также на кафедре фармацевтической, аналитической и токсикологической химии ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России. Для лекарственных растений были определены следующие показатели (согласно ГФ РФ, XIV издание): влажность (ОФС.1.5.3.0007.15), общая зола (ОФС ОФС.1.2.2.2.0013.15). Кроме этого, в тысячелистнике обыкновенном (трава) определяли эфирное масло (ОФС.1.5.3.0010.15), экстрактивные вещества (ОФС.1.5.3.0006.15), сумму флавоноидов в пересчете на лютеолин (ФС.2.5.0101.18); в пижме обыкновенной (цветки) – сумму флавоноидов и фенилкарбонновых кислот в пересчете на лютеолин (ФС.2.5.0031.15); в эхинацеи пурпурной (трава) – сумму фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту (ФС.2.5.0055.15). Дополнительно в лекарственном растительном сырье нами были определены такие биологически активные вещества, как аскорбиновая кислота (по Мурри), каротин (ГОСТ 13496.17-2019), дубильные вещества в пересчете на танин (ОФС.1.5.3.0008.15).

Для установления специфики лекарственных культур (биологических особенностей) и влияния различных доз микроудобрений (цинковых и медных) на интенсивность поглощения микроэлементов были рассчитаны коэффициенты концентрации Zn и Cu в почве и растениях относительно ПДК/МДУ и фона ( $K_{кп}$ ,  $K_{кр}$ ) и коэффициенты накопления ( $K_n$ ) (СанПиН 1.2.3685-21; Ильин В.Б., 1986).

Биоэнергетическую эффективность применения микроудобрений рассчитывали согласно рекомендациям Ю.И. Ермохина и А.Ф. Неклюдова (Ермохин Ю.И., 1994).

Результаты полевых и лабораторных исследований были подвергнуты математической обработке методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализов (Доспехов Б. А., 1985). Статистическая обработка экспериментальных данных включала расчёт средних ( $M$ ), стандартных ошибок средних ( $\pm SEM$ ), а также регрессионный и корреляционный анализ. Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разности ( $НСР_{05}$ ) при уровне

значимости 5 %. Для определения взаимосвязей между изучаемыми показателями проводили корреляционный анализ с использованием коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ ) для нормально распределенных выборок. Достоверными считали значения коэффициентов корреляции при  $p < 0,05$ . Качество (прогноз) моделей оценивали с помощью коэффициента детерминации, относительной и средней ошибок аппроксимации и  $F$  – критерия Фишера при уровне значимости 5%. Для статистической обработки данных использовали стандартные пакеты компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и STATISTICA 6.0 «StatSoft, Inc.», США).

### **ГЛАВА 3. ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В МИКРОУДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА**

Исследования, проводимые в течение 2012-2018 гг., показали, что действие и последствие микроэлементов на урожайность лекарственных растений зависели от биологических особенностей культур, метеорологических условий, вносимого элемента и его дозы.

**3.1 Микроудобрения - урожайность тысячелистника обыкновенного.** По результатам полевого опыта 2012-2015 гг. максимальная прибавка общей урожайности тысячелистника обыкновенного от Zn наблюдалась при применении его в дозе 60 кг д.в./га (0,75 ПДК Zn, 12 т/га, 32 %), меди – в дозе 9,7 кг д.в./га (1,0 ПДК Cu, 16,2 т/га, 43,2 %). Окупаемость 1 кг медных удобрений урожаем на лучшем варианте опыта (1,0 ПДК Cu) составила 1,67 т (табл. 4).

Кроме влияния микроудобрений на урожайность общей биомассы тысячелистника, было выявлено действие и последствие микроудобрений на урожайность соцветий (табл. 4). Положительное влияние на биосинтез сухого вещества соцветий тысячелистника обыкновенного оказали цинковые удобрения в дозе 60 кг д.в./га и медные в дозе 9,7 кг д.в./га. В сумме за 4 года исследований (2012-2015 гг.) урожайность соцветий в варианте 0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га) составила 14,4 (+2,4 т/га к фону) т/га, в варианте 1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га) – 15,8 т/га (+3,8 т/га к фону) (табл. 4).

**3.2 Микроудобрения – урожайность пижмы обыкновенной.** Исследования показывают (табл. 5), что в опыте с пижмой обыкновенной формированию более высокой урожайности, как средней (20,2 т/га), так и общей за 4 года (80,9 т/га), способствовали цинковые удобрения в сравнении с медными. Так, в сумме за 2012-2015 гг. разовое внесение расчетных доз цинка в 2012 г. в дозе 60 кг д.в./га обеспечивало прибавку 24,3 т/га (табл. 5). Максимальная урожайность в сумме за 2012-2015 гг. от внесения медных удобрений (2012 г.) отмечалась в варианте 0,75 ПДК Cu (7,2 кг д.в./га) и составила 71,2 т/га (прибавка относительно фона 14,6 т/га). Дальнейшее увеличение дозы меди снижало урожайность до 63,9 т/га (табл. 5).

**Таблица 4 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества общей биомассы и соцветий тысячелистника обыкновенного. Полевой опыт 2012-2015 гг.**

Вариант опыта	Средняя урожайность общей биомассы, т/га	Прибавка		Общая урожайность общей биомассы за 4 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		Средняя урожайность соцветий, т/га	Прибавка		Общая урожайность соцветий за 4 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		
		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu	
Контроль (без удобрений)	9,2	-	-	36,8	-	-	-	-	2,5	-	-	10,1	-	-	-	-	
Фон (N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> )	9,4	-	-	37,5	-	-	-	-	3,0	-	-	12,0	-	-	-	-	
Фон	0,25 ПДК Zn (20 кг/га)	11,0	1,6	17,0	43,9	6,4	17,1	0,32	-	3,5	0,5	16,7	13,9	1,9	15,8	0,10	-
	0,50 ПДК Zn (40 кг/га)	11,9	2,5	26,6	47,4	9,9	26,4	0,25	-	3,5	0,5	16,7	14,0	2,0	16,7	0,05	-
	<b>0,75 ПДК Zn (60 кг/га)</b>	<b>12,4</b>	<b>3,0</b>	<b>31,9</b>	<b>49,5</b>	<b>12,0</b>	<b>32,0</b>	<b>0,20</b>	-	<b>3,6</b>	<b>0,6</b>	<b>20,0</b>	<b>14,4</b>	<b>2,4</b>	<b>20,0</b>	<b>0,04</b>	-
	1,0 ПДК Zn (80 кг/га)	11,3	1,9	20,2	45,2	7,7	20,5	0,10	-	3,8	0,8	26,7	15,0	3,0	25,0	0,04	-
	0,25 ПДК Cu (2,4 кг/га)	11,6	2,2	23,4	46,4	8,9	23,7	-	3,71	3,3	0,3	10,0	13,2	1,2	10,0	-	0,50
	0,50 ПДК Cu (4,9 кг/га)	12,2	2,8	29,8	48,8	11,3	30,1	-	2,31	3,5	0,5	16,7	13,8	1,8	15,0	-	0,37
	0,75 ПДК Cu (7,2 кг/га)	13,2	3,8	40,4	52,8	15,3	40,8	-	2,13	4,0	1,0	33,3	15,9	3,9	32,5	-	0,54
	<b>1,0 ПДК Cu (9,7 кг/га)</b>	<b>13,4</b>	<b>4,0</b>	<b>42,6</b>	<b>53,7</b>	<b>16,2</b>	<b>43,2</b>	-	<b>1,67</b>	<b>3,9</b>	<b>0,9</b>	<b>30,0</b>	<b>15,8</b>	<b>3,8</b>	<b>31,7</b>	-	<b>0,39</b>
НСР <sub>05</sub>	0,55								0,42								

**Таблица 5 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества общей биомассы и соцветий пижмы обыкновенной. Полевой опыт 2012-2015 гг.**

Вариант опыта	Средняя урожайность общей биомассы, т/га	Прибавка		Общая урожайность общей биомассы за 4 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		Средняя урожайность соцветий, т/га	Прибавка		Общая урожайность соцветий за 4 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		
		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu	
Контроль (без удобрений)	13,7	-	-	54,8	-	-	-	-	3,3	-	-	13,2	-	-	-	-	
Фон (N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> )	14,2	-	-	56,6	-	-	-	-	3,5	-	-	14,1	-	-	-	-	
Фон	0,25 ПДК Zn (20 кг/га)	16,1	1,9	13,4	64,3	7,7	13,6	0,39	-	4,3	0,8	22,9	17,3	3,2	22,7	0,16	-
	0,50 ПДК Zn (40 кг/га)	17,0	2,8	19,7	68,2	11,6	20,5	0,29	-	5,4	1,9	54,3	21,6	7,5	53,2	0,19	-
	<b>0,75 ПДК Zn (60 кг/га)</b>	<b>20,2</b>	<b>6,0</b>	<b>42,3</b>	<b>80,9</b>	<b>24,3</b>	<b>42,9</b>	<b>0,41</b>	-	<b>6,1</b>	<b>2,6</b>	<b>74,3</b>	<b>24,4</b>	<b>10,3</b>	<b>73,0</b>	<b>0,17</b>	-
	1,0 ПДК Zn (80 кг/га)	16,7	2,5	17,6	66,8	10,2	18,0	0,13	-	4,2	0,7	20,0	17,0	2,9	20,6	0,04	-
	0,25 ПДК Cu (2,4 кг/га)	14,7	0,5	3,5	58,8	2,2	3,9	-	0,92	4,3	0,8	22,9	17,1	3,0	21,3	-	1,25
	0,50 ПДК Cu (4,9 кг/га)	16,0	1,8	12,7	63,8	7,2	12,7	-	1,47	4,7	1,2	34,3	18,8	4,7	33,3	-	0,96
	<b>0,75 ПДК Cu (7,2 кг/га)</b>	<b>17,8</b>	<b>3,6</b>	<b>25,4</b>	<b>71,2</b>	<b>14,6</b>	<b>25,8</b>	-	<b>2,02</b>	<b>5,0</b>	<b>1,5</b>	<b>42,9</b>	<b>20,2</b>	<b>6,1</b>	<b>43,3</b>	-	<b>0,85</b>
	1,0 ПДК Cu (9,7 кг/га)	16,0	1,8	12,7	63,9	7,3	12,9	-	0,75	4,0	0,5	14,3	15,9	1,8	12,8	-	0,19
НСР <sub>05</sub>	2,16								0,64								



Одним из важных показателей результативности использования различных доз удобрений является окупаемость единицы внесенного питательного элемента урожаем. В сумме за годы исследований (2012-2015 гг.), каждый килограмм цинка в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га), на фоне сбалансированного минерального питания, позволил дополнительно получить с одного гектара 0,41 т урожая пижмы обыкновенной (табл. 5).

В научной медицине лекарственным сырьем являются также соцветия пижмы обыкновенной, поэтому нами было выявлено влияние микроудобрений на их урожайность. Средняя и общая урожайность соцветий за 4 года исследований (2012-2015 гг.) повышалась до оптимальной дозы цинка (60 кг/га) и составила соответственно 6,1 и 24,4 т/га; и до оптимальной дозы меди (7,2 кг/га) – 5,0 и 20,2 т/га (табл. 5).

**3.3 Микроудобрения – урожайность эхинацеи пурпурной.** Максимальная урожайность растений эхинацеи в сумме за три года отмечалась при внесении Zn в дозе 21,4 кг д.в./га и составила 29,8 т/га, дальнейшее увеличение доз приводило к снижению продуктивности до уровня контрольных и фоновых значений (23,1-23,7 т/га). Наибольшее воздействие на рост эхинацеи пурпурной в годы проведения исследований оказали медные удобрения. Максимальная урожайность была отмечена в варианте 1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га) – 39,6 т/га (табл. 6).

Кроме этого, в исследованиях было выявлено влияние цинковых и медных удобрений, внесённых в почву, на урожайность соцветий и корневищ эхинацеи пурпурной (табл. 6). Максимальная урожайность соцветий в сумме за 2 года (2017-2018 гг.) отмечалась при внесении цинковых и медных удобрений в почву в дозах 21,4 кг д.в./га и 9,4 кг д.в./га и составила 7,6 и 10,0 т/га (табл. 6). Медные удобрения оказались более эффективными при формировании генеративных органов эхинацеи пурпурной, в сравнении с цинковыми.

