

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. П.А. СТОЛЫПИНА»

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**

06.01.04 – агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:
доктор с.-х. наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ
Ю.И. Ермохин

Омск 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	16
1.1 Плодородие почв по содержанию подвижных форм цинка и меди и необходимость широкого применения микроудобрений.....	16
1.2 Биологическая роль цинка и меди для растительных и животных организмов	19
1.3 Взаимодействие цинка и меди с другими элементами в почвах и при поступлении их в растения.....	25
1.3.1 Цинк.....	25
1.3.2 Медь.....	30
1.4 Распространение, биология, экология, химический состав, значение и применение изучаемых лекарственных растений.....	33
1.4.1 История изучения.....	33
1.4.2 Ботаническая характеристика и биологические особенности изучаемых многолетних лекарственных растений.....	38
1.4.3 Химический состав и фармакологическое значение.....	44
1.4.4 Применение.....	48
1.5 Особенности минерального питания многолетних лекарственных растений и опыт применения удобрений под эти культуры.....	53
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	60
2.1 Объекты исследований.....	60
2.2 Агрохимическая характеристика почвы.....	61
2.3 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований...	67
2.4 Методика проведения полевых опытов.....	73
2.5 Методика лабораторных исследований.....	83
ГЛАВА 3. ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В МИКРОУДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА.....	88
3.1. Микроудобрения и урожайность тысячелистника обыкновенного.....	90
3.2. Микроудобрения и урожайность пижмы обыкновенной.....	97
3.3 Микроудобрения и урожайность эхинацеи пурпурной.....	105
ГЛАВА 4. СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ.....	117
4.1 Содержание кислоторастворимых форм цинка и меди в почве при применении микроудобрений.....	118
4.2 Содержание подвижных форм цинка и меди в почве при применении микроудобрений.....	122
4.3 Влияние цинковых и медных удобрений на баланс макроэлементов в лугово-черноземной почве.....	137
4.4 Математическое моделирование связи в системе «удобрение – почва – растение» при формировании биосинтеза органического вещества урожая....	145

4.5 Физиолого-агрохимические нормативные показатели минерального питания лекарственных растений и эффективности применения удобрений...	151
4.6 Влияние цинковых и медных удобрений на накопление доступного азота в почве под лекарственными растениями	167
ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ.....	177
5.1 Содержание валовых макроэлементов в лекарственных растениях в условиях обогащения цинком и медью.....	178
5.2 Содержание минеральных форм макроэлементов (N _n , P _n , K _c) в лекарственных растениях в условиях применения цинковых и медных удобрений.....	185
5.3 Содержание микроэлементов в лекарственных растениях при применении микроудобрений.....	191
5.4 Оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в лекарственных растениях в условиях применения цинковых и медных удобрений и их связь с урожаем.....	206
5.5 Интенсивность биологического накопления микроэлементов (цинка и меди) лекарственными растениями.....	225
ГЛАВА 6. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ.....	237
6.1 Качество лекарственного растительного сырья тысячелистника обыкновенного.....	239
6.2 Качество лекарственного растительного сырья пижмы обыкновенной.....	251
6.3 Качество лекарственного растительного сырья эхинацеи пурпурной.....	256
6.4 Оценка экологической безопасности лекарственных сырья по содержанию тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в условиях применения микроудобрений.....	265
ГЛАВА 7. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ	268
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	276
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	283
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	284
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	356

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Одной из острых проблем современной агрохимии является дефицит доступных форм микроэлементов растениям, что в свою очередь приводит к снижению продуктивности культурных растений и ухудшению качества растениеводческой продукции. Это обусловлено следующими основными причинами: недостаток запасов доступных для растений микроэлементов в почвах; значительный их вынос, связанный с интенсификацией сельского хозяйства и повышением урожайности сельскохозяйственных культур; ограниченное использование органических удобрений; низкий уровень применения микроудобрений; другие агрономические факторы. Недостаток или избыток микроэлементов приводит к возникновению эндемических заболеваний растений, животных и человека (Кишев, Жерукова, 2018; Манашов, 2015; Протасова, 1998).

Согласно Zinc Nutrient Initiative (ZNI), из всех питательных микроэлементов в почвах дефицит цинка является наиболее распространённым, затрагивающим более половины сельскохозяйственных земель мира. Так, в отчёте IHS Chemical Economics Handbook: Inorganic Zinc Chemicals отмечают, что в 2018 году глобальный дефицит цинка составлял 50-65%, что является серьёзной мировой проблемой. Особенно остро недостаток микроэлементов проявляется в почвах развивающихся стран мира (Alloway, 2008a,b; Firdous et al., 2018; FEESO International, Inc. [сайт]). В Японии, США, Бразилии, Филиппинах, Индии, Пакистане, Китае недостаток цинка является основной проблемой питания растений (Nene, 1966; Shivay et al., 2008; Yoshida, Tanaka, 1969; Yoshida et al., 1973).

В основных земледельческих регионах нашей страны площади почв с низкой обеспеченностью подвижными формами микроэлементов (медь, цинк и др.) достигают 50-90 % от обследованной территории (Аристархов, 2012б; Kabata-Pendias, Pendias, 2001). 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 (Азаренко, 2016; Азаренко и др., 2019; Аристархов, 2012б; Красницкий, 2002а,б). 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 (Кишев, Жерукова, 2018; Манашов, 2015; Протасова, 1998; Сысо, Ильин, 2008; Ferreira da Silva et al., 2019; Reavesm, Berrow, 2006; Gupta et al., 2008; Soumare et al., 2003; Shukla et al., 2018).

Дефицит микроэлементов отмечен не только в различных биогеохимических провинциях развитых и развивающихся стран мира, но и у населения, проживающего в них. Развитию дефицитных по цинку состояний подвержено 17-25 % жителей нашей планеты (Gibson, Heath, 2011; Maret, Sandstead 2006; Wessells, Brown, 2012); 10 % населения США, Канады, Африки и 33 % Юго-Восточной Азии (Wuehler et el., 2005). Известно, что недостаток этого микроэлемента отмечается и у жителей европейских стран (Хабаров и др., 2012; Chasapis et al., 2012), также цинковая недостаточность зарегистрирована в Египте, Иране, Португалии, Турции, Панаме и в других странах (Сальникова, 2018). У большинства населения, проживающего на территории РФ, также наблюдается дефицит эссенциальных микронутриентов – меди, цинка, селена, железа. В отдельных регионах РФ недостаток цинка достигает 30-90 % (Афтанас и др., 2010-2013). Низкое содержание меди встречается у жителей Новосибирска, Иркутска, Нижнего Новгорода, Саратова и других городов.

Потенциальное решение этой проблемы возможно с помощью агрономического биообогащения сельскохозяйственных культур (Сандстед, Прасад, 2011; Dimpka, Bindraban, 2016; Valença et al., 2017), в т.ч. и лекарственных, отдельными биоэлементами, например, цинком и медью.

Внесение микроудобрений (эссенциальных микроэлементов) в почву способствует активации ферментативных процессов у лекарственных растений, что ведёт к биосинтезу и накоплению в них биологически активных веществ, повышает ценные качества лекарственного сырья (Макарова и др., 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 и др., 2017). Следовательно, проблема минерального питания, эффективности микроудобрений многолетних лекарственных растений является актуальной и имеет важное значение в развитии лекарственного растениеводства в РФ, а её решение направлено на повышение урожайности и качества лекарственных культур, и сохранение плодородия почв.

При этом вопросы диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности микроудобрений лекарственных растений 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 южной лесостепи Западной Сибири.