В области оптимальных дозировок микроудобрений были установлены коэффициенты интенсивности действия «*b*» единицы поступивших в почву Zn и Cu на формирование величины урожайности абсолютно сухого вещества лекарственных культур (табл. 7).

**Таблица 7 – Коэффициенты интенсивности действия «*b*» единицы поступивших в почву цинка и меди (кг д.в./га) на формирование величины урожайности абсолютно сухого вещества лекарственных культур (т/га)**

Культура	Коэффициент интенсивности действия, т/га	
	<i>b</i> <sub>Zn</sub>	<i>b</i> <sub>Cu</sub>
Общая биомасса		
Тысячелистник обыкновенный	0,20	1,60
Пижма обыкновенная	0,38	2,02
Эхинацея пурпурная	0,24	1,65
Соцветия		
Тысячелистник обыкновенный	0,04	0,42
Пижма обыкновенная	0,18	0,83
Эхинацея пурпурная	0,18	0,69
Корневища		
Эхинацея пурпурная	0,10	0,48

**Таблица 6 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества общей биомассы, соцветий и корневищ эхинацеи пурпурной. Полевой опыт 2016-2018 гг.**

Вариант опыта	Средняя урожайность общей биомассы, т/га	Прибавка		Общая урожайность общей биомассы за 3 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		Урожайность корневищ, т/га	Средняя урожайность соцветий за 2 года, т/га	Прибавка		Сумма соцветий за 2 года, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т		
		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu	
Контроль (без удобрений)	7,5	-	-	22,6	-	-	-	-	7,9	1,9	-	-	3,7	-	-	-	-	
Фон (N <sub>125</sub> )	8,2	-	-	24,7	-	-	-	-	8,4	1,9	-	-	3,8	-	-	-	-	
Фон	0,25 ПДК Zn (10,7 кг/га)	8,8	0,6	7,3	26,3	1,6	6,5	0,15	-	8,8	3,2	1,3	68,4	6,4	2,6	68,4	0,24	-
	<b>0,50 ПДК Zn (21,4 кг/га)</b>	<b>9,9</b>	<b>1,7</b>	<b>20,7</b>	<b>29,8</b>	<b>5,1</b>	<b>20,6</b>	<b>0,24</b>	-	<b>10,5</b>	<b>3,8</b>	<b>1,9</b>	<b>100,0</b>	<b>7,6</b>	<b>3,8</b>	<b>100,0</b>	<b>0,18</b>	-
	0,75 ПДК Zn (32,4 кг/га)	7,7	-	-	23,1	-	-	-	-	8,7	2,8	0,9	47,4	5,5	1,7	44,7	0,05	-
	1,0 ПДК Zn (42,8 кг/га)	7,9	-	-	23,7	-	-	-	-	8,5	2,5	0,6	31,6	4,9	1,1	28,9	0,03	-
	0,25 ПДК Cu (2,3 кг/га)	9,7	1,5	18,3	29,0	4,3	17,4	-	1,87	10,8	2,8	0,9	47,4	5,5	1,7	44,7	-	0,74
	0,50 ПДК Cu (4,7 кг/га)	11,1	2,9	25,4	33,4	8,7	35,2	-	1,85	11,8	3,6	1,7	89,5	7,2	3,4	89,5	-	0,72
	0,75 ПДК Cu (7,0 кг/га)	12,7	4,5	54,9	38,0	13,3	53,8	-	1,90	12,7	4,7	2,8	147,4	9,3	5,5	144,7	-	0,79
	<b>1,0 ПДК Cu (9,4 кг/га)</b>	<b>13,2</b>	<b>5,0</b>	<b>61,0</b>	<b>39,6</b>	<b>14,9</b>	<b>60,3</b>	-	<b>1,59</b>	<b>13,1</b>	<b>5,0</b>	<b>3,1</b>	<b>163,2</b>	<b>10,0</b>	<b>6,2</b>	<b>163,2</b>	-	<b>0,66</b>
НСР <sub>05</sub>	0,27									0,22								

В соответствии с исследованиями Ю.И. Ермохина (1983, 1995, 2014), зависимость между дозой удобрений и элементами минерального питания в почве обратно пропорциональная, то есть, чем выше содержание микроэлементов в почве, тем ниже дозы вносимых микроудобрений (формула 2).

$$D_o \cdot X_o = D_{II} \cdot X_{II} \quad (2)$$

где  $D_o$  – установленная оптимальная доза микроудобрений в кг д.в./га при соответствующем содержании элементов в почве до посадки, мг/кг ( $X_o$ );

$D_{II}$  – доза удобрений в кг д.в./га, прогнозируемая в зависимости от содержания элементов питания в почве конкретного поля, мг/кг ( $X_{II}$ ).

Основываясь на лучших вариантах опыта при внесении микроудобрений, предложены формулы для расчёта ориентировочных доз цинковых и медных удобрений (табл. 8).

**Таблица 8 – Расчётные дозы микроудобрений под лекарственные растения**

Содержание элементов питания в почве до посадки, мг/кг		Оптимальная доза элемента, установленная в полевом опыте, кг д.в./га		Формула расчёта доз удобрений, кг/га
Тысячелистник обыкновенный				
Zn	0,65	Zn	60	$D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$
Cu	0,35	Cu	9,7	$D_{Cu} = \frac{0,78}{Cu}$
Пижма обыкновенная				
Zn	0,65	Zn	60	$D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$
Cu	0,35	Cu	7,2	$D_{Cu} = \frac{0,58}{Cu}$
Эхинацея пурпурная				
Zn	1,10	Zn	21,4	$D_{Zn} = \frac{23,5}{Zn}$
Cu	0,10	Cu	9,4	$D_{Cu} = \frac{0,94}{Cu}$

Данный метод расчёта позволяет уточнять экспериментальные дозы удобрений для конкретных зональных условий в зависимости от химического состава почвы, повысить их эффективность под различные культуры и получать высокие урожаи хорошего качества.

## ГЛАВА 4. СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

**4.1 Содержание кислоторастворимых форм цинка и меди в почве при применении микроудобрений.** В таблицах 9-10 рассматриваются основные закономерности распределения в лугово-чернозёмной почве кислоторастворимых форм ( $5M HNO_3$ ) Zn и Cu при однократном внесении в почву цинковых и медных удобрений в опытах с тысячелистником обыкновенным и пижмой обыкновенной.

Содержание в слое почвы 0-30 см валового кислоторастворимого цинка варьировало в опыте с тысячелистником от 41,1 до 68,1 мг/кг, в опыте с пижмой

обыкновенной от 43,0 до 54,6 мг/кг, т.е. при внесении в почву Zn удобрений отмечается высокая обеспеченность (> 40 мг/кг) почв данным элементом. При этом в проводимых исследованиях с лекарственными культурами превышений ОДК (220 мг/кг) не отмечалось ни на одном из вариантов опыта (табл. 9).

**Таблица 9 – Содержание кислоторастворимой формы Zn в лугово-черноземной почве (год действия, 2012 г.). Опыт №1-2 (M±SEM, n = 24)**

Вариант опыта	Содержание Zn, мг/кг	
	Тысячелистник	Пижма
Контроль	23,5 ± 2,83	24,9 ± 2,33
N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (фон)	24,2 ± 2,73	25,1 ± 2,30
Фон	Zn <sub>20</sub>	41,1 ± 0,29
	Zn <sub>40</sub>	46,7 ± 0,51
	Zn <sub>60</sub>	55,2 ± 1,74
	Zn <sub>80</sub>	68,1 ± 3,60
ОДК <sub>Zn</sub>	220	

Между вносимым в лугово-черноземную почву ацетатом цинка (кг д.в./га) в пределах оптимальных доз и содержанием цинка в почве (мг/кг) были установлены линейные зависимости (уравнения 3-4), указывающие, что внесение 1 кг д.в.Zn/га приводит к повышению в почве под лекарственными растениями кислоторастворимого цинка на 0,49 (тысячелистник) и 0,41 (пижма) мг/кг.

$$\text{тысячелистник: } Y_{Zn} = 0,49 x + 27,0; \quad r = 0,97 \quad (3)$$

$$\text{пижма: } Y_{Zn} = 0,41 x + 29,4; \quad r = 0,92 \quad (4)$$

Содержание кислоторастворимых форм меди в почве изменялось от 13,4 до 14,2 мг/кг (опыт с тысячелистником) и от 12,1 до 14,6 мг/кг (опыт с пижмой обыкновенной) (табл. 10). ОДК валовой меди в почве составляет 132 мг/кг и в исследуемых вариантах опыта превышения не отмечалось.

**Таблица 10 – Содержание кислоторастворимой формы Cu в лугово-черноземной почве (год действия, 2012 г.). Опыт №1-2 (M±SEM, n = 24)**

Вариант опыта	Содержание Cu, мг/кг	
	Тысячелистник	Пижма
Контроль	7,9 ± 0,57	8,6 ± 0,49
N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (фон)	8,1 ± 0,54	8,9 ± 0,45
Фон	Cu <sub>2,4</sub>	13,4 ± 0,21
	Cu <sub>4,9</sub>	13,8 ± 0,28
	Cu <sub>7,2</sub>	13,9 ± 0,29
	Cu <sub>9,7</sub>	14,2 ± 0,33
ОДК <sub>Cu</sub>	132	

Математические уравнения связи (5-6) между внесением 1 кг д.в.Cu/га в пределах оптимальных доз и содержанием кислоторастворимой меди в почве показывают, что коэффициент интенсивности действия на почву («b» составил 0,52 (тысячелистник) и 0,74 (пижма) мг/кг.

$$\text{тысячелистник: } Y_{Cu} = 0,52 x + 10,16; \quad r = 0,77 \quad (5)$$

$$\text{пижма: } Y_{Cu} = 0,74 x + 9,54; \quad r = 0,96 \quad (6)$$

Анализ данных таблиц 9-10 и уравнений 3-6 позволяет сделать вывод о том, что для увеличения содержания кислоторастворимых форм Zn и Cu до 1 мг/кг требуется внести в почву соответственно цинка 2,0-2,4 и меди 1,4-1,9 кг/га.

**4.2 Содержание подвижных форм цинка и меди в почве при применении микроудобрений.** Особый интерес представляет анализ изменения содержания подвижных форм микроэлементов Zn и Cu в результате их внесения в лугово-черноземную почву. В связи с этим в наших исследованиях было изучено содержание Zn и Cu до и после введения их в почву.

Математическая обработка полученных многолетних данных в опытах с лекарственными культурами позволила получить уравнения зависимости содержания подвижного цинка ( $Y_{Zn}$ ) и меди ( $Y_{Cu}$ ) в слое почвы 0-30 см от доз вносимых цинковых и медных удобрений (табл. 11, уравнения 7-18).

**Таблица 11 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений и содержанием цинка и меди в почве под лекарственными растениями (в среднем за период исследований)**

Культура	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b», мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
Тысячелистник обыкновенный	$Y_{Zn} = 0,02 Zn + 1,05$ (7)	0,02	r = 0,96
	$Y_{Cu} = 0,006 Cu + 0,11$ (8)	0,006	r = 0,96
	$Y_{Cu} = 0,001 Zn + 0,11$ (9)	0,001	r = 0,91
	$Y_{Zn} = 0,08 Cu + 1,08$ (10)	0,08	r = 0,95
Пижма обыкновенная	$Y_{Zn} = 0,13 Zn + 0,37$ (11)	0,13	r = 0,97
	$Y_{Cu} = 0,01 Cu + 0,14$ (12)	0,01	r = 0,99
	$Y_{Cu} = 0,001 Zn + 0,13$ (13)	0,001	r = 0,99
	$Y_{Zn} = 0,34 Cu + 1,03$ (14)	0,34	r = 0,95
Эхинацея пурпурная	$Y_{Zn} = 0,28 Zn + 2,08$ (15)	0,28	r = 0,95
	$Y_{Cu} = 0,02 Cu + 0,23$ (16)	0,02	r = 0,96
	$Y_{Cu} = 0,005 Zn + 0,26$ (17)	0,005	r = 0,97
	$Y_{Zn} = 0,54 Cu + 1,61$ (18)	0,54	r = 0,99

В среднем за годы исследований в опыте с тысячелистником обыкновенным разовое применение каждого килограмма Zn и Cu удобрений повышает содержание в почве Zn (в пределах оптимальной дозы) на 0,02 мг/кг (табл. 11, уравнение 7), а Cu на 0,006 мг/кг почвы (табл. 11, уравнение 8). В опыте с пижмой обыкновенной 1 кг Zn/га равен 0,13 мг/кг, т.е. для повышения подвижного цинка в почве на 1 мг/кг необходимо внести 7,7 кг цинковых удобрений (табл. 11, уравнение 11); 1 мг подвижной меди на кг почвы эквивалентно 100 кг медных удобрений (табл. 11, уравнение 12). В полевом опыте с эхинацеей пурпурной один кг Zn удобрений увеличивал концентрацию цинка в почвенном растворе в среднем за период исследований (2016-2018 гг.) на 0,28 мг/кг (табл. 11, уравнение 15), 1 кг медьсодержащих удобрений повышал содержание Cu в почве на 0,02 мг/кг (табл. 11, уравнение 16).

Поступившие в почву макро- и микроудобрения способны влиять на мобильность и ряда других элементов в почве (Ермохин Ю.И., Синдирева А.В., 2015; Ермаков В.В., 2016; Ермохин Ю.И., Красницкий В.М., 2019; Ильин В.Б., Сысо А.И., 2001), поэтому на основе содержания подвижных форм Zn и Cu в почве были получены не только прямые, но и обратные связи между Zn ↔ Cu. Было выявлено, что медные удобрения в большей степени повышали содержание

подвижного цинка в почве, в сравнении с цинковыми удобрениями. Коэффициент интенсивности действия «*b*» одного килограмма внесённой меди на содержание цинка в почве в среднем за годы исследований в зависимости от культуры составлял 0,08 (тысячелистник, табл. 11, уравнение 10), 0,34 (пижма, табл. 11, уравнение 14), 0,54 (эхинацея, табл. 11, уравнение 18). Цинковые удобрения в меньшей степени повышали содержание меди в почве – 0,001 (тысячелистник, пижма) и 0,005 (эхинацея) мг/кг (табл. 11, уравнения 9, 13, 17). Из чего следует, что медные удобрения повышают не только содержание меди в почве, но и цинка, что позволяет сделать вывод о наличии синергизма между  $Cu \rightarrow Zn$  и тем самым снизить антропогенную нагрузку на почву и растения при внесении микроудобрений.

**4.3 Влияние цинковых и медных удобрений на баланс макроэлементов в лугово-черноземной почве.** В задачу исследований входило установить влияние внесённых микроудобрений под лекарственные растения на баланс не только микро-, но макроэлементов в почве.

Внесение в почву оптимальных доз цинковых и медных удобрений на фоне макроэлементов ( $N_{135}P_{45}K_{45}$  и  $N_{125}$ ) изменяло содержание азота, фосфора и калия в лугово-черноземной почве. С помощью корреляционно-регрессионного анализа были получены математические уравнения, характеризующие связи между дозами вносимых микроудобрений и содержанием  $N-NO_3$ ,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почве в среднем за годы исследований в фазу отрастания лекарственных культур (табл. 12, уравнения 19-27).

**Таблица 12 – Зависимость содержания макроэлементов в почве от разового внесения расчётных доз микроудобрений при возделывании лекарственных культур**

Культура	Оптимальная доза	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия « <i>b</i> »	Коэффициент корреляции (r)
Тысячелистник обыкновенный	$Cu_{9,7}$	$N-NO_3 = 0,37 Cu + 6,80$ (19)	0,37	$r = 0,94$
		$P_2O_5 = 4,30 Cu + 72,80$ (20)	4,30	$r = 0,93$
		$K_2O = 3,11 Cu + 127,8$ (21)	3,11	$r = 0,95$
Пижма обыкновенная	$Zn_{60}$	$N-NO_3 = 0,07 Zn + 9,75$ (22)	0,07	$r = 0,99$
		$P_2O_5 = 0,45 Zn + 79,30$ (23)	0,45	$r = 0,99$
		$K_2O = 0,93 Zn + 136,1$ (24)	0,93	$r = 0,98$
Эхинацея пурпурная	$Cu_{9,4}$	$N-NO_3 = 0,52 Cu + 15,01$ (25)	0,52	$r = 0,99$
		$P_2O_5 = 3,50 Cu + 60,72$ (26)	3,50	$r = 0,98$
		$K_2O = 5,53 Cu + 135,32$ (27)	5,53	$r = 0,87$

На основе установленных оптимальных доз микроудобрений были определены оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в лугово-черноземной почве (табл. 13).

**Таблица 13 – Оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в слое почвы 0-30 см (в среднем за период исследований)**

Культура	Оптимальное содержание, мг/кг					Оптимальное соотношение, мг/кг
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	
Тысячелистник обыкновенный	Медное питание (оптимальная доза Cu <sub>9,7</sub> )					
	11	122	161	2,0	0,17	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≈ 11 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0.8 K <sub>2</sub> O ≈ 61 (28) Zn ≈ 718 Cu
Пижма обыкновенная	Цинковое питание (оптимальная доза Zn <sub>60</sub> )					
	14	107	189	8,5	0,20	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≈ 7 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0.6 K <sub>2</sub> O ≈ 13 (29) Zn ≈ 535 Cu
Эхинацея пурпурная	Медное питание (оптимальная доза Cu <sub>9,4</sub> )					
	20	92	178	6,8	0,41	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≈ 5 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0.5 K <sub>2</sub> O ≈ 14 (30) Zn ≈ 224 Cu

Оптимальное соотношение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≈ N-NO<sub>3</sub> ≈ K<sub>2</sub>O ≈ Zn ≈ Cu в слое почвы 0-30 см показывает, что при сбалансированном содержании макро- и микроэлементов при возделывании лекарственных растений на 1 часть N-NO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Zn и Cu должно приходиться 5-11, 0,5-0,8, 13-61 и 224-718 частей P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (табл. 13, уравнения 28-30).

Установленные оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов в почве (табл. 13), позволяют диагностировать эффективность удобрений и нормировать их дозы внесения под конкретные культуры с целью оптимизации питания тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной.

**4.4 Физиолого-агрохимические нормативные показатели минерального питания лекарственных растений и эффективности применения удобрений.** Наиболее благоприятные условия для произрастания культур, создания высокого урожая и потребления элементов питания из почвы и удобрений в среднем за годы исследований сложились в вариантах Cu<sub>9,7</sub> (тысячелистник обыкновенный), Zn<sub>60</sub> (пижма обыкновенная), Cu<sub>9,4</sub> (эхинацея пурпурная), поэтому для расчёта оптимальных доз удобрений под изучаемые лекарственные растения необходимо использовать нормативные данные, представленные в таблице 14.

**Таблица 14 – Нормативные агрохимические показатели минерального питания лекарственных культур**

Культура	Показатель	Оптимальная доза	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu
Тысячелистник обыкновенный	Вынос, кг/т	Cu <sub>9,7</sub>	34,3	11,5	22,2	0,026	0,0084
	КИП, %		91,8	28,6	66,2	4,2	16,9
	ПЭУ, %		-	-	-	1,3	0,34
Пижма обыкновенная	Вынос, кг/т	Zn <sub>60</sub>	30,13	7,87	46,1	0,040	0,0077
	КИП, %		91,6	33,1	78,1	2,0	7,8
	ПЭУ, %		-	-	-	0,29	0,037
Эхинацея пурпурная	Вынос, кг/т	Cu <sub>9,4</sub>	27,6	4,6	44,2	0,017	0,0043
	КИП, %		75,0	14,7	58,0	1,1	4,6
	ПЭУ, %		87,1	-	-	1,1	0,27

Полученные нормативные агрохимические характеристики позволяют оптимизировать эффективность применяемых микроэлементов в системе почва – удобрение – растение.

## ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ

**5.1 Содержание и соотношение валовых макроэлементов в лекарственных растениях в условиях обогащения цинком и медью.** Математические модели связи «химический состав лекарственных растений – урожайность» позволили определить оптимальные уровни содержания и соотношения азота, фосфора и калия в растениях тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной, эхинацеи пурпурной по фазам роста и развития с учетом возрастных изменений растительного организма (табл. 15).

**Таблица 15 – Оптимальные уровни содержания и соотношения N, P, K в лекарственных растениях (в среднем за период исследований)**

Фаза развития	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, %			Оптимальное соотношение, %	Средняя урожайность общей биомассы, т/га
		N	P	K		
Тысячелистник обыкновенный						
Отрастание	1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га)	4,6	0,55	3,5	$N \approx 8 P \approx 1,2-1,3 K$ (31)	13,2
Цветение		3,4	0,50	1,8	$N \approx 7 P \approx 1,8-1,9 K$ (32)	
Пижма обыкновенная						
Отрастание	0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)	4,2	0,58	4,0	$N \approx 7 P \approx 1,1 K$ (33)	20,2
Цветение		2,9	0,34	3,8	$N \approx 9 P \approx 0,8-0,9 K$ (34)	
Эхинацея пурпурная						
Отрастание	1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)	2,9	0,10	3,7	$N \approx 29-31 P \approx 0,8 K$ (35)	13,4
Цветение		2,8	0,20	3,7	$N \approx 14-15 P \approx 0,7-0,8 K$ (36)	

Отношение азота к фосфору по фазам развития почти у всех растений укладывается в пределы от 10 до 16 (Болдырев Н.К., 1972; Ермохин Ю.И., 1983; Невенчанная Н.М., 2006; Шубин О.А., 2008, Ли М.А., 2009 и др.). В среднем за годы исследований соотношение азота к фосфору у тысячелистника и пижмы составляло от 7 до 9, что незначительно ниже установленных пределов. У эхинацеи пурпурной эти пределы в фазу отрастания выше и изменяются от 29-31, в цветение же укладываются в установленные пределы 14-15 (табл. 15).

При несбалансированном минеральном питании или «перекорме» лекарственных растений уравновешенное питание N, P, K в виде уравнений (31-36) играет важную роль в диагностировании питания и расчете эффективных доз применения микроудобрений.



**5.2 Содержание и соотношение минеральных форм макроэлементов (Nн, Pн, Kс) в лекарственных растениях в условиях применения цинковых и медных удобрений.** На основании связей урожайности тысячелистника, пижмы и эхинацеи пурпурной (У, т/га) с содержанием минеральных форм азота, фосфора и калия в растениях (Nн, Pн, Kс, мг/100 г) в период весеннего отрастания, бутонизации и цветения предложены оптимальные уровни их содержания и соотношения в лекарственных растениях с учетом возрастных изменений растительного организма (табл. 18-19).

**Таблица 18 – Оптимальные уровни содержания элементов питания в лекарственных растениях в течении вегетации (в среднем за период исследований)**

Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/%								
	Nн			Pн			Kс		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тысячелистник обыкновенный									
1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га)	207	135		21			424		
Пижма обыкновенная									
0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)	143	115		20			639 471		
Эхинацея пурпурная									
1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)	241	174	119	16			424		273

Примечание: 1 – фаза отрастания; 2– фаза бутонизации; 3 – фаза цветения

**Таблица 19 – Уравнения оптимального баланса элементов питания в лекарственных растениях по годам жизни и по фазам роста и развития**

Период исследований	Оптимальная доза	Уравнение оптимального баланса		
		1	2	3
Тысячелистник обыкновенный				
в среднем за 2012-2015 гг.	1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га)	Nн ≈ 10 Pн ≈ 0,5 Kс (37)		Nн ≈ 6 Pн ≈ 0,3 Kс (38)
Пижма обыкновенная				
в среднем за 2012-2015 гг.	0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)	Nн ≈ 7 Pн ≈ 0,2 Kс (39)		Nн ≈ 6 Pн ≈ 0,2 Kс (40)
Эхинацея пурпурная				
в среднем за 2016-2018 гг.	1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)	Nн ≈ 15 Pн ≈ 0,6 Kс (41)	Nн ≈ 11 Pн ≈ 0,4 Kс (42)	Nн ≈ 7 Pн ≈ 0,4 Kс (43)

Примечание: 1 – фаза отрастания; 2– фаза бутонизации; 3 – фаза цветения.

**5.3 Содержание микроэлементов в лекарственных растениях при применении микроудобрений.** Установлено, что в процессе минерального питания растений существует зависимость между всеми поглощенными элементами, характер которой определяется преимущественно степенью отклонения концентраций взаимодействующих элементов от оптимальных концентраций в почве (Ермохин Ю.И., 1997). В связи с этим особое внимание было уделено изучению взаимодействия микроэлементов друг с другом в процессе поступления их в растения (табл. 16).