Кроме этого, актуальность исследований еще связано с тем, что долгие годы лекарственное растениеводство находилось в кризисном состоянии и 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 (Козко, Цицилин, 2018). Наряду с восстановлением хозяйственных структур, занимающихся выращиванием лекарственных растений, необходимо изучение агрохимических приёмов возделывания лекарственных растений,

приспособленных к зональным условиям региона с большим опытом традиционного земледелия, с целью повышению их урожайности и качества. К числу таких регионов относятся и Западная Сибирь (Сибирский федеральный округ), на долю которой в структуре всех посевных площадей России приходится около 18 %. Юг Западной Сибири в достаточной степени обеспечен трудовыми и материально-техническими ресурсами, пластичен по почвенно-климатическим условиям и по результатам опытных исследований пригоден для возделывания многолетних лекарственных растений (Загуменников, 2001, 2002). Кроме этого, в Западно-Сибирском регионе имеется большое количество фармацевтических фабрик для организации сбыта и переработки лекарственного сырья (ЗАО «Эвалар», Тюменский химико-фармацевтический завод; Кемеровская фармацевтическая фабрика; ОАО «Синтез»; ПАО «Красфарма»; АО «Органика» и др.).

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; Складорова, 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 государственного аграрного университета 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.

В качестве объектов исследований были выбраны многолетние лекарственные растения семейства Сложноцветные (*Asteraceae*), используемые 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.

Объект исследования. Лекарственные растения (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная), лугово-черноземная почва, микроэлементы: цинк, медь.

Научная новизна исследований. 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 и предельное содержание и соотношение микроэлементов 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» (интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики) 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 фенилкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин (пижма) на 21-27 %, суммы фенилпропаноидов 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 гипотезы, постановку цели и задач исследований, закладку полевых опытов, проведение 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.

Основные положения, выносимые на защиту:

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 NPK.

Степень достоверности результатов работы подтверждена значительным объемом экспериментального материала, полученного в результате многолетних полевых опытов с микроудобрениями лекарственных культур, лабораторных

исследований, проводимых с использованием современных агрохимических и экологических методов оценки содержания и соотношения элементов минерального 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 исследований. Основные результаты исследований излагались и обсуждались на региональных, Всероссийских и Международных научно-практических конференциях, и форумах: «Проблемы безопасности. Технологии и управление» (г. Омск, 2012), «Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур» (г. Москва, 2012), «Реализация государственной программы развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: инновации, проблемы и перспективы», (г. Омск, 2013), «Наука и образование в XXI веке» (г. Тамбов, 2013), «Научный вклад молодых исследователей в инновационное развитие АПК» (г. Санкт-Петербург-Пушкин, 2014), «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса» (г. Ставрополь, 2014), «Агроэкологические функции удобрений в современной земледелии» (г. Москва, 2015), «Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования» (г. Омск, 2015), «Современные проблемы развития фундаментальных и прикладных наук» (Чехия, г. Прага, 2015), «Фармакологические препараты в профилактике и лечении животных» (г. Москва, 2016), «Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития» (г. Омск, 2016), «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)» (г. Омск, 2017), «Наука сегодня:

глобальные вызовы и механизмы развития» (г. Москва, 2017), «Проблемы охраны окружающей среды и использования природных ресурсов» (г. Омск, 2017), «Научные инновации – аграрному производству» (г. Омск, 2018), «Экологические чтения» (г. Омск, 2018-2019), «Современные научно-практические решения в АПК» (г. Тюмень, 2018), «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (г. Рязань, 2018), «Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии» (г. Омск, 2019), и ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО Омский ГАУ (2008-2015 гг.).

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.

Объём 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.

Личный вклад автора состоит в личном участии в закладке и проведении полевых опытов, лабораторных анализов почвенных и растительных проб; в планировании научного эксперимента, сборе и обработке исходных данных, 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 заведующую кафедрой геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО ТюмГУ 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, лаборантов и обучающихся кафедры агрохимии и почвоведения, и кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ, принимавших участие в проведении исследований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Плодородие почв по содержанию подвижных форм цинка и меди и необходимость широкого применения микроудобрений

В настоящее время многочисленными исследованиями установлено, что в биогеохимических провинциях, для которых характерен недостаток микроэлементов в почвах, снижается урожайность и качество практически всех сельскохозяйственных культур, а при остром недостатке микроэлементов в рационах животных возникают эндемические болезни и уменьшается их продуктивность. С другой стороны, избыток микроэлементов в почве может приводить к чрезмерному их поступлению в растения, тем самым представляя угрозу здоровью человека (Волков, 2015). В этой связи возникает необходимость изучения применения сбалансированных доз микроэлементов в сельском хозяйстве во всех природно-климатических зонах нашей страны.

Микроэлементам в настоящее время посвящено достаточно много исследований российских и зарубежных ученых (Анспок, 1990; Аристархов, 2000б; Власюк, 1969; Ермохин, 2014в; Ильин, 1973, 1991, 2012; Ильин, Сысо, 2001; Каталымов, 1965; Панасин, 1995; Пейве, 1961, 1980; Складорова, 2008; Сысо, Ильин, 2008; Сычев и др., 2009; Шеуджен, 2003; Школьник, 1974; Ягодин, 1981; Kabata-Pendias, 2010 и др.).

В России на площади порядка 44 млн. га преобладают почвы с недостаточным содержанием подвижных форм микроэлементов – 95,5 % площадей имеют низкое и среднее содержание цинка и 50,9 % меди (Аристархов, 2000б). Так, по материалам локального мониторинга плодородия почв реперных участков, расположенных на территории РФ (по состоянию на 01.01.2013 г.), средние значения содержания подвижных форм цинка и меди существенно ниже

нормативных значений ($\text{ПДК}_{\text{Zn}} = 23$ и $\text{ПДК}_{\text{Cu}} = 3$ мг/кг): по меди – в 10-15 раз, по цинку – в 10-22 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Среднее содержание подвижных форм цинка и меди в почвах РФ (по состоянию на 01.01.2013 г.)*

Элемент	Число реперный участков	Среднее содержание, мг/кг	Минимальное содержание, мг/кг	Максимальное содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг
Zn	1062	1,03	0,03	9,4	23,0
Cu	1074	0,26	0,01	4,2	3,0

Примечание: *Аристархов, 2016

Среднее содержание подвижной меди в России находится в пределах 0,26 мг/кг, что указывает на её низкий уровень (более чем в 10 раз ниже ПДК). Аналогичная ситуация отмечается и по цинку. Его среднее содержание в почвах составляет 1,03 мг/кг (в 23 раза ниже ПДК) (Аристархов и др., 2016б).

Содержание цинка и меди в Западно-Сибирском экономическом районе РФ также достаточно далеко от уровня ПДК и составляет 0,71 и 0,15 мг/кг соответственно (Аристархов и др., 2016б).

Несмотря на значительное поступление цинка в окружающую среду в результате антропогенной деятельности, в большинстве регионах Российской Федерации отмечается недостаток подвижных форм цинка в почвах, что ведет к обеднению рациона жителей этим микроэлементом. Особенно остро это выражено в Саратовской, Иркутской, Брянской, Московской областях, Башкортостане и Красноярском крае. Продукты питания, полученные в этих регионах, изначально содержат недостаточное количество цинка (Сальникова, 2012; Скальный, 2003).

Во многих федеральных округах нашей страны отмечается потребность сельскохозяйственных культур в применении микроудобрений, что связано с отсутствием их целевого применения (Аристархов и др., 2012; Аристархов, 2013; Волков, 2015).

Дефицит доступных форм микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Fe) в почвах в настоящее время отмечается и в ряде зарубежных стран (Африка, Бразилия, Шотландия, Индия) (Vanlauwe et al., 2015). Недостаток цинка обнаружен в почвах Индии, Ирана, Китая, Пакистана, Турции и других стран (Сальникова, 2018). Содержание легкодоступных форм Zn и Cu ниже критических уровней для роста растений приводит к значительным потерям в растениеводстве и животноводстве (Ferreira da Silva et al., 2019; Gupta et al., 2008; Reavesm, Berrow, 2006; Shukla et al., 2018; Soumare et al., 2003).