На основании данных табл. 16, можно заключить, что помимо прямого положительного взаимодействия между ионами Zn и Cu (Zn → Zn; Cu → Cu), были

установлены и синергические отношения, которые характеризовались различными количественными характеристиками в зависимости от вида.

**Таблица 16 – Взаимодействие микроэлементов при поступлении в растения**

Тысячелистник обыкновенный	Пижма обыкновенная	Эхинацея пурпурная
$Y_{Zn} = 0,30 Zn + 13,52; r = 0,96$	$Y_{Zn} = 0,35 Zn + 17,11; r = 0,97$	$Y_{Zn} = 0,38 Zn + 5,42; r = 0,94$
$Y_{Cu} = 0,07 Zn + 2,72; r = 0,95$	$Y_{Cu} = 0,05 Zn + 4,47; r = 0,99$	$Y_{Cu} = 0,03 Zn + 2,00; r = 0,87$
$Y_{Cu} = 0,47 Cu + 1,90; r = 0,99$	$Y_{Cu} = 0,07 Cu + 4,27; r = 0,83$	$Y_{Cu} = 0,23 Cu + 2,00; r = 0,98$
$Y_{Zn} = 1,35 Cu + 15,27; r = 0,85$	$Y_{Zn} = 2,25 Cu + 18,19; r = 0,98$	$Y_{Zn} = 1,26 Cu + 5,99; r = 0,97$

Установлено, что при оптимальном содержании и соотношении микроэлементов в растении эффект их взаимодействия возрастает в положительном направлении и наблюдается явление синергизма. Причем синергические отношения между  $Cu \rightarrow Zn$  характеризовались большими коэффициентами интенсивности действия (« $b$ » = 1,26-2,25), чем между  $Zn \rightarrow Cu$  (« $b$ » = 0,03-0,07).

**5.4 Оптимальные уровни содержания и соотношения микроэлементов в лекарственных растениях в условиях применения микроудобрений.** На основании данных химического состава растений, выявленных математических связей между концентрацией элементов в растениях и урожайностью были определены оптимальные уровни содержания и соотношения микроэлементов в растениях, соответствующие максимальной урожайности (табл. 17).

**Таблица 17 – Оптимальные уровни содержания и соотношения Zn, Cu, Fe и Mn в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу цветения (в среднем за период исследований)**

Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/кг				Оптимальное соотношение, мг/кг	Средняя урожайность общей биомассы, т/га
	Zn	Cu	Fe	Mn		
<b>Тысячелистник обыкновенный</b>						
<b>1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га)</b>	<b>26,3</b>	<b>6,8</b>	<b>217,5</b>	<b>64,0</b>	<b>Zn <math>\approx</math> 3,9 Cu <math>\approx</math> 0,12 Fe <math>\approx</math> 0,4 Mn (44)</b>	<b>13,4</b>
0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)	29,8	6,4	250,0	74,0	Zn $\approx$ 4,7 Cu $\approx$ 0,12 Fe $\approx$ 0,4 Mn (45)	12,4
<b>Пижма обыкновенная</b>						
<b>0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)</b>	<b>39,7</b>	<b>7,7</b>	<b>335</b>	<b>150,5</b>	<b>Zn <math>\approx</math> 5,2 Cu <math>\approx</math> 0,12 Fe <math>\approx</math> 0,3 Mn (46)</b>	<b>20,2</b>
0,75 ПДК Cu (7,2 кг д.в./га)	33,7	4,9	320,5	156,0	Zn $\approx$ 6,9 Cu $\approx$ 0,11 Fe $\approx$ 0,2 Mn (47)	17,8
<b>Эхинацея пурпурная</b>						
<b>1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)</b>	<b>17,1</b>	<b>4,3</b>	н/о	н/о	<b>Zn <math>\approx</math> 4,0 Cu (48)</b>	<b>13,2</b>
0,50 ПДК Zn (21,4 кг д.в./га)	12,7	2,7	н/о	н/о	Zn $\approx$ 4,7 Cu (49)	9,9

Примечание: н/о – не определяли.

Для многолетних лекарственных культур оптимальное соотношение Zn к Cu укладывается в пределы 4...5, Zn к Fe – 0,12, Zn к Mn – 0,3...0,4 (табл. 17).

Только с учётом оптимальных уровней содержания и соотношения элементов питания в растениях, при возделывании в зональных почвенно-климатических условиях, можно диагностировать и оптимизировать минеральное питание лекарственных культур и управлять эффективностью цинковых и медных удобрений на фоне сбалансированного азотно-фосфорно-калийного питания.

**5.5 Интенсивность биологического накопления микроэлементов (цинка и меди) лекарственными растениями.** Оценку экологического состояния компонентов агроэкосистемы (лугово-чернозёмная почва и лекарственные растения) по отношению к микроэлементам проводили как по санитарно-гигиеническим показателям: ПДК, МДУ, так и с помощью биогеохимических коэффициентов ( $K_{кп}$ ,  $K_{кр}$ ,  $K_n$ ) и шкал экологического нормирования.

На основании данных содержания подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве и лекарственных растениях при внесении в почву различных доз цинковых и медных удобрений были рассчитаны коэффициенты концентрации в почве и растениях ( $K_{кп}$  и  $K_{кр}$ ) относительно ПДК (МДУ) и фона (табл. 20). Коэффициенты концентрации ( $K_k$ ) отражают особенности накопления микроэлементов в почвах и растениях. Опасность загрязнения почвы и растений тем выше, чем больше значение  $K_k$  превышает 1. В полевых опытах с лекарственными культурами коэффициенты концентрации Zn и Cu в почве и растениях ( $K_{кп}$ ,  $K_{кр}$ ) относительно ПДК и МДУ во всех вариантах опыта не превышали 1, то есть внесение расчётных доз цинковых и медных удобрений не приводило к загрязнению лугово-чернозёмной почвы и лекарственного сырья данными элементами. При этом  $K_{кп}$  и  $K_{кр}$  Zn и Cu к фону были выше 1, что указывает на увеличение содержания микроэлементов в почве и растениях относительно фоновых значений (табл. 20).

Накопление цинка и меди в почве и лекарственных растениях происходило по-разному. В опыте с тысячелистником обыкновенным  $K_{кп} < K_{кр}$  (относительно фона) для обоих микроэлементов (табл. 20). Обратная ситуация наблюдается в исследованиях с пижмой обыкновенной –  $K_{кп} > K_{кр}$  (относительно фона), т.е. растения в меньшей степени поглощают и накапливают микроэлементы (Zn, Cu), в сравнении с их содержанием в почве.  $K_{кп}Zn$  в почве в опыте с эхинацеей пурпурной выше по сравнению с растениями ( $K_{кр}Zn$ ), иная ситуация складывается по Cu. Более высокое поглощение Zn обусловлено биофильностью данного элемента и безбарьерным характером его поглощения растениями эхинацеи пурпурной.

Наши исследования показали, что при внесении одних и тех же удобрений в долях ПДК в лугово-чернозёмную почву разные виды растений обладают различной способностью к накоплению цинка и меди. Обобщенная оценка значений коэффициентов концентрации Zn и Cu в почве и растениях позволяет расположить лекарственные культуры в следующие убывающие ряды:

- $K_{кп}Zn$ : пижма > эхинацея > тысячелистник;
- $K_{кп}Cu$ : пижма > тысячелистник > эхинацея;
- $K_{кр}Zn$ : эхинацея > тысячелистник > пижма;
- $K_{кр}Cu$ : тысячелистник > пижма > эхинацея.

**Таблица 20 – Коэффициенты концентрации Zn и Cu в почве (Ккп) и растениях (Ккр)  
(в среднем за период исследований)**

Вариант опыта		Коэффициент концентрации почвы						Коэффициент концентрации растений					
		Ккп Zn			Ккп Cu			Ккр Zn			Ккр Cu		
		Тыся-челистник	Пижма	Эхина-цея	Тыся-челист-ник	Пижма	Эхина-цея	Тыся-челист-ник	Пижма	Эхина-цея	Тыся-челист-ник	Пижма	Эхина-цея
Контроль		0,05 / -	0,04 / -	0,07 / -	0,03 / -	0,03 / -	0,04 / -	0,20 / -	0,35 / -	0,09 / -	0,08 / -	0,14 / -	0,07 / -
Фон		0,05 / -	0,05 / -	0,06 / -	0,04 / -	0,04 / -	0,08 / -	0,23 / -	0,34 / -	0,09 / -	0,07 / -	0,15 / -	0,07 / -
Фон	0,25 ПДК Zn	0,06 / 1,06	0,07 / 1,62	0,27 / 4,25	0,04 / 1,00	0,05 / 1,15	0,11 / 1,28	0,45 / 1,97	0,52 / 1,51	0,22 / 2,41	0,16 / 2,18	0,19 / 1,30	0,07 / 1,00
	0,50 ПДК Zn	0,08 / 1,55	0,27 / 5,81	0,32 / 5,08	0,04 / 1,09	0,06 / 1,31	0,12 / 1,40	0,53 / 2,35	0,57 / 1,66	0,25 / 2,76	0,18 / 2,45	0,22 / 1,49	0,09 / 1,28
	0,75 ПДК Zn	0,11 / 2,05	0,37 / 7,97	0,41 / 6,46	0,05 / 1,27	0,07 / 1,54	0,10 / 1,20	0,60 / 2,64	0,79 / 2,33	0,28 / 3,02	0,21 / 2,91	0,26 / 1,78	0,12 / 1,69
	1,0 ПДК Zn	0,12 / 2,26	0,42 / 9,15	0,54 / 8,52	0,03 / 0,97	0,06 / 1,31	0,10 / 1,20	0,66 / 2,90	0,96 / 2,82	0,32 / 3,43	0,28 / 3,77	0,28 / 1,91	0,15 / 2,12
	0,25 ПДК Cu	0,05 / 0,97	0,09 / 1,88	0,13 / 2,10	0,04 / 1,09	0,06 / 1,31	0,08 / 1,00	0,45 / 2,01	0,51 / 1,49	0,20 / 2,15	0,10 / 1,32	0,14 / 0,98	0,09 / 1,23
	0,5 ПДК Cu	0,06 / 1,13	0,10 / 2,08	0,18 / 2,83	0,04 / 1,18	0,06 / 1,38	0,10 / 1,16	0,47 / 2,06	0,59 / 1,72	0,27 / 2,89	0,13 / 1,77	0,15 / 1,03	0,09 / 1,35
	0,75 ПДК Cu	0,07 / 1,29	0,17 / 3,58	0,23 / 3,64	0,05 / 1,27	0,07 / 1,62	0,11 / 1,36	0,51 / 2,24	0,67 / 1,98	0,29 / 3,17	0,17 / 2,32	0,16 / 1,12	0,12 / 1,67
	1,0 ПДК Cu	0,09 / 1,61	0,18 / 3,96	0,30 / 4,71	0,06 / 1,55	0,08 / 1,77	0,14 / 1,64	0,53 / 2,33	0,81 / 2,39	0,34 / 3,72	0,23 / 3,09	0,20 / 1,38	0,14 / 2,05

Примечание: в числителе приведены значения относительно ПДК/МДУ, в знаменателе относительно фона

Химический состав растений напрямую зависит от химического состава почвы, на которой они произрастают, но не повторяет его, так как растения избирательно поглощают и накапливают необходимые им элементы, в соответствии со своими физиологическими и биохимическими потребностями (Садовникова Л.К. и др., 2006). Количественным показателем перехода химических элементов, особенно в подвижных, доступных для растений формах, из почвы в растение является биогеохимический показатель – коэффициент накопления (Кн), представляющий собой отношение содержания элемента в растениях к его содержанию в почве. Так как величина Кн является количественным показателем перехода химических элементов из почвы в растение, то для оценки интенсивности поступления микроэлементов в растительный организм были рассчитаны и проанализированы коэффициенты биологического накопления Zn и Cu лекарственными растениями (табл. 21).