Применение микроудобрений на недостаточно обеспеченных микроэлементами почвах позволяет получить дополнительные прибавку урожая сельскохозяйственных культур в среднем на 10-15%, а при благоприятных условиях и выше (Аристархов, 2000а; 2000б; Волков, 2015; Сычев и др., 2009). В настоящее время многочисленными исследованиями установлена высокая эффективность цинковых и медных микроудобрений под сельскохозяйственные культуры (Волков, 2015; Ермохин, 2014в; Ермохин и др. 2001, 2002а, 2002б; Орлова, 1968, 1971, 1973, 1975, 1996, 2007 и др.).

Анализ имеющихся данных показывает, что в условиях южной лесостепи Западной Сибири к настоящему времени проведено значительное количество исследований, посвященных агрохимическим и экологическим аспектам применения микроэлементов. В то же время, следует отметить, что работ, посвященных микроэлементному питанию лекарственных растений, как в целом в РФ, так и в условиях Западной Сибири, практически нет. Исходя из этого, для рационального применения микроудобрений под лекарственные растения необходимо усовершенствовать методическую и нормативную базу их применения, выявить оптимальные дозы, установить уровни сбалансированного питания и соотношения микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири и предложить научно обоснованный прогноз их эффективного использования.

1.2 Биологическая роль цинка и меди для растительных и животных организмов

Учение о физиологической роли микроэлементов и о микроэлементах имеет относительно недавнюю историю, хотя многие химические элементы, входящие в эту группу, известны давно. В России основы данного научного направления были заложены основателем отечественной геохимии академиком В. И. Вернадским. Именно он указал на тесную связь химического состава земной коры с химическим составом живых организмов: растений, животных и человека. Он показал, что для нормального развития живых организмов нужны практически все элементы. В 1891 г. он выдвинул гипотезу о биогенной миграции микроэлементов и их значении для физиологических и патологических процессов (Бельмер, Гасилина, 2008).

Под микроэлементами понимают химические элементы, содержание которых в организме человека и животных очень мало и составляет около 10^{-2} – 10^{-12} %. Известно, что из 92 встречающихся в природе элементов периодической системы Д. И. Менделеева в организме человека находится 81, причем первые 20 химических элементов составляют 99 % от общего их содержания. Оставшийся 1 % приходится на 15 эссенциальных (железо, йод, цинк, медь, кобальт, молибден, хром, никель, ванадий, селен, марганец, мышьяк, фтор, кремний, литий) и 4 условно-эссенциальных (кадмий, свинец, олово, рубидий) микроэлементов. Несмотря на то, что в организме микроэлементы содержатся в крайне небольших, следовых количествах, значение их для нормального течения физиологических процессов просто огромно (Бельмер, Гасилина, 2008).

Мощное действие микроэлементов на физиологические процессы объясняется тем, что они входят в состав акцессорных веществ: дыхательных пигментов, витаминов, гормонов, ферментов, а также коферментов, участвующих в регуляции жизненно важных процессов. Известный российский ученый,

агрохимик А. В. Петербургский называл микроэлементы катализаторами катализаторов (Протасова, 1998).

Микроэлементы требуются растениям, животным и человеку только в оптимальных количествах и соотношениях. Полное отсутствие микроэлементов в питании, также, как и их избыток, приводит к заболеваниям живых организмов, связанных с нарушением обмена веществ. Микроэлементы участвуют в таких важных биохимических процессах, как дыхание, фотосинтез, синтез белков, кроветворение, белковый, углеводный, жировой обмен веществ, синтез гумуса др. (Протасова, 1998).

Цинк. Цинк имеет важное и многостороннее значение в жизни растений, животных и человека.

В 1855 г. Г. Форхаммер впервые обнаружил цинк в золе древесных растений (Шеуджен, 2005). В настоящее время установлено, что цинк входит в состав всех растительных организмов. Физиологическая и биохимическая роль этого элемента описана в работах многих отечественных и зарубежных исследователей (Власюк, 1969; Катылов, 1965; Ковда, 1975, 1985; Орлова, 1989; Пейве, 1961, 1980; Школьник, 1974; Ягодин, 1981; Alloway, 2008a,b; Begum et al., 2016; Sakmak, 2008; Chang et al. 2005; Fageria, 2002, 2004; Lebourg et al., 1998 и др.).

В настоящее время является доказанной роль цинка как необходимого элемента метаболизма растений. Прежде всего он входит в состав разнообразных ферментов и активирует около 30 ферментных систем в клетке. Содержится в составе активных центров ферментов ангидразы, дегидрогеназ, протеиназ и пептидаз. Наряду с участием в процессах дыхания, белковом, углеводном и нуклеиновом обменах, в образовании ауксина, ДНК и рибосом, цинк регулирует рост растений, влияет на образование аминокислоты триптофана, повышает содержание фитогормонов, влияющих на накопление биомассы растений, — гиббереллинов. Цинк увеличивает содержание углеводов в листьях и стеблях растений, что имеет прямую связь с повышением устойчивости к сухим и жарким погодным условиям, а также к бактериальным и грибковым заболеваниям,

солеустойчивости (Добролюбский, 1956; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ткаченко и др., 2017).

При отсутствии этого микроэлемента уменьшается активность тканевых окислительных ферментов. Цинк влияет на процесс фотосинтеза и усвоение растениями углекислого газа. Например, в состав важнейшего дыхательного фермента карбоангидразы, обнаруженного в хлоропластах растений, входит более 0,3 % цинка, поэтому листья богатые хлорофиллом содержат максимальное количество этого элемента. Цинк благоприятно влияет на течение ряда окислительно-восстановительных процессов в растительных организмах, в частности помогает окислению белков. Недостаток соединений цинка ведет к разрушению особых веществ – ауксинов, которые вырабатываются организмами и являются стимуляторами роста растений (Добролюбский, 1956).

Цинк способствует образованию генеративных органов у растений, оказывает непосредственное влияние на плодоношение, усиливает активность ферментов в прорастающих семенах. При его недостатке в растениях не образуются семена (Орлова, 1989).

По имеющимся данным потребление цинка линейно возрастает с повышением его концентрации в питательном растворе и в почвах. Форма поступления в корни растений осуществляется в основном в виде иона Zn^{2+} и гидратированных форм цинка. Скорость поглощения цинка сильно зависит от вида растений и условий среды роста (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

При внесении в почву микроудобрений, содержащих цинк, растения, лучше усваивают соединения азота, фосфора, калия и кальция (Добролюбский, 1956).

Цинк влияет на уровень витаминов у некоторых растений, так обнаружена связь этого элемента с процессом накопления аскорбиновой кислоты (Добролюбский, 1956).

В больших количествах цинк токсичен для растений, так как наблюдается угнетение процессов окисления, но при этом недостаток цинка ($3 \cdot 10^{-3}$ %) приводит к задержке или прекращению роста большинства видов растений.

Предельно-допустимая концентрация цинка в растительных кормах составляет 50 мг/кг, в растительных продуктах питания человека – от 10 до 50 мг/кг (Морковкин, Панова, 2004).

Обобщая имеющиеся данные о физиологической и биохимической роли цинка, следует отметить полифункциональность этого микроэлемента. При недостатке или избытке цинка наблюдается нарушение важнейших физиологических процессов у растений, животных и человека, что вызывает развитие специфических симптомов болезней (Волков, 2015). Так, при дефиците цинка у растений практически полностью прекращается рост междоузлий, происходит задержка роста, на листьях появляются хлоротичные пятна (пятнистый хлороз, желтуха, мелколиственность), у плодовых культур отмечается «розеточная болезнь» (Волков, 2015; Школьник, 1974).

При недостатке цинка в рационе животных у них наблюдается истощение, сильное возбуждение, задерживается рост, шерсть теряет блеск, сокращается продолжительность жизни (Войнар, 1963). Недостаток его в пище человека замедляет развитие всего организма. Установлено, что суточная потребность человека в Zn равна 10-15 мг, а общее количество в организме не превышает 2 г.

Цинк обнаружен во всех органах человека почти всюду в значительных количествах. А. О. Войнар (1963), один из крупнейших в нашей стране специалистов по изучению биологической роли микроэлементов в жизни животных и человека, отмечал, что невелико содержание цинка лишь в мозгу и мозжечке. С возрастом содержание цинка в теле человека и животных увеличивается (Добролюбский, 1956).

Дефицит цинка в организме человека приводит к раздражительности, утомляемости, потере памяти, депрессивным состояниям, уменьшению массы тела, снижению остроты зрения, бесплодию, импотенции, накоплению в организме некоторых нежелательных элементов (свинца, меди, железа, кадмия), к аллергическим заболеваниям и др. (Сальникова, 2018; Скальный, 2003, 2004; Haase, Rink, 2014; Prasad, 2012). Повышенному риску развития дефицита цинка в

большей степени подвержены спортсмены, больные сахарным диабетом, вегетарианцы, и люди, злоупотребляющие алкоголем (Волков, 2015; Скальный, 2003; Скальный, Рудаков, 2004; Poudel et al., 2017).

Медь. Медь относится к жизненно важным эссенциальным элементам наряду с железом, цинком, йодом, селеном и другими (Vavoulidou et al., 2005).

Впервые медь в тканях растительных организмов была обнаружена в начале 19 в. Джоном.

Она выступает кофактором многих ферментов, ответственных за важные процессы в клетках (Pavelkova et al., 2018). Так, фермент аскорбиноксидаза содержит 0,15-0,25 % меди, а деятельность полифенолоксидазы при недостатке этого микроэлемента вообще невозможна (Добролюбский, 1956). Медь и её соединения играют значительную роль в некоторых физиологических процессах, протекающих в клетках растений: дыхание, фотосинтез, углеводный и фосфорный обмены веществ, синтез белка, восстановление и фиксация азота, накопление крахмала, устойчивость хлорофилла. К другим важным функциям меди на клеточном уровне относят участие в метаболизме клеточных стенок, окислительном фосфорилировании и мобилизации железа, биосинтезе молибденового кофактора и транспорте белков, лигнификации, метаболизме фенолов, регуляции ауксинов и т. д. Она оказывает положительное влияние на водный режим растений, их засухо- и морозоустойчивость, повышает стойкость растений по отношению к различным болезням (Burkhead et al., 2009; Marschner, 2012; Printz et al., 2016; Tripathi et al., 2015; Yruela, 2005).

Характерными признаками недостатка меди во внешнем облике растений и на генеративных органах почти у всех культур по данным Н.С. Петруниной (1974), являются суховершинность, низкорослость, отсутствие цветения и плодоношения.

При недостатке меди в растениях происходят глубокие изменения в белковом и фосфорных обменах. В растениях, выращиваемых без меди, замедляется синтез белка, понижается уровень окислительно-восстановительных

процессов и задерживается гидролиз. Медь в растениях ускоряет процессы синтеза сложных органических соединений – фосфатидов и нуклеопротеидов.

Содержание меди в вегетативных частях растений более высокое, чем в генеративных, причем листья растений более богаты медью. Почти вся медь, находящаяся в листьях, локализована в хлоропластах (Удрис, Нейланд, 1990).

Медные удобрения повышают в растениеводческой продукции содержание сахара, жира, аскорбиновой кислоты, витамина А и витаминов группы В.

Концентрация аскорбиновой кислоты в организме зависит от уровня меди в продуктах питания и кормовом рационе. Повышенная концентрация меди, по данным Р. А. Дьяченко (1964), уровень витамина С понижает, а оптимальная – увеличивает. Связано это с тем, что ионы Cu^{2+} резко ускоряют окисление аскорбиновой кислоты и снижают уровень ее концентрации в тканях и органах, поскольку они являются металлокомпонентами простетического центра аскорбиноксидазы – фермента, катализирующего данный процесс. Таким образом, аскорбиновая кислота и медь в организме коррелируют между собой. Взаимная корреляция была также установлена между уровнем меди и содержанием витамина А в организме. При избытке витамина А содержание кальция, натрия, железа и меди уменьшается.

Данные о роли микроэлементов в накоплении витаминов в растительных и животных организмах свидетельствуют о том, что металлы необходимы для их синтеза как факторы, образующие ферменты. Особенно велика роль минеральных факторов в биосинтезе витаминов А, С, В₁, В₆, В₁₂ (Удрис, Нейланд, 1990).

Таким образом, анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что цинк и медь играют важную роль в физиолого-биохимических процессах, протекающих в организме растений, животных и человека, которые могут быть нарушены при недостатке или избытке данных микроэлементов.

1.3 Взаимодействие цинка и меди с другими элементами в почвах и при поступлении их в растения

1.3.1 Цинк

В качестве катиона Zn взаимодействует со всеми питательными веществами, присутствующими в почве или поглощаемыми растениями в виде анионов, включая NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- , BO_3^{3-} и MoO_4^{2-} . Из них нитрат, сульфат и хлорид Zn растворимы в воде и соответственно доступны для растений. Фосфаты могут снижать доступность Zn в почвах. Кроме того, гидроксиды и карбонаты, присутствующие в почве, приводят к адсорбции Zn на их поверхности или осаждению Zn в виде гидроксида цинка или карбоната цинка, что снижает доступность цинка для растений (Prasad et al., 2016).

Химическое взаимодействие цинка в почве.

Поглощение цинка растениями зависит от степени кислотности и щелочности почвы. Между доступностью цинка растениям и pH почвы выявлена обратная связь. W. L. Lindsay (1991) заметил, что растворимость Zn снижается в 100 раз с увеличением pH на каждую единицу, за счет образования труднорастворимых и прочносвязанных с твердыми фазами почвы соединений. T. R. Rupa и K. P. Tomar (1999) наблюдали резкое увеличение сорбции Zn с увеличением pH с 4,25 до 6,75, после чего почти весь Zn абсорбируется. Этим объясняется возникновение дефицита цинка на чрезмерно кислых почвах, с внесением извести (Khan, 1970). При pH ниже 7,7 преобладающая форма цинка в почвенном растворе – Zn^{2+} , при pH выше 9,1 – $\text{Zn}(\text{OH})_2$, а при pH от 7,7 до 9,1 – $\text{Zn}(\text{OH})^+$ (Lindsay, 1991). Физиологически кислые удобрения повышают содержание цинка в растениях, а физиологически щелочные – снижают (Анспок, 1990; Аристархов, 2000а, 2000б; Сычев и др., 2009 и др.).

Повышение pH почвы обычно снижает абсорбцию Zn и вызывает или усиливает дефицит цинка (Wears, 1956), что связано с его влиянием на усиление

абсорбции Zn компонентами почвы и образованием Zn-органических комплексов, которые влияют на процесс всасывания Zn корнями. Однако разные виды растений могут по-разному реагировать на pH почвы. Повышение кислотности почвы увеличивало концентрацию Zn в растениях клевера, но при этом не влияло на овёс, выращиваемый на той же почве (Williams, 1977).

Карбонат кальция способен реагировать с Zn в почвенном растворе с образованием цинката кальция $[\text{CaZn}_2(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ (Jurinak, Thorne, 1955), который в свою очередь может быть недоступен для растений. В исследованиях N. K. Kalyansundaram и B. V. Mehta (1970) установлено снижение доступности Ca при применении высоких доз Zn.

Медь и цинк, являясь двухвалентными катионами, могут конкурировать друг с другом за места адсорбции на минералах почвенной глины (Elliott et al., 1986). Однако из-за того, что содержание данных элементов слишком мало в окультуренных почвах, такая конкуренция, как правило, не наблюдается.