**Таблица 21 – Коэффициенты биологического накопления Zn и Cu лекарственными растениями (в среднем за период исследований)**

Вариант опыта	Тысячелистник обыкновенный		Пижма обыкновенная		Эхинацея пурпурная	
	К <sub>нZn</sub>	К <sub>нCu</sub>	К <sub>нZn</sub>	К <sub>нCu</sub>	К <sub>нZn</sub>	К <sub>нCu</sub>
1. Контроль	8,7**	27,8**	16,8**	42,3*	2,8***	16,2**
2. Фон	9,1**	20,0**	16,1**	33,5*	3,2**	8,4**
3. Фон + 0,25 ПДК Zn	16,9**	43,6	15,0**	37,8*	1,8***	6,6**
4. Фон + 0,50 ПДК Zn	13,8**	45,0	4,6**	38,2*	1,7***	7,7**
5. Фон + 0,75 ПДК Zn	11,7**	45,7	4,7**	38,7*	1,5***	11,7**
6. Фон + 1,0 ПДК Zn	11,7**	83,0	5,0**	49,0*	1,3***	14,7**
7. Фон + 0,25 ПДК Cu	18,9**	24,2**	12,7**	25,2**	3,3**	10,4**
8. Фон + 0,5 ПДК Cu	16,6**	30,0*	13,3**	24,9**	3,2**	9,7**
9. Фон + 0,75 ПДК Cu	15,8**	36,4*	8,9**	23,2**	2,8***	10,3**
10. Фон + ПДК Cu	13,2**	40,0*	9,7**	26,1**	2,5***	10,5**
Интенсивность биологического поглощения микроэлементов (по А.Я. Ковалевскому, 1969)	весьма интенсивное поглощение (Кн = 30-300)*					
	интенсивное поглощение (Кн = 3-30)**					
	среднего поглощения (Кн = 0,3-3)***					

Исследования показали, что микроэлементы (Zn и Cu) имеют разную степень биологического накопления растениями, интенсивность которой определяется в первую очередь видовой спецификой аккумуляции химических элементов растениями и наличием в них функциональных барьеров на границах корень - стебель, стебель - лист, стебель - репродуктивные органы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) (табл. 21).

Тысячелистник обыкновенный и пижма обыкновенная, согласно значениям Кн, во всех вариантах опыта интенсивно поглощали цинк (табл. 21). В опыте с

тысячелистником обыкновенным в вариантах с внесением в почву цинковых удобрений  $K_{\text{Cu}}$  изменялся от 43,6 до 83,0, что говорит о весьма интенсивном поглощении меди. Аналогичная ситуация складывается и в опыте с пижмой обыкновенной ( $K_{\text{Cu}} = 37,8-49,0$ ), т.е. пижма обыкновенная в вариантах с цинковыми удобрениями интенсивно накапливала медь. При внесении в почву цинковых и медных удобрений растения эхинацеи пурпурной характеризовались средним поглощением Zn и интенсивным поглощением Cu. При этом, лекарственные растения можно представить рядами убывания  $K_{\text{н}}$ , которые и для цинка, и для меди имеют следующий вид:  $K_{\text{Zn,Cu}}$  – тысячелистник > пижма > эхинацея. То есть, наибольшим биологическим накоплением цинка и меди характеризуется тысячелистник обыкновенный (табл. 21).

На основе значений  $K_{\text{н}}$ , рассмотренных микроэлементов, был построен эмпирический ряд их накопления, который для всех лекарственных растений семейства сложноцветные имеет вид:  $\text{Cu} > \text{Zn}$ , т.е. тысячелистник, пижма и эхинацея в большей степени поглощали медь (табл. 21).

Значения  $K_{\text{Zn}}$  у растений эхинацеи пурпурной в вариантах с внесением цинковых удобрений значительно ниже (1,3-1,8), чем на контроле, фоне и при внесении медных удобрений, где значения  $K_{\text{Zn}}$  примерно одинаковые и изменяются от 2,5 до 3,3. Это указывает на то, что растения эхинацеи пурпурной способны к регуляции, поступающих извне микроэлементов, так называемому физиологическому барьеру. То есть, с одной стороны, растения могут активно противостоять избыточному поступлению токсичных элементов, а с другой – избирательно аккумулировать эссенциальные элементы. Значения  $K_{\text{Zn}}$  тысячелистника обыкновенного в вариантах опыта изменялись от 11,7 до 18,9 (интенсивное поглощение), пижмы обыкновенной – от 4,6 до 15,0 (интенсивное поглощение) и эхинацеи пурпурной – от 1,3 до 3,3 (среднее и интенсивное поглощение).

Содержание цинка и меди в лекарственных растениях тысячелистника, пижмы и эхинацеи коррелирует с химическим содержанием данных элементов в почве (Zn, Cu) (табл. 22, уравнения 50-61).

**Таблица 22 – Взаимодействие микроэлементов при поступлении в растения**

Тысячелистник обыкновенный	Пижма обыкновенная	Эхинацея пурпурная
$Y_{\text{Zn}} = 11,15 \text{ Zn} + 2,90,$ (50) $r = 0,84$	$Y_{\text{Zn}} = 2,39 \text{ Zn} + 17,30,$ (51) $r = 0,91$	$Y_{\text{Zn}} = 1,37 \text{ Zn} + 2,61,$ (52) $r = 0,99$
$Y_{\text{Cu}} = 78,49 \text{ Cu} - 6,34,$ (53) $r = 0,99$	$Y_{\text{Cu}} = 6,03 \text{ Cu} + 3,48,$ (54) $r = 0,76$	$Y_{\text{Cu}} = 12,32 \text{ Cu} - 0,73,$ (55) $r = 0,98$
$Y_{\text{Zn}} = 11,89 \text{ Cu} + 4,18,$ (56) $r = 0,66$	$Y_{\text{Zn}} = 5,88 \text{ Cu} + 12,95,$ (57) $r = 0,93$	$Y_{\text{Zn}} = 2,29 \text{ Cu} + 2,42,$ (58) $r = 0,97$
$Y_{\text{Cu}} = 149,1 \text{ Zn} + 12,82,$ (59) $r = 0,80$	$Y_{\text{Cu}} = 11,28 \text{ Zn} + 2,94,$ (60) $r = 0,99$	$Y_{\text{Cu}} = 4,94 \text{ Zn} + 0,79,$ (61) $r = 0,73$

Содержание микроэлементов в почве не должно приводить к загрязнению выращенной на ней растениеводческой продукции сверх установленных нормативов. В связи с этим, практический интерес представляет прогноз нормативной величины – предельно допустимого содержания цинка и меди в почве

с помощью уравнений (50-61) (Синдирева А.В., 2012). Для расчета ПСЭ Zn и Cu в почве использовали значения ПДК (ПДК<sub>Zn</sub> = 23 мг/кг; ПДК<sub>Cu</sub> = 3 мг/кг) (табл. 23).

**Таблица 23 – Предельно допустимое содержание цинка и меди в почве (ПСЭ), мг/кг**

Культура	Оптимальная доза	Формула прогноза		ПСЭ в почве	
		Zn	Cu	Zn	Cu
Тысячелистник	Cu <sub>9,7</sub>	58	55	3,9	0,5
Пижма	Zn <sub>60</sub>	53	62	13,7	2,4
Эхинацея	Cu <sub>9,4</sub>	60	57	20,8	2,5

На основании данных таблицы 23 можно заключить, что фактическое содержание микроэлементов в лугово-чернозёмной почве при внесении в почву микроудобрений не превышало нормативную величину ПСЭ.

Алексеевым Ю.В. (1987) предлагается другой способ расчёта предельного содержания микроэлемента в почве, не представляющего опасности загрязнения растениеводческой продукции. Для этого МДУ микроэлемента в растениях делят на коэффициент накопления (формула 62).

$$\text{ПСЭ} = \text{МДУ} / \text{Кн} \quad (62)$$

где: МДУ – максимально-допустимый уровень (МДУ<sub>Zn</sub> = 50 мг/кг; МДУ<sub>Cu</sub> = 30 мг/кг);

Кн – коэффициент накопления.

Согласно формуле (62) с учётом зональных особенностей Западной Сибири для данных культур установлены ПСЭ<sub>Zn</sub> и ПСЭ<sub>Cu</sub> в почве на лучших по урожайности вариантах опыта:

тысячелистник обыкновенный:  $\text{ПСЭ}_{\text{Cu}} = \frac{30}{40} = 0,75$  мг/кг;

пижма обыкновенная:  $\text{ПСЭ}_{\text{Zn}} = \frac{50}{4,7} = 10,66$  мг/кг;

эхинацея пурпурная:  $\text{ПСЭ}_{\text{Cu}} = \frac{30}{10,5} = 2,86$  мг/кг.

Рассчитанные двумя способами значения ПСЭ цинка и меди в почве близки между собой, но, на наш взгляд, более точным является прогноз с использованием математических моделей связи по системе «ИСПРОД» «почва – растение».

## ГЛАВА 6. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

В настоящее время в вопросах, посвященных качеству урожая, выделяют две проблемы: повышение биологического качества с помощью агротехнических приёмов и прогнозирование качества урожая. Решению этих проблем и посвящен третий блок системы ИСПРОД, разработанной Ю.И. Ермохиным (2020, 2021).

**6.1 Модели прогнозирования качества лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного.** Качество лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного регламентируется ГФ РФ XIV издание (2018). Согласно ФС.2.5.0101.18 «Тысячелистник обыкновенный трава» основными количественными показателями качества для тысячелистника обыкновенного

(трава) являются: влажность – не более 13 %, общая зольность – не более 15 %, эфирное масло в измельченном сырье – не менее 0,08%, сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин – не менее 0,4 %. Помимо показателей, прописанных в фармакопейных статьях, также было определено содержание таких биологически активных веществ (БАВ), как дубильные вещества, аскорбиновая кислота, каротин, экстрактивные вещества.

В таблице 24 представлены математические модели формирования качества лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного.

**Таблица 24 – Математические уравнения связи между содержанием цинка и меди в растениях (мг/кг) и концентрацией БАВ в лекарственном сырье тысячелистника обыкновенного (средние данные за 2012-2015 гг.)**

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Эфирное масло, %	$\text{Эф} = 39,22 \text{ Zn} + 4,92$ (63)	$r = 0,81$
	$\text{Эф} = 16,62 \text{ Cu} - 3,03$ (64)	$r = 0,97$
Сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин, %	$\Phi = 109,9 \text{ Zn} - 28,6$ (65)	$r = 0,84$
	$\Phi = 29,23 \text{ Cu} - 9,26$ (66)	$r = 0,95$
Дубильные вещества, мг%	$\text{Д} = 0,12 \text{ Zn} + 1,01$ (67)	$r = 0,99$
	$\text{Д} = 0,67 \text{ Cu} + 1,40$ (68)	$r = 0,95$
Аскорбиновая кислота, мг%	$\text{А} = 0,12 \text{ Zn} + 2,50$ (69)	$r = 0,77$
	$\text{А} = 0,56 \text{ Cu} + 3,17$ (70)	$r = 0,99$
Каротин, мг%	$\text{К} = 0,07 \text{ Zn} + 8,70$ (71)	$r = 0,84$
	$\text{К} = 0,34 \text{ Cu} + 8,41$ (72)	$r = 0,85$
Экстрактивные вещества, %	$\text{Э} = 0,20 \text{ Zn} + 31,72$ (73)	$r = 0,95$
	$\text{Э} = 2,18 \text{ Cu} + 28,30$ (74)	$r = 0,96$

На основе метода оптимизации медного и цинкового питания данной культуры используются установленные оптимальные дозы цинковых и медных удобрений в системе «удобрение → почва → растение» для оценки параметров содержания биологически активных веществ. Так как наибольший интерес представляют те элементы, которые поступили в растения, нами были выявлены зависимости между концентрацией микроэлементов (цинка и меди) и содержанием БАВ в тысячелистнике обыкновенном в фазу цветения. Высокие коэффициенты корреляции ( $r = 0,77-0,99$ ), указывают на возможность использования данных уравнений в прогнозировании качества урожая (табл. 24, уравнения 63-74). На содержание эфирного масла и флавоноидов в большей степени оказала влияние концентрация цинка в растениях. Так, каждый мг/кг цинка в растениях увеличивал содержание эфирного масла на 39,22 % (уравнение 63), сумму флавоноидов на 109,9 % (уравнение 65). Содержание других БАВ в лекарственном сырье тысячелистника обыкновенного зависело в большей степени от концентрации меди в растениях. При повышении концентрации меди на 1 мг/кг содержание дубильных веществ увеличилось на 0,67 % ( $r = 0,95$ ; уравнение 68), аскорбиновой кислоты – 0,56 ( $r = 0,99$ ; уравнение 70), каротина – 0,34 ( $r = 0,85$ ; уравнение 72) мг% и экстрактивных веществ – 2,18 % ( $r = 0,96$ ; уравнение 74). Микроудобрения в процессе действия и последействия не приводили к увеличению общей золы в



растениях тысячелистника и не превышали установленный фармакопейной статьей уровень – 15%.