В лабораторных исследованиях было обнаружено антагонистическое взаимодействие между Cu и Zn. Например, B. Kim и M. B. McBride (2009) пишут, что высокие концентрации Cu сильно ингибируют адсорбцию Zn на частицах почвы, что приводит к тому, что Zn легко извлекается и становится доступным. A. Basak et al. (1982) установили, что внесение в почву 5 мг Mo / кг почвы увеличивает количество экстрагируемого цинка в переувлажненной почве.

Взаимодействие цинка с другими элементами при поступлении в растения.

Азот. Синергетические эффекты взаимодействия цинка и азота были отмечены на кукурузе (Aref, 2001; Adiloglu A., Adiloglu S., 2006), пшенице (Kutman et al., 2011a, 2011b; Xu et al., 2012), рисе (Lakshmanan et al., 2005) сорго, картофеле и сахарной свёкле (Boawn et al., 1960). Y. S. Shivay et al. (2014a) показали, что концентрация N в нуте (*Cicer arietinum*) увеличилась с 36,1 мг/кг на контроле (без Zn) до 47,2 мг/кг при внесении 7,5 кг Zn/га. Ими также сообщалось, что увеличение концентрации азота в зерне нута было более значительным при

внекорневой подкормке Zn, чем при внесении в почву (Shivay et al., 2014b). U. B. Kutman и др. (2011b) предполагают, что N увеличивает поглощение Zn корнями, а также его перемещение в побеги. Однако высокие уровни азота, ведущие к чрезмерной скорости вегетативного роста, могут вызывать дефицит цинка у растений на почвах с его недостатком (Camp, Fudge, 1945; Ozanne, 1955).

Фосфор. Антагонистическое влияние высоких доз P на абсорбцию и поглощение Zn и наоборот отмечено на кукурузе (Adriano, 2001; Adriano et al., 1971; Bukovic et al., 2003; Christensen, Jackson, 1981; Sharma et al., 1986), пшенице (Nayak, Gupta, 1995; Webb, Loneragan, 1988), рисе (Halder, Mandal, 1981), картофеле (Barker, 1978; Christensen, Jackson, 1981; Soltanpour, 1969), сое (Shittu, Ogunwale, 2012), фасоле (Lessman, Ellis, 1971), масличном рапсе (Hu et al., 1996) и арахисе (Mirvat et al., 2006). Одним из объяснений, обычно предлагаемых исследователями, является усиление роста растений из-за внесения P, что приводит к снижению концентрации Zn в растениях. Внесение N удобрений в большей степени увеличивает рост растений, но при этом не снижает концентрацию Zn в тканях, напротив, увеличивает её. Поэтому очевидно, что между Zn и P наблюдаются антагонистические взаимодействия. Некоторые исследователи отмечают, что применение высоких уровней фосфора ингибирует перемещение Zn из корней в листья (Khan, Zende, 1977; Nair, Babu, 1975; Rupa et al., 2003). Считается, что образование фосфата и / или фитата Zn отвечает за иммобилизацию Zn на поверхности корней (Sarret et al., 2001) и в листьях (Kupfer et al., 2000). При дефиците цинка растения теряют способность регулировать накопление фосфора (Marschner, Cakmak, 1986; Safaya, Gupta, 1979). В результате чего, поглощенный корнями фосфор накапливается в растениях (Welch and Norvell, 1993). С. Huang и др. (2000) предположили, что это происходит в следствии того, что недостаток цинка увеличивает экспрессию высокоаффинных генов P-транспорта в корнях ячменя. J. F. Loneragan и M. J. Webb (1993) показали, что, когда растения получают высокие концентрации P и низкие концентрации Zn, они накапливают большое количество P в листьях, что приводит к осаждению

Zn и увеличению внутренних потребностей растений в нем. Повышение транслокации и захвата P возникает при недостатке Zn и не происходит у растений с дефицитом Fe, Mn или Cu (Adriano, 2001).

Калий. I. Cakmak и H. Marschner (1988) выявили, что Zn играет определенную роль в поддержании целостности мембран у растений, а дефицит Zn увеличивает экссудацию K^+ , аминокислот и фенолов у хлопка (*Gossypium hirsutum* L), пшеницы (*Triticum aestivum* L.), томатов (*Lycopersicon esculentum* L.) и яблони (*Malus domestica*), выращенных в растворе с контролируемой средой. Внесение калийных удобрений в сочетании с внекорневой подкормкой цинком и фосфором повышало урожайность египетского хлопка (*Gossypium barbadense* L.) (Sawan et al., 2008). Аналогичным образом, внесение 20 кг K + 20 кг S + 5 кг Zn на гектар повысило урожай семян и содержание масла в соевых бобах (*Glycine max* L.) (Chauhan et al., 2013).

Кальций. Антагонистические эффекты Ca и Zn известны давно (Rogers, Wu, 1948; Wears, 1956). U. S. Sadana и P. N. Takkar (1985) отмечают, что Ca снижает абсорбцию Zn проростками риса. T. Kawasaki и M. Maritsugu (1987) также обнаружили, что увеличение концентрации Ca в растворе снижает абсорбцию и транслокацию Zn в корнях ячменя. J. G. Davis-Carter и др. (1991) установили, что содержание Ca в листьях арахиса снижалось при внесении цинковых удобрений.

Магний. S. Jr. Merrill и др. (1953) выявили, что на Zn-дефицитных почвах применение Mg увеличивает концентрацию Zn в тунговых деревьях (*Aleurites fordii* Hemsl.), и наоборот, применение Zn повышает концентрацию Mg. Таким образом, существует положительное взаимодействие между Zn и Mg. L. F. Seatz (1960) отмечает, что степень доступности Zn может быть изменена путем использования известковых удобрений с содержанием Mg, а оптимальный рост растений льна (*Linum usitatissimum*) и сорго (*Sorghum bicolor*) был получен при применении $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в соотношении 1:1 или 2:1; при соотношении 5:1 их рост снижался.

Сера. Имеются данные, как об антагонистических, так и синергических эффектах взаимодействия между цинком и серой. U. C. Shukla и K. G. Prasad (1979) в своих исследованиях отмечают, что применение серы снижает урожайность и концентрацию Zn в побегах арахиса (*Arachis hypogaea* L.). По данным A. L. Shah и S. K. De Datta (1991), концентрация Zn в растениях риса была немного снижена при внесении 100 кг S/га. С другой стороны, Y. Cui и Q. Wang (2005) указывают на значительное увеличение концентрации Zn в яровой пшенице при внесении в почву серы. A. K. Baudh и G. Prasad (2012) также сообщают о положительном взаимодействии Zn и S в отношении роста растений и урожайности горчицы (*Brassica campestris*).

Железо, марганец и медь. В своих исследованиях A. Adiloglu и S. Adiloglu (2006) отмечают, что применение Zn снижает содержание Fe, но увеличивает концентрацию Mn и Cu в растениях кукурузы, в то время как Halдар M. и Mandal L.N. (1981) обнаружили, что применение Zn снижает концентрацию Fe и Cu, но увеличивает концентрацию Mn в корнях и побегах риса. Снижение концентрации Zn при внесении удобрений, содержащих железо, было зарегистрировано в растениях риса (Verma, Tripathi, 1983) и пшеницы (Brar, Sekhon, 1976; Ghasemi-Fasael, Ronaghi, 2008). J. E. Ambler и др. (1970) обнаружили, что Zn препятствует перемещению Fe из корней в побеги растений сои, распределяясь по эпидермису корней. Сообщается также, что применение железа помогает снизить токсичность цинка (Fontes, Cox, 1998). В почвах с дефицитом Fe и Zn корни растений продуцируют фитосидерофоры, которые образуют хелатные комплексы с Fe и Zn (Romheld, Marschner, 1990; Zhang et al., 1989). Сидерофоры (сидеро – железо; форы – носитель) – это водорастворимые органические вещества с низким молекулярным весом, продуцируемые растениями (фитосидерофоры) и почвенными микроорганизмами (Singh et al., 2005). Фитосидерофоры продуцируются растениями семейства злаковых (Zhang et al., 1991). Когда Fe или Zn применяют в качестве удобрений, производство сидерофоров уменьшается или может даже полностью прекратиться, что снижает поглощение не внесенных

микроэлементов. Это частично объясняет антагонистические эффекты между Fe и Zn. Было обнаружено токсическое действие Cu и Zn на ячмене (Luo, Rimmer, 1995), бобах (Miyazawa et al., 2002) и сои (Kim, McBride, 2009). Е. М. Ivanova и др. (2010) обнаружили, что высокая концентрация Cu сильно замедляет поглощение Zn корнями в семенах рапса, но не влияет на его перемещение в растения, в то время как высокая концентрация Zn способствует поглощению Cu корнями, но снижает его транспортировку к побегам.

Бор. Установлено, что дефицит Zn приводит к повышению концентрации В в ячмене (Graham et al., 1987) и пшенице (Singh et al., 1990). А. Gunes и др. (2000) выявили, что применение Zn снижает концентрацию бора в растениях томата с 321,7 мг/кг на контроле до 236,7 мг/кг, в варианте, получавшем 20 мг Zn/кг почвы. М. Rajaie и др. (2009) пишут о снижении концентрации В в цитрусовых культурах в следствие применения Zn. Таким образом, внесение цинковых удобрений снижает поглощение бора растениями и рекомендуется на почвах богатых В для снижения его токсичности. М. Hussein и др. (2007) и F. Aref (2011) предположили, что бор и цинк в тканях растений являются антагонистами. Однако обратное явление установлено рядом авторов – внесение бора не снижает концентрацию Zn в растениях (Adilgolu A., Adilgolu S., 2006; Rajaie et al., 2009). Напротив, Sinha и др. (2000) сообщают о положительном взаимодействии между Zn и В на горчице (*Brassica nigra*).

1.3.2 Медь

Концентрация Cu в вегетативных тканях растений варьирует в зависимости от вида или экотипа растений, стадии развития и факторов окружающей среды, таких как содержание азота и химические свойства почвы. Например, растения, выращиваемые в условиях высокого содержания азота, требуют значительно большего количества меди. Биодоступность меди обычно выше на кислых почвах. Как в почвенном растворе, так и в твердой фазе медь в основном связана с

неорганическими и органическими веществами путем комплексообразования или абсорбции. Ионы Cu обладают высоким сродством к участкам связывания компонентов почвы, а также могут абсорбироваться на поверхности глин и оксидов Fe или Mn, совместно осаждаемых с карбонатами и фосфатами или присутствующих в решетке первичных силикатных минералов. Ионы Cu также могут быть связаны со стенками клеток и с внешней мембранной поверхностью клеток корней растений. Распределение Cu между этими различными твердыми и растительными компонентами будет сильно влиять на химическую подвижность и, следовательно, количество меди, потенциально поглощаемой растениями. При кислой pH растворенная Cu будет увеличиваться из-за ее более слабой адсорбции и, таким образом, увеличит активность свободных ионов Cu. Кроме того, при повышении pH возникает конкурентная адсорбция между органическими веществами в твердой фазе и растворенным органическим углеродом, что обычно приводит к увеличению концентрации Cu в почвенном растворе из-за увеличения растворенного органического углерода (Carrillo-González, González-Chávez, 2006). Таким образом, при увеличении pH (снижении кислотности) активность ионов Cu значительно снижается за счет органических соединений в почвенном растворе (Sauvé et al. 1997). Однако в ризосфере микробная активность может влиять на химическую подвижность ионов металлов и, в конечном итоге, на их поглощение растениями в результате изменения pH почвы или растворенного органического углерода (Hinsinger, Courchesne 2008). Например, в условиях дефицита железа у растений семейства мятликовых повышенная секреция корнями особых Fe-хелатных соединений (фитосидерофоров) увеличивает поглощение меди растениями (Chaignon et al. 2002). Примечательно, что химические свойства почвы могут различаться между основной массой почвы и ризосферой, поэтому рассмотрение только свойств основной массы почвы является плохим предиктором биодоступности меди и, в конечном итоге, поглощения меди, которое скорее зависит от конкретных свойств, индуцируемых корнями в ризосфере. Соответственно, в литературе приводятся противоречивые результаты

относительно влияния pH на поглощение Cu растениями. На очень кислых почвах концентрация Cu в растениях рапса (*Brassica napus* L.) и томатов (*Lycopersicon esculentum* L.) увеличивалась по сравнению с известкованными почвами (Chaignon et al. 2003; Cornu et al., 2007). Напротив, накопление Cu в растениях кукурузы (*Zea mays* L.) было таким же высоким как на кислых почвах, так и известкованных (Brun et al., 2001). А. Michaud и др. (2007) не обнаружили четкой взаимосвязи между поглощением меди твердой пшеницей (*Triticum turgidum durum* L.) и pH почвы. При низком pH наблюдается ощелачивание теризосферы по сравнению с основной массой почвы, что может привести к снижению биодоступности Cu. В известкованных почвах более высокая химическая подвижность меди может быть связана с секрецией фитосидерофоров, ведущей к большему поглощению этого элемента растениями.

У растений относительно мало известно о транспортировке Cu в клетки и внутри них. W. Schmidt (1999) сообщил, что Cu и Fe конкурируют в захвате ионов. E. Pääsikkä и др. (2002) выявили, что избыток Cu в гидропонной среде вызывает дефицит железа в растениях сои. Y. Chen и др. (2004) установили, что дефицит железа индуцирует поглощение и накопление меди растениями *Commelina communis*. Кроме того, A. D. Rombolà и др. (2005) обнаружили, что дефицит железа увеличивает содержание Cu и снижает содержание Zn в листовых пластинах сахарной свеклы, выращиваемой на гидропонике. Антагонизм Cu и Fe часто возникает у растений, выращенных в условиях токсичности Cu (Foy et al., 1978; Lombardi, Sebastiani, 2005; Wallace, Cha 1989). Тем не менее, противоположный сценарий наблюдался в отношении орегано (Panou-Filothéou et al., 2001), рассады риса (Kitagishi, Yamane, 1981) и пшеницы (Lanaras et al., 1993), подвергшихся воздействию токсичности Cu в почве. Увеличение концентрации меди в почве приводило к параллельному увеличению содержания Cu в листьях без снижения содержания Fe и Mg. Эти явно противоречивые результаты можно объяснить разной степенью толерантности у растений.

Кроме того, антагонистическое взаимодействие между Cu и Zn было выявлено у одноклеточной зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* (Herbik et al., 2002). Подобная особенность наблюдается и у некоторых растений. Медь в почве отрицательно влияет на накопление Zn в корнях душицы (Panou-Filothou, Basabalidis, 2004). М. Bernal и др. (2007) продемонстрировали, что Cu по-разному взаимодействует с Fe и Zn в зависимости от способа обработки избытком меди. Например, растения сои, обработанные избытком Cu внекорневым способом через листья, ведут себя иначе, чем растения, под которые медь вносили в почву. Растения сои не проявляли антагонистического взаимодействия между поглощением Cu и Fe, когда избыток Cu подавался через листья, но Cu конкурирует с поглощением Fe у растений, выращенных с избытком Cu в гидропонной среде. Что касается Zn, то в растениях сои наблюдалось снижение содержания Zn при внекорневой обработке листьев, тогда как при внесении меди в почву наблюдали обратное явление. Кроме того, соя, обработанная медью, вела себя аналогично растениям, выращиваемым в условиях избытка Cu в почве (Bernal et al., 2006). Различную реакцию растений, наблюдаемую при этих двух обработках медью, можно объяснить разными типами поглощения меди клетками листьев и корней.

1.4 Распространение, биология, экология, химический состав, значение и применение изучаемых лекарственных растений

1.4.1 История изучения

Тысячелистник обыкновенный. Род *Achillea* насчитывает более 150 видов, распространенных на всех континентах в Европе, Азии, Северной Америке и Северной Африке. В официальной медицине в основном используется тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) (Куцик, Зузук, 2002).