**6.2 Модели прогнозирования качества лекарственного сырья пижмы обыкновенной.** Качество растительного сырья пижмы обыкновенной регламентируется ГФ РФ XIV издание. Согласно ФС.2.5.0031.15 «Пижма обыкновенная цветки» соцветия пижмы обыкновенной должны иметь следующие количественные показатели: влажность – не более 13 %, общая зольность – не более 9 %, сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин — не менее 2,5 %.

Высокая зависимость отмечается между концентрацией цинка и меди в растениях пижмы и содержанием БАВ в лекарственном сырье ( $r = 0,74-0,99$ ) [табл. 25, уравнения 75-84]. В проведенных исследованиях было установлено, что 1 мг/кг цинка и меди в соцветиях пижмы повышал соответственно содержание суммы флавоноидов и фенолкарбоновых кислот (в пересчете на лютеолин) на 0,03 и 0,97 %, дубильных веществ на 0,09 и 2,74 мг%, аскорбиновой кислоты на 0,05 и 3,28 мг%, каротина на 0,12 и 5,31 мг% и экстрактивных веществ на 0,22 и 4,98 % (табл. 25, уравнения 75-84). При внесении микроудобрений общая зольность в среднем за годы исследований не превышала установленный ФС уровень – 9 %.

**Таблица 25 – Взаимосвязи между содержанием БАВ в соцветиях пижмы обыкновенной и концентрацией микроэлементов в растениях в фазу цветения (средние данные за 2012-2015 гг.)**

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин, %	$\Phi = 0,03 \text{ Zn} + 2,10$ (75)	$r = 0,99$
	$\Phi = 0,97 \text{ Cu} - 1,54$ (76)	$r = 0,97$
Дубильные вещества, мг%	$\text{Д} = 0,09 \text{ Zn} + 3,30$ (77)	$r = 0,99$
	$\text{Д} = 2,74 \text{ Cu} - 6,99$ (78)	$r = 0,97$
Аскорбиновая кислота, мг%	$\text{А} = 0,05 \text{ Zn} + 4,14$ (79)	$r = 0,84$
	$\text{А} = 3,28 \text{ Cu} - 8,67$ (80)	$r = 0,84$
Каротин, мг%	$\text{К} = 0,12 \text{ Zn} + 28,49$ (81)	$r = 0,97$
	$\text{К} = 5,31 \text{ Cu} + 9,24$ (82)	$r = 0,74$
Экстрактивные вещества, %	$\text{Э} = 0,22 \text{ Zn} + 28,69$ (83)	$r = 0,92$
	$\text{Э} = 4,98 \text{ Cu} + 13,17$ (84)	$r = 0,75$

**6.3 Модели прогнозирования качества лекарственного сырья эхинацеи пурпурной.** В России качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной регламентируется ГФ РФ XIV издание (2018). Согласно ФС.2.5.0055.15 «Эхинацея пурпурная трава» в сырье эхинацеи пурпурной с влажностью не более 13 % общая зольность должна быть не более 8%, сумма фенолпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту – не менее 2,5 %.

Содержание БАВ в абсолютно-сухой массе эхинацеи пурпурной имеет тесную зависимость от уровня цинка и меди в растениях в фазу цветения ( $r = 0,90-0,99$ ) [табл. 26, уравнения 85-94]. Увеличение концентрации цинка в растениях эхинацеи пурпурной на 1 мг/кг повышает на 0,02 % сумму фенолпропаноидов, 0,29 мг% содержание дубильных веществ, на 0,12 мг% аскорбиновой кислоты, на 0,21 мг% каротина и 0,42 % экстрактивных веществ. Повышение содержания меди в

растениях также положительно влияло на содержание перечисленных выше веществ. Каждый миллиграмм меди в растениях эхинацеи пурпурной повышал сумму фенолпропаноидов, содержание дубильных веществ, витамина С, каротина и экстрактивных веществ соответственно на 0,06 %, 1,77 мг%, 1,24 мг%, 1,07 мг%, 1,88 %. При внесении Zn и Cu удобрений, общая зольность ни в одном из вариантов опыта не превышала установленный ФС уровень – 8 %.

Полученные математические уравнения дают нам возможность не только проследить динамику и давать оценку накопления БАВ лекарственными растениями, но и прогнозировать их уровень. То есть, появляется возможность в период роста и развития растений (фаза цветения) диагностировать и управлять формированием качества растениеводческой продукции на основе растительного анализа.

**Таблица 26 – Взаимосвязи между концентрацией микроэлементов в растениях и содержанием БАВ в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (трава) в фазу цветения (средние данные за 2016-2018 гг.)**

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Сумма фенолпропаноидов, %	$y = 0,02 Zn + 2,65$ (85)	$r = 0,60$
	$y = 0,06 Cu + 2,52$ (86)	$r = 0,52$
Дубильные вещества, мг%	$y = 0,29Zn + 10,31$ (87)	$r = 0,90$
	$y = 1,77Cu + 8,30$ (88)	$r = 0,99$
Аскорбиновая кислота, мг%	$y = 0,12Zn + 2,48$ (89)	$r = 0,96$
	$y = 1,24Cu + 0,72$ (90)	$r = 0,97$
Каротин, мг%	$y = 0,21Zn + 1,74$ (91)	$r = 0,94$
	$y = 1,07Cu + 0,66$ (92)	$r = 0,96$
Экстрактивные вещества, %	$y = 0,42Zn + 56,84$ (93)	$r = 0,99$
	$y = 1,88Cu + 54,46$ (94)	$r = 0,93$

**6.4 Оценка экологической безопасности лекарственного сырья по содержанию тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в условиях применения микроудобрений.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственных растениях нормируется согласно ГФ РФ XIV изд. (2018). В ходе проведенных исследований было установлено, что при внесении оптимальных доз микроудобрений содержание тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в изучаемых растениях не превышало установленного ФС уровня. Это подтверждает возможность использования растительной продукции в лекарственных целях.

## **ГЛАВА 7. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ**

Анализ применения микроудобрений в полевых опытах на лугово-черноземной почве под лекарственные культуры (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) свидетельствует о высокой биоэнергетической эффективности их внесения.

Проведенные расчеты показали, что применение оптимальных доз (0,75 ПДК Zn и 1,0 ПДК Cu) микроудобрений было энергетически эффективно, так как

энергоотдача превышала единицу (табл. 27). При выращивании тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной максимальный коэффициент энергоотдачи 16,7 и 18,9 единиц энергии (КПД) был получен при внесении медных удобрений в дозах 9,4-9,7 кг д.в./га (1,0 ПДК Cu). Пижма обыкновенная оказалась более отзывчива на цинксодержащие удобрения (прибавка 24,3 т/га), поэтому применение Zn удобрений на фоне N<sub>135</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> способствовало получению наивысшей биоэнергетической эффективности – биоКПД ( $\eta$ ) составил 22,6 ед. в варианте Фон + 0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га).

**Таблица 27 – Оценка биоэнергетической эффективности применения цинковых и медных удобрений при выращивании лекарственных культур на лугово-черноземной почве**

Вариант опыта	Прибавка, т/га	Количество энергии, накопленной в основной продукции (V <sub>ю</sub> , МДж/га)	Энергетические затраты на применение удобрений (A <sub>0</sub> ), МДж/га	Биоэнергетический КПД ( $\eta$ )
<i>Тысячелистник обыкновенный</i>				
N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (Фон)	0,7	13167,0	15707,1	0,84
Фон + 1,0 ПДК Cu (9,7 кг д.в./га)	16,2	306909,3	18331,4	16,7
<i>Пижма обыкновенная</i>				
N <sub>135</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> (Фон)	1,8	34794,4	15890,6	2,2
Фон + 0,75 ПДК Zn (60 кг д.в./га)	24,3	459134,8	20338,7	22,6
<i>Эхинацея пурпурная</i>				
N <sub>125</sub> (Фон)	2,1	39711,0	12709,8	3,1
Фон + 1,0 ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)	14,9	281759,0	14890,5	18,9

Примечание. Энергетические эквиваленты удобрений (МДж/кг д.в.): азотных – 86,8; фосфорных – 12,6; калийных – 8,3. Затраты энергии на уборку урожая многолетних трав – 16,1 МДж/ц. Затраты энергии на внесение удобрений – 413,5 МДж (Ермохин, Неклюдов, 1994).

Экономический расчет подтвердил эффективность применения цинковых и медных удобрений. При использовании цинка и меди в рекомендуемых нами дозах (60 и 21,4 Zn; 9,7, 7,2, 9,4 Cu кг/га) на оптимальном макроэлементом фоне можно получить чистого дохода до 370613 рублей с 1 га при возделывании тысячелистника (от реализации культуры); до 432663 руб. при возделывании пижмы и до 810807 руб. при выращивании эхинацеи пурпурной. При этом рассчитанная рентабельность применения цинковых и медных удобрений показала очень высокую экономическую эффективность возделывания лекарственных растений.

Таким образом, расчет энергетической и экономической эффективности применения микроудобрений позволил наиболее точно, объективно и всесторонне оценить систему удобрений во всех технологических процессах, связанных с возделыванием лекарственных культур, и установить, что внесение в почву

цинковых и медных удобрений в пределах оптимальных доз является эффективным. Следовательно, оптимизация минерального питания лекарственных растений микроэлементами в условиях Омского Прииртышья целесообразна с агроэкологических, биоэнергетических и экономических позиций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований по изучению эффективности применения микроудобрений под многолетние лекарственные культуры на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири позволили сделать следующие выводы:

1. Разработана научно обоснованная система диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности микроудобрений при выращивании многолетних лекарственных культур семейства *Asteraceae* (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) путем применения микроэлементов.

3. Под многолетние лекарственные культуры в условиях южной лесостепи Западной Сибири на лугово-черноземной почве при содержании в слое 0-30 см  $Zn_{п} < 2$  мг/кг,  $Cu_{п} < 1,5$  мг/кг установлены оптимальные дозы микроудобрений на фоне сбалансированного питания NPK: тысячелистник обыкновенный –  $Cu_{9,7}$ ; пижма обыкновенная –  $Zn_{60}$ ; эхинацея пурпурная –  $Cu_{9,4}$ . Каждый килограмм микроэлементов, внесенный в почву в оптимальных дозах, позволяет в среднем за 3-4 года жизни растений получить дополнительные прибавки урожая (в т/га): тысячелистника обыкновенного – 4,0 ( $Cu_{9,7}$ ), пижмы обыкновенной – 6,0 ( $Zn_{60}$ ), эхинацеи пурпурной – 5,0 ( $Cu_{9,4}$ ).

4. Содержание кислоторастворимых и подвижных форм цинка и меди в лугово-черноземной почве заметно повышалось при внесении различных доз микроудобрений, при этом находясь в пределах агрохимических, биохимических и гигиенических норм.

5. Применение оптимальных доз цинковых и медных удобрений под лекарственные культуры не приводит к превышению предельно допустимых значений содержания химических элементов в них и подтверждает возможность использования растительной продукции в лекарственных целях.

6. Установлено, что цинк и медь оказывали многостороннее действие на биохимический состав лекарственных растений, повышая содержание биологически активных соединений (аскорбиновой кислоты, дубильных веществ, каротина, экстрактивных веществ, эфирного масла, суммы флавоноидов в пересчете на лютеолин, суммы флавоноидов и фенилкарбонных кислот в пересчете на лютеолин, суммы фенилпропаноидов в пересчете на цикоревую кислоту), а тем самым и качество лекарственного сырья данных культур.

Содержание действующих веществ при внесении в почву цинка и меди в качестве микроудобрений увеличилось: эфирного масла (тысячелистник) на 34-93 %, флавоноидов в пересчете на лютеолин (тысячелистник) на 34-37 %, флавоноидов и фенилкарбонных кислот в пересчете на лютеолин (пижма) на 21-

27 %, суммы фенилпропаноидов в пересчете на цикоревую кислоту (эхинацея) на 4-7 %.

7. Определены нормативные физиолого-агрохимические характеристики действия и последствий Zn и Cu в системе «почва – растение» с учетом вида лекарственного растения и типа почвы:

- коэффициенты интенсивности действия и последствий микроэлементов на химический состав лугово-черноземной почвы и лекарственных растений («b», мг/кг);

- проценты использования макро- и микроэлементов лекарственными растениями из удобрений и почвы;

- расход микроэлементов для создания единицы основной продукции лекарственных растений;

- оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в почве и лекарственных растениях на разных этапах онтогенеза, позволяющие диагностировать и прогнозировать эффективность микроэлементов, рассчитывать дозы их применения;

- коэффициенты интенсивности действия микроэлементов на содержание в растениях общей золы, аскорбиновой кислоты, дубильных веществ, каротина, экстрактивных веществ, эфирного масла, суммы флавоноидов в пересчете на лютеолин, суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот, суммы фенилпропаноидов.

8. Установленные закономерности влияния одних ионов на другие позволили получить нормативы («b», мг/кг) интенсивности действия единицы Zn и Cu (кг/га) на химический состав почвы и разработать формулы прогнозирования содержания микроэлементов в почве в случае их внесения.

9. Изучены взаимодействия макро- и микроэлементов при их поступлении в растения тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной. Выявлены явления синергизма между ионами этих элементов, обусловленные физиологическими потребностями растительного организма, содержанием и соотношением элементов питания в почве и растениях и другими внешними факторами. Отмечено, что синергические отношения между Cu → Zn характеризовались большими коэффициентами интенсивности действия («b» = 1,26-1,35), чем между Zn → Cu («b» = 0,03-0,07).

10. Поступление микроэлементов в растения и вовлечение их в биологическую миграцию определяется физиологическим значением микроэлементов, видом растения, концентрацией подвижных форм элементов питания в почве, внешним и внутренним взаимодействием с ионами других элементов. Микроэлементы по среднему содержанию их в растениях тысячелистника и пижмы обыкновенной можно расположить в следующий ряд поглощения: Fe > Mn > Zn > Cu; эхинацеи пурпурной – Zn > Cu.

На основе сравнения значений  $K_{N_{Zn}}$  и  $K_{N_{Cu}}$  лекарственные растения семейства сложноцветные (тысячелистник, пижма, эхинацея) в большей степени поглощали медь. По значению  $K_{N_{Cu}}$  лекарственные растения располагаются в следующий ряд: тысячелистник обыкновенный (20,0-83,0) > пижма обыкновенная (23,2-49,0) >

эхинацея пурпурная (6,6-16,2);  $K_{N_{Zn}}$  – тысячелистник обыкновенный (8,7-18,9) > пижма обыкновенная (4,6-16,8) > эхинацея пурпурная (1,3-3,3).

11. Возделывание лекарственных культур при внесении в почву цинковых и медных удобрений в оптимальных дозах  $Zn_{60}$  и  $Cu_{9,7}$  (тысячелистник),  $Zn_{60}$  и  $Cu_{7,2}$  (пижма),  $Zn_{21,4}$  и  $Cu_{9,4}$  (эхинацея) является экономически и энергетически эффективным.

12. Оптимизация минерального питания многолетних лекарственных растений микроудобрениями в условиях юга Западной Сибири целесообразна с агроэкологических, биоэнергетических и экономических позиций.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. При выращивании многолетних лекарственных растений (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная и эхинацея пурпурная) на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири, с целью повышения их продуктивности и качества, рекомендуется основное внесение оптимальных доз цинковых или медных удобрений на фоне сбалансированного питания NPK при содержании в почве  $Zn_{п} < 2$  и  $Cu_{п} < 1,5$  мг/кг:

- тысячелистник обыкновенный –  $Cu_{9,7}$  кг д.в./га (урожайность – 13,4 т/га);
- пижма обыкновенная –  $Zn_{60}$  кг д.в./га (урожайность – 20,2 т/га);
- эхинацея пурпурная –  $Cu_{9,4}$  кг д.в./га (урожайность – 13,2 т/га).

2. В целях оптимизации минерального питания лекарственных культур и предотвращения загрязнения окружающей среды применять на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья микроудобрения на основе разработанных нормативных показателей комплексного метода почвенно-растительной оперативной диагностики (система «ИСПРОД»):

а) оптимального содержания и уравновешенного соотношения макро- и микроэлементов в почве в слое 0-30 см:

Культура	Оптимальная доза	Оптимальное содержание, мг/кг					Оптимальное соотношение, мг/кг
		N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	
Тысячелистник	$Cu_{9,7}$	11	122	161	2,0	0,17	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≈ 11 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0.8 K <sub>2</sub> O ≈ 61 Zn ≈ 718 Cu
Пижма	$Zn_{60}$	14	107	189	8,5	0,27	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≈ 8 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0.6 K <sub>2</sub> O ≈ 13 Zn ≈ 396 Cu
Эхинацея	$Cu_{9,4}$	20	92	189	6,8	0,41	P <sub>2</sub> O ≈ 5 N-NO <sub>3</sub> ≈ 0,5 K <sub>2</sub> O ≈ 14 Zn ≈ 224 Cu

б) коэффициентов использования макро- и микроэлементов из почвы (КИП) и удобрений (КИУ), показателей эффективности удобрений (ПЭУ):

Культура	Показатель, %	Оптимальная доза	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu
Тысячелистник обыкновенный	КИП	$Cu_{9,7}$	91,8	28,6	66,2	4,2	16,9
	КИУ		-	-	-	3,1	0,85
	ПЭУ		-	-	-	1,3	0,34
Пижма обыкновенная	КИП	$Zn_{60}$	91,6	33,1	78,1	2,0	7,8
	КИУ		-	-	-	0,59	0,07
	ПЭУ		-	-	-	0,29	0,037

Эхинацея пурпурная	КИП	Cu <sub>9,4</sub>	75,0	14,7	58,0	1,1	4,6
	КИУ		86,0	-	-	2,5	0,55
	ПЭУ		87,1	-	-	1,1	0,27

в) нормативов потребления макро- и микроэлементов для получения 1 т урожая основной продукции, кг/т:

– тысячелистник обыкновенный: N – 34,3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>– 11,5, K<sub>2</sub>O – 22,2, Zn – 0,026, Cu – 0,0084;

– пижма обыкновенная: N – 30,1, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>– 7,9, K<sub>2</sub>O – 46,1, Zn – 0,040, Cu – 0,0077;

– эхинацея пурпурная: N – 27,6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>– 4,6, K<sub>2</sub>O – 44,2, Zn – 0,017, Cu – 0,0043;

г) оптимальных уровней и уравновешенного баланса макро- и микроэлементов в лекарственных растениях в фазу цветения, обеспечивающих контроль содержания данных элементов в растениях с целью получения высокого урожая и качества:

Культура	Оптимальное содержание							Оптимальное соотношение
	N <sub>н</sub>	P <sub>н</sub>	K <sub>с</sub>	Fe	Mn	Zn	Cu	
	мг/%			мг/кг				
тысячелистник	132	21	395	217,5	64	26,3	6,8	N <sub>н</sub> ≈ 6 P <sub>н</sub> ≈ 0,33 K <sub>с</sub> ; Zn ≈ 3,9 Cu ≈ 0,12 Fe ≈ 0,4 Mn
пижма	129	20	471	335	150,5	39,7	7,7	N <sub>н</sub> ≈ 6 P <sub>н</sub> ≈ 0,27 K <sub>с</sub> ; Zn ≈ 5,2 Cu ≈ 0,12 Fe ≈ 0,3 Mn
эхинацея	118	15	273	-	-	17,1	4,3	N <sub>н</sub> ≈ 8 P <sub>н</sub> ≈ 0,44 K <sub>с</sub> ; Zn ≈ 4,0 Cu

д) коэффициентов интенсивности действия микроудобрений «b» на химический состав почвы и растений, величину урожая;

е) корректирующих формул расчета оптимальных доз микроудобрений:

1) в основное внесение с учетом химического анализа почвы:

– тысячелистник обыкновенный:  $D_{Cu} = \frac{0,78}{Cu}$ ;  $D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$ ;

– пижма обыкновенная:  $D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$ ;  $D_{Cu} = \frac{0,58}{Cu}$ ;

– эхинацея пурпурная:  $D_{Cu} = \frac{0,94}{Cu}$ ;  $D_{Zn} = \frac{23,5}{Zn}$ .

2) на основе оптимальных уровней содержания и коэффициентов интенсивности действия «b» микроудобрений на химический состав почвы:

$$D_{Zn/Cu}, \text{ кг/га} = (C_{онм} - C_{фак}) / «b»$$

3) использования планируемых (ПУ) и фактических (ФУ) урожаев и коэффициентов интенсивности действия «b» микроудобрений на формирование единицы урожая:

$$D_{Zn/Cu}, \text{ кг/га} = (ПУ - ФУ) / «b»$$

4) на основе химического анализа листьев растений по фазам роста и развития и коэффициентов интенсивности действия «b» микроудобрений на концентрацию элемента в растениях:

$$D_{Zn/Cu}, \text{ кг/га} = (\mathcal{E}_{онм} - \mathcal{E}_{фак})^2 / «b» \cdot \mathcal{E}_{онм}$$

3. Для получения стабильных урожаев высококачественного лекарственного сырья в условиях южной лесостепи Западной Сибири предлагается использовать установленные количественные характеристики влияния микроэлементов на химический состав почвы и растений. При разработке экологического

нормирования учитывать установленные ПСЭ в почве, а также формулы для прогноза содержания микроэлементов в почве и растениях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Учитывая важное научно-практическое значение темы диссертационного исследования для развития отрасли лекарственного растениеводства в РФ, целесообразно расширить круг изучаемых микроэлементов, а также лекарственных культур, которые можно выращивать в условиях юга Западной Сибири.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ*

1. Ермохин, Ю. И. Величина накопления доступного азота в почве и его практическое использование / Ю. И. Ермохин, **Н. Н. Тищенко** // Омский научный вестник. Серия. Ресурсы Земли. Человек. – 2011. – № 1 (104). – С. 251-254.
2. Ермохин, Ю. И. Метод определения урожайности тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium L.*) по химическому составу растений / Ю. И. Ермохин, **Н. Н. Тищенко** // Агрохимия. – 2014. – № 6. – С. 89-93.
3. Ермохин, Ю. И. Определение доз цинковых удобрений под тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium L.*) на основе использования результатов полевых опытов и агрохимических картограмм / Ю. И. Ермохин, В. В. Кривоногова, **Н. Н. Тищенко** // Омский научный вестник – 2014. – №1 (128). – С. 105-107.
4. **Тищенко, Н. Н.** Влияние цинка и меди на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium L.*) на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Н. Н. Тищенко // Омский научный вестник. – 2015. – № 1 (138). – С. 123-127.
5. Ермохин, Ю. И. Агроэкологическая оценка влияния микроэлементов на урожайность и качество лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного / Ю. И. Ермохин, **Н. Н. Тищенко**, В. В. Сидоренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1(21). – С. 33-40.
6. **Тищенко, Н. Н.** Эколого-агрохимическая оценка влияния цинка на урожайность и качество лекарственного сырья пижмы обыкновенной / Н. Н. Тищенко, А. Х. Шойкина // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1(21). – С. 40-45.
7. **Тищенко, Н. Н.** Экологическая оценка влияния ацетата цинка на содержание цинка в растениях пижмы обыкновенной / Н. Н. Тищенко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №3 (23). – С. 68-71.
8. **Тищенко, Н. Н.** Агроэкологическая оценка влияния ацетата меди на урожайность и химический состав лекарственного сырья *Tanacetum vulgare l.* / Н. Н. Тищенко, В. В. Сухоцкая, Е. Н. Озякова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – №4 (28). – С. 67-74.
9. Suhotskaya, V. V. Soil diagnostics of the needs of *Echinacea purpurea L.* zinc fertilizers in the conditions of the southern forest steppe of Western Siberia / V. V. Suhotskaya, **N. N. Tishchenko**, Yu. I. Yermokhin // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 3. – Р. 31-34.
10. Сухоцкая, В. В. Влияние цинковых удобрений на химический состав и качество растений эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Жаркова**, Ю.И. Ермохин // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – №4 (32). – С. 128-131.
11. Сухоцкая, В. В. Влияние медных удобрений на формирование урожайности лекарственного сырья эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Жаркова**, Ю. И. Ермохин // Вестник Красноярского аграрного университета. – 2019. – №2. – С. 38-44.