A. millefolium – одно из старейших ботанических растений, используемых человеком. Он входит в число шести лекарственных растений, пыльца которых была обнаружена в могиле неандертальцев в Шанидаре (Ирак), датируемой 65000 г. до н.э. (Solecki, 1975).

Родовое название *Achillea* связано с троянским героем греческой мифологии Ахиллом, который впервые стал использовать это растение в качестве заживляющего средства (Benedek et al., 2007). Существует и другая версия названия рода по которой оно происходит от греч. *chilion* – «тысяча» и дано из-за сильной рассеченности листьев, отсюда и русское название рода «тысячелистник». Листья тысячелистника в средние века называли «венерины ресницы», а все растение – «солдатская трава», так как оно использовалось для лечения ран (Чусовитина, Карпухин, 2019).

Самые старые сохранившиеся тексты, описывающие использование *A. millefolium* в европейской классической медицине, принадлежат Плинию Старшему и Диоскориду в I веке нашей эры. Плиний указывает, что цивилизация древних этрусков использовала траву тысячелистника для лечения ран у животных. Древнегреческий врач Диоскорид отмечал кровоостанавливающее и ранозаживляющее действие тысячелистника. Гален считал, что цветки тысячелистника полезнее горькой полыни. Персидский врач Авиценна (979–1037) рекомендовал тысячелистник при болях в пояснице, суставах, радикулите, подагре, головных болях, для лечения тромбозов, при отравлении лекарствами. Древние ацтеки применяли его для лечения струпьев и удаления пятен на лице (Куцик, Зузук, 2002; Sofi Imtiyaz Ali et al., 2017).

По свидетельству летописей, сушеную траву тысячелистника использовали воины Александра Македонского. Им посыпали раны, его отвар пили при различных заболеваниях, возникающих в военных походах, благодаря чему отсутствовало инфицирование ран, не было перитонитов и пищевых токсикоинфекций. Солдаты армии Александра Васильевича Суворова применяли

растертый порошок тысячелистника в качестве кровоостанавливающего средства (Ахметьянов и др., 2019).

Казаки Запорожской Сечи свежие листья этого растения растирали до получения кашицеобразной массы, затем смешивали их со смальцем и смазывали этим огнестрельные раны. Сухой порошок тысячелистника они использовали для присыпания ран. По свидетельству летописей, внука Дмитрия Донского, ослабевшего от носовых кровотечений, лечили соком тысячелистника. В XVIII-XIX вв. препараты тысячелистника назначали при дизентерии и при кровотечениях разной этиологии (маточных, геморроидальных, носовых). Затем, кровоостанавливающее действие растения было забыто, и в научной медицине его использовали лишь как горечь, улучшающую пищеварение и возбуждающую аппетит (Крылов, 1969). И. Анненков считал тысячелистник эффективным седативным средством при истерии, нервных заболеваниях, ипохондрии и гипертензии (Куцик, Зузук, 2002).

Литературные данные недавно были подтверждены морской археологией. *A. millefolium* входит в число растений, которые, согласно данным анализа ДНК, присутствуют в двух прессованных таблетках из растительного сырья, извлеченных в 1980 году из коллекции медицинских принадлежностей на римском корабле, затонувшем у берегов Тосканы между 140 и 120 годами до нашей эры. Анализ ДНК выявил несколько ингредиентов в таблетках, которые в трудах того времени считались лекарственными. Помимо тысячелистника, исследование обнаружило ДНК-доказательства присутствия моркови, редиса, петрушки, сельдерея, дикого лука и капусты (Applequist, Moerman, 2011).

Пижма обыкновенная. Род *Tanacetum* насчитывает около 150 видов. Одним из наиболее распространенных и популярных растений этого рода является *Tanacetum vulgare* (Stevovic et al., 2009). Пижма обыкновенная родом из Евразии и встречается почти во всех частях континентальной Европы (Heuwood, Zohary, 1995).

Некоторые ученые считают, что родовое название растения происходит от греческого «*tanatos*» – смерть, так как высушенные цветки долгое время сохраняют свою окраску (Носов, 2001).

Первые исторические записи о выращивании пижмы обыкновенной относятся к древним грекам, которые использовали ее для лечения различных заболеваний.

Она выращивалась в саду Карла Великого в VIII веке и в садах швейцарских монахов-бенедиктинцев для лечения кишечных глистов, ревматизма, лихорадки и проблем с пищеварением. В средневековье пижма обыкновенная в больших дозах обычно использовалась для прерывания беременности, а в малых дозах помогала женщинам зачать ребенка и предотвратить выкидыш. Помимо медицины пижма обыкновенная применялась в качестве репеллента от насекомых (LeCain, Sheley, 2006).

К XV веку *T. vulgare* широко использовалась как лекарственное растение во Франции и Англии. К 1785 году была внесена в список натурализованных растений на северо-востоке США (Mitich, 1992), где она была распространена по обочинам дорог, заборов и живых изгородей (Sievers, 1930). В конце XVI века *T. vulgare* была завезена испанскими завоевателями в Южную Америку (MacBride, Dillon, 1981), в 1883 году – в Австралию и Новую Зеландию как декоративное и лекарственное растение (Webb et al., 1988).

В XIX веке в ирландском фольклоре упоминается, что купание в растворе пижмы и соли может вылечить боль в суставах (Allen, Hatfield, 2004).

Эхинацея пурпурная. Эхинацея пурпурная – лекарственное растение, пришедшее с Североамериканского континента около 300 лет назад (Ельчианинова и др., 2007). Известно, что индейцы племен сиу использовали эхинацею в качестве лекарственного средства еще в XVI веке до н.э. (Самородов, Поспелов, 1999).

Род *Echinacea* получил название от греческого слова «*echinos*», означающего «морской ёж», из-за наличия конусовидных колючих головок. На

самом деле эхинацея названа в честь маленького, колючего, всеядного млекопитающего, называемого «Ёж» (*Erinaceus sp.*). Первые упоминания об эхинацеи встречаются в работах немецкого исследователя Конрада Менхема в 1794 г. В 1819 г. американский исследователь К.С. РафинеSKU-Шмальц ввел этот род в систематику. Её популярность возросла с начала XIX века, когда она стала известна европейским поселенцам (Сикура И., Сикура А., 1998; Gupta et al., 2012; Tharun et al., 2017).

Впервые лечебный опыт применения эхинацеи индейцами Великих равнин обобщил американец Х.К. Майер в 1870 г. С конца XVIII столетия эхинацея уже была включена в фармакопею США, а в конце XIX и в начале XX вв. стала в этой стране самым востребованным и продаваемым лекарственным растением (Ельчининова и др., 2007). Однако с появлением первых химиопрепаратов интерес к целебным свойствам эхинацеи стал угасать, и в конце 1930-х годов она практически вышла из медицинской практики. В то же время попав с первыми колонизаторами в Европу, эхинацея стала настоящей сенсацией в научном мире. В частности, в Германии, продолжалось изучение фармакологических свойств растения и возможностей ее культивирования, благодаря этому был накоплен ценный опыт использования эхинацеи пурпурной в лечебных и профилактических целях, а также создана индустрия по производству лекарственных препаратов из этого растительного сырья (Heinzer et al., 1988; Foster, 1991; Shtulfaut, 1994). В 1915 году впервые было официально подтверждено иммуномодулирующее действие эхинацеи при лечении туберкулеза, оспы, вирусных заболеваний (Шашко Л., Шашко А., 2009). В начале 1980-х годов, после ряда научных работ, раскрывших химический состав эхинацеи и обнаруживших новые фармакологические свойства этого растения, интерес к препаратам эхинацеи в Америке и Восточной Европе возобновился и продолжает расти. На Украине после чернойбыльской трагедии стали изучать эхинацею пурпурную, когда была доказана её эффективность при лечении

иммунодефицитов, вызванных радиационным поражением организма (Ельчинова и др., 2007).

Популярность эхинацеи пурпурной связана с высоким содержанием биологически активных веществ и широким спектром действия её препаратов. В культуру растение было введено в 1692 г. В России эхинацея пурпурная была интродуцирована в начале XIX в качестве декоративного растения. Первые упоминания о ней встречаются в книге И. Г. Цигры «Многолетние растения. Северный цветник» (1825). Исследования по интродукции эхинацеи пурпурной были начаты в 1946 г. на Украинской зональной опытной станции Всесоюзного института лекарственных и ароматических растений. Исходным материалом послужили семянки урожая 1945 г., полученные из Германии. Большой вклад во внедрение эхинацеи в культуру внес доктор биологических наук, профессор Г.К. Смык (Баширова и др., 2000; Самородов, Пospelов, 1999; Фарниева, 2015).

В настоящее время эхинацея культивируется в большинстве стран Западной Европы, на Украине, Греции (Самородов, Пospelов, 1999; Шайдулина, 2000). С 1990 года возделывается в Краснодарском крае, с 2000 годов в Белгородской области (Сидельников, 2014).

1.4.2 Ботаническая характеристика и биологические особенности изучаемых многолетних лекарственных растений

Тысячелистник обыкновенный. Согласно современной систематике, *Achillea millefolium* L. относится к отделу Цветковые растения (*Magnoliophyta*), семейству Астровые или сложноцветные (*Asteraceae*), роду *Achillea* L.

Род *Achillea* насчитывает более 100 видов, однако до настоящего времени официальная медицина использует лишь *Achillea millefolium* L., который включен в отечественную фармакопею, а также фармакопеи более 10 стран мира: Швейцарии, Финляндии, Австрии, Нидерландов, США, Мексики и др. (Тржецинский и др., 2014).

Тысячелистник обыкновенный – многолетнее травянистое, сильно пахучее растение со шнуровидным ползучим желтоватым корневищем, от которого отходят многочисленные корни и подземные побеги, стебель 15-80 см высоты, прямостоячий или приподнимающийся, большей частью простой или немного разветвленный в верхней части, ребристый, серо-зеленый от покрывающего его вместе с листьями опушения (Рисунок 1). Листья очередные, в очертании продолговатые, многократно перисто-рассечённые, с 15-30 отставленными друг от друга первичными долями, которые в свою очередь тоже рассечены на несколько мелких, ланцетных или линейных долек, оканчивающихся шиповидным заострением, прикорневые листья на длинных черешках, стеблевые – сидячие; общий стерженок листа плоский, по краям с узкой цельнокрайней каймой. Краевые цветки в соцветии-корзинке однорядные, обычно в числе 5, язычковые, с округлым, неясно трехзубчатым отгибом, белые, розоватые; срединные – трубчатые, немногочетковые, с 5-зубчатым отгибом; корзинки мелкие, продолговато-яйцевидные, собраны на верхушке стебля в более или менее густые многоцветковые щитковидные соцветия. Плоды (2 мм) – сжатые с боков блестящие, продолговатые семянки без хохолка (Губанов, 1993; Крылов, 1969; Лекарственные растения..., 1976; Чиков, 1989; Akram, 2013).



Рисунок 1 – Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.)

Распространение. Тысячелистник распространен в Европе и Азии и произрастает на значительной территории – от Исландии и севера Скандинавии до Гималаев и Монголии. Занесен как сорняк в Северную Америку, Южную Австралию и Новую Зеландию. В горных местностях встречается на высоте 1800 м над уровнем моря. Культивируется в Англии, Австрии (Куцик, Зузук, 2002). Растёт в лесной и лесостепной зонах Центральной и Восточной Европы, в Средней и Центральной Азии. Тысячелистник встречается на всей территории России, кроме севера Сибири и Дальнего Востока, некоторых районов Нижнего Поволжья. Произрастает по разреженным лесам, кустарникам, вдоль дорог, по сорным местам, около жилья. На Среднем Урале тысячелистник обыкновенный активно распространяется как на суходольных, так и на пойменных лугах, под влиянием высоких антропогенных нагрузок, и является индикатором сильно сбитых пастбищ (Чусовитина, Карпухин, 2019).

Растение не требовательно к теплу и влаге, предпочитает открытые, солнечные места (Комплексное..., 2002). Малотребователен к почвам, но избегает солонцеватых и кислых почв (Чиков, 1989). Тысячелистник засухоустойчивое растение, однако, при длительных засухах тургор листьев падает: соцветия сворачиваются и не образуют полноценных семян. Устойчив к низким температурам. (Машанов, Покровский, 1991; Горбань и др., 2004).

Получают два вида лекарственного сырья – цветки тысячелистника (*Flores Millefolii*) и траву (*Herba Millefolii*). Траву собирают в фазе цветения (в июне - первой половине августа), срезая верхушки стеблей длиной до 15 см. При заготовке соцветий срезают отдельные цветочные корзинки или щитки со стеблем не длиннее 2 см.

Пижма обыкновенная. Согласно современной ботанической систематике, пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L. относится к отделу Цветковые растения (*Magnoliophyta*), семейству Астровые (*Compositae*), роду *Tanacetum* L. (Хусаинова, 2015).

Пижма обыкновенная включена в фармакопеи Российской Федерации [86, 153, 257], Бельгии, Португалии, Финляндии (Растительные..., 1993), Украины, Белоруссии (ГФ Республики Беларусь, 2007).

Пижма обыкновенная – многолетнее травянистое растение высотой 60-125 см (Рисунок 2). Корневище горизонтальное, короткое, деревянистое, ветвящееся. Стебли прямостоячие, высокие, ветвящиеся в верхней части. Листья очередные, продолговатые в очертании, рассеянно волосистые, перисто-рассеченные, сверху темно-зеленые, снизу серовато-зеленые. Цветки желтые, мелкие, трубчатые в корзинках, собранных в щитковидное соцветие. Цветоложе голое, плод – семянка без хохолка. Цветет в июне – августе (Губанов, 1993; Ладынина, Морозова, 1989; Лекарственные..., 1976; Лекарственные..., 1978; Носов, 2001). Растение имеет характерный (камфорный) запах. Цветет в июле – августе. Плоды созревают в августе – сентябре (Ладынина, Морозова, 1989).



Рисунок 2 – Пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.)

Распространение. Пижма встречается в природе в умеренных зонах Северного полушария. Её ареал охватывает Европу и Среднюю Азию, Дальний Восток и Сибирь. Пижма завезена в страны Восточной Азии, Северной Америки и Арктики (Derda et al., 2012).

В России пижма имеет широкий ареал распространения, исключение составляют самые северные её районы (Губанов, 1993). Растет на пустырях, вдоль дорог, в садах и огородах, среди зарослей кустарников, на лугах, опушках лесов и берёзовых колках, по берегам рек (Ладынина, Морозова, 1989; Носов, 2001). В Омской области распространена в лесной и лесостепной зонах (Жуков, Брюханова, 1983).

Пижма обыкновенная предпочитает хорошо освещенные места и умеренно увлажненные почвы. По отношению к водному режиму основную долю всех видов составляют экологические группы: мезофиты, ксерофиты и их переходные формы - ксеро-мезофиты и мезо-ксерофиты (Кочукова и др., 2014).

В качестве лекарственного сырья заготавливают цветки пижмы обыкновенной, собранные в начале цветения. Срезают отдельные цветочные корзинки или цветы с цветоносом не более 4 см (от верхних корзинок). (Государственная Фармакопея СССР, 1991; Киселева, Смирнова, 2009; Ладынина, Морозова, 1989; Растения для нас..., 1996; Технология..., 1991; Фармакогнозия, 1989).

Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) принадлежит к отделу Цветковые растения (*Magnoliophyta*), семейству