12. **Жаркова, Н. Н.** Формирование урожая лекарственных культур (*Tanacetum vulgare* L., *Echinacea purpurea* L.) под влиянием эссенциальных микроэлементов / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Овощи России. – 2019. – № 5. – С. 72-76.

13. **Жаркова, Н. Н.** Эффективность применения цинковых удобрений при выращивании лекарственных культур в условиях Западной Сибири / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Вестник Воронежского ГАУ. – 2020. – № 1. – С. 77-84.

14. **Жаркова, Н. Н.** Интенсивность биологического накопления микроэлементов (цинка и меди) растениями *Echinacea purpurea* L. в условиях Западной Сибири / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Овощи России. – 2020. – № 2. – С. 87-90.

15. **Жаркова, Н. Н.** Почвенная диагностика потребности тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*) и эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) в медных удобрениях в условиях Омской области / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 4. – С. 18-23.

16. **Жаркова, Н. Н.** Оценка элементного химического состава лекарственных растений *Achillea millefolium* L. и *Echinacea purpurea* L. при внесении в почву цинка и меди в условиях южной лесостепи Омской области / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Земледелие. – 2021. – № 1. – С. 19-22.

*Статьи в журналах, индексируемых в международной базе Scopus и Web of Science*

17. **Жаркова, Н. Н.** Содержание некоторых биологически активных веществ и химических элементов в лекарственном сырье *Echinacea purpurea* (L.) Moench под влиянием эссенциального микроэлемента Cu / Н. Н. Жаркова, В. В. Сухоцкая, Ю. И. Ермохин // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55. – № 3. – С. 588-596.

18. **Zharkova, N. N.** Impact of the use of essential trace elements (zinc, copper) on the chemical composition of perennial medicinal plants in southern Western Siberia / N. N. Zharkova, V. V. Suchotskaya, Yu. I. Ermohin // Earth and environmental science. – № 624. – E6241179.

19. **Zharkova, N. N.** Biological accumulation of zinc and copper in the «Soil-plant» system in the conditions of the south of Western Siberia / N. N. Zharkova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Russian Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness (TSIA 2021), Stavropol, Russia, 28.10.2021 - 30.10.2021. – Stavropol Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2021. – V. 996(1). – P. 012010.

*Публикации в других изданиях (основные)*

20. **Тищенко, Н.Н.** Вынос азота тысячелистником обыкновенным и его практическое использование / Н. Н. Тищенко // Проблемы безопасности. Технологии и управление : сб. матер. науч.-практ. конф. / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск, 2012. – С. 168-174.

21. **Тищенко, Н.Н.** Агроэкологическая оценка действия минеральных удобрений на качество *Achillea millefolium* L. в условиях Западной Сибири / Н. Н. Тищенко // Реализация государственной программы развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: инновации, проблемы и перспективы : материалы второй междунар. науч.-технич. форума – Омского государственного аграрного университета, 27-29 марта, 2013 г. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина, 2013. – С. 270-272.

22. **Тищенко, Н.Н.** Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) на лугово-черноземной почве Западной Сибири / Н. Н. Тищенко, И. С. Омутных // Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур : материалы 46-й междунар. науч. конф. молодых ученых, докторантов, аспирантов и соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук. / Всерос. науч.-исслед. инст. агрохимии им. Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии. – М., 2012. – С. 187-190.

23. **Тищенко, Н.Н.** К вопросу о применении удобрений под лекарственные культуры / Н. Н. Тищенко // Наука и образование в XXI веке : сб. науч. трудов по материалам Межд. науч.-практ. конф. 30 сентября 2013 г. Часть 31. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 139-140.

24. Сухоцкая, В. В. Реальный и практический смысл связи между химическим составом растений и урожайностью тысячелистника обыкновенного / **Н. Н. Тищенко** // Научный вклад молодых исследователей в инновационное развитие АПК: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов Ч. I. (Санкт-Петербург–Пушкин, 27–28 марта 2014 года). – С.-Пб., 2014. – С. 93-94.

25. **Тищенко, Н. Н.** Эффективность микроэлементов при возделывании *Tanacetum vulgare* L. в Западной Сибири / Н. Н. Тищенко, Ю. И. Ермохин // Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса : материалы III международной конференции Сборник научных трудов. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 25 сентября 2014. – Том 2. – Вып. 7. – С. 215-219.

26. **Тищенко, Н.Н.** Диагностика потребности тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в цинке на основе полевого опыта с удобрениями на лугово-черноземной почве Западной Сибири / Н. В. Шах, Ю. И. Ермохин, В. В. Кривоногова // Молодой ученый. – 2015. – № 2. – С. 89-91.

27. Шах, Н. В. Влияние расчетных доз цинковых удобрений на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) и химический состав лугово-черноземной почвы / Н. В. Шах, Ю. И. Ермохин, **Н. Н. Тищенко** // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (17). – С. 19-23.

28. Еременко, Е.И. Эффективность использования различных доз меди под тысячелистник обыкновенный на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Е. И. Еременко, **Н. Н. Тищенко** // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 2-2(33). – С. 13-14.

29. Кривоногова, В.В. Диагностика потребности тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в медных удобрениях на лугово-черноземной почве / В. В. Кривоногова, **Н. Н. Тищенко** // Агроэкологические функции удобрений в современном земледелии : материалы 49-й междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, 22 апреля 2015 г. / Всерос. науч.-исслед. инст. агрохимии им. Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии. – М., 2015. – С. 201-205.

30. **Тищенко, Н. Н.** Влияние расчетных доз медных удобрений на урожайность пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) и химический состав лугово-черноземной почвы / Н. Н. Тищенко, С. С. Симанова // Агроэкологические функции удобрений в современном земледелии : материалы 49-й междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, 22 апреля 2015 г. / Всерос. науч.-исслед. инст. агрохимии им. Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии. – М., 2015. – С. 210-215.

31. **Тищенко, Н. Н.** Почвенная диагностика потребности пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в меди на лугово-черноземной почве в агроэкологических условиях Омского Прииртышья / Н. Н. Тищенко, Ю. И. Ермохин, С. С. Симанова // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования : сб. материалов, посвящ. 80-летию со дня рождения профессора, основателя и руководителя научной школы Ю.И. Ермохина / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск, 2015. – С. 139-144.

32. **Тищенко, Н. Н.** Экологическая оценка влияния меди на химический состав растений тысячелистника обыкновенного / Н. Н. Тищенко, В. В. Сухоцкая // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования : сборник материалов, посвящённый 80-летию со дня рождения профессора, основателя и руководителя научной школы Ю. И. Ермохина, Омск, 16 июля 2015 года / ФГБОУ ВПО «Омский

государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина». – Омск: ООО «ЛИТЕРА», 2015. – С. 156-161.

33. Бойко, Т.В. Сравнительная оценка общей токсичности спиртовых экстрактов тысячелистника обыкновенного, полученного при внесении в почву ацетатных форм цинка и меди методом биотестирования / Т. В. Бойко, **Н. Н. Тищенко**, И. А. Симонова, А. Шитлина, В. Водолага, Н. О. Смирнова // Современные проблемы развития фундаментальных и прикладных наук : II международная научно-практическая конференция, Praha, 25 февраля 2016 года. – Praha: Publishing House, 2016. – С. 141-145.

34. **Тищенко, Н.Н.** Влияние тяжелых металлов на лабораторную всхожесть семян эхинацеи пурпурной / Н. Н. Тищенко, В. В. Сухоцкая, Т. В. Кейних, А. С. Сырых, С. И. Лахина, С. В. Жданов // Международный научно-практический журнал «Молодой ученый». – 2016. – № 21(125). – С. 265-268.

35. **Тищенко, Н. Н.** Влияние меди на всхожесть семян эхинацеи пурпурной / Н. Н. Тищенко, Т. В. Кейних // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. (26 апреля 2017 г.) – Вологда : Изд-во ООО «Маркер», 2017. – С. 63-64.

36. Сухоцкая, В.В. Влияние ацетата цинка и меди на энергию прорастания семян эхинацеи пурпурной / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко**, Ю. И. Ермохин // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017) : материалы междунар. науч.-практ. конф. (3–5 июня 2017 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 274-277.

37. Кейних, Т.В. Влияние ацетата меди на лабораторную всхожесть семян эхинацеи пурпурной / Т. В. Кейних, **Н. Н. Тищенко**, А. В. Жданов // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017) : материалы междунар. науч.-практ. конф. (3–5 июня 2017 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 141-144.

38. Сырых, А.С. Оценка влияния ацетата цинка на лабораторную всхожесть семян эхинацеи пурпурной / А. С. Сырых, **Н. Н. Тищенко**, С. И. Лахина // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017) : материалы междунар. науч.-практ. конф. (3–5 июня 2017 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 277-279.

39. Сухоцкая, В.В. Влияние цинка и меди на всхожесть семян эхинацеи пурпурной / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко** // Проблемы охраны окружающей среды и использования природных ресурсов : материалы научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся (6 декабря 2017 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 340-344.

40. Унру, Е.П. Оценка влияния ацетата меди и цинка на урожайность эхинацеи пурпурной / Е. П. Унру, Т. И. Захарова, Н. Б. Магзумова, В. А. Еньшина, А. А. Хамаганова, В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко** // Проблемы охраны окружающей среды и использования природных ресурсов : материалы научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся (6 декабря 2017 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 204-209.

41. Сухоцкая, В. В. Последствие медных и цинковых удобрений на продуктивность *Echinacea purpurea* / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко** // Научные инновации – аграрному производству, посвящ. 100 летнему юбилею Омского ГАУ : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Омск, 21 февраля 2018 г.) [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Омск : ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – 1 электрон. опт. диск. (CD-R). – 512 МБ. – С. 427-431.

42. Сухоцкая, В. В. Влияние медных удобрений на химический состав лекарственного сырья эхинацеи пурпурной / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко** // Экологические чтения – 2018 : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию образования Омского

государственного аграрного университета им. П. А. Столыпина (г. Омск, 4–6 июня 2018 г.) / Омский. гос. аграр. ун-т. – Омск, 2018. – С. 302-306.

43. Сухоцкая, В. В. Оценка влияния меди на химический состав растений эхинацеи пурпурной / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Тищенко**, Ю. И. Ермохин // Современные научно-практические решения в АПК : материалы II Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. (г. Тюмень, 26 октября 2018 г.) / ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – Тюмень: ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2018. – С. 60-65.

44. Сухоцкая, В. В. Сравнительная оценка влияния микроэлементов на урожайность *Achillea millefolium L.* и *Echinacea purpurea* в условиях южной лесостепи Западной Сибири / В. В. Сухоцкая, **Н. Н. Жаркова**, Ю. И. Ермохин // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : материалы Национальной науч.-практ. конф. (г. Рязань, 22 ноября 2018 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2019. – Часть 2. – С. 552-556.

45. Растягаева, Н. В. Влияние ацетата меди на химический состав и показатели качества лекарственного сырья эхинацеи пурпурной / Н. В. Растягаева, **Н. Н. Жаркова** // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии : материалы Всероссийской (национальной) конференции (г. Омск, 18 апреля 2019 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2019. – С. 715-721.

46. Ходенко, С. В. Оценка влияния ацетата меди на урожайность лекарственного сырья эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) / С. В. Ходенко, **Н. Н. Жаркова**, В. В. Сухоцкая // Экологические чтения – 2019 : материалы X Национальной науч.-практ. конф. (с международным участием) (г. Омск, 5 июня 2019 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2019. – С. 404-409.

47. Лизюков, А.В. Оценка влияния цинковых удобрений на содержание цинка в растениях эхинацеи пурпурной / А. В. Лизюков, **Н. Н. Жаркова**, В.В. Сухоцкая // Экологические чтения – 2019 : материалы X Национальной науч.-практ. конф. (с международным участием) (г. Омск, 5 июня 2019 г.) / Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2019. – С. 221-225.

48. **Жаркова, Н.Н.** Содержание цинка в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной / Н. Н. Жаркова, Е. А. Биткова // Science. Research. Practice : материалы международной научной конференции ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ» «НАУКА. ИССЛЕДОВАНИЯ. ПРАКТИКА» (г. Санкт-Петербург, октябрь 2019 г.). – Санкт-Петербург, 2019. – С. 177-180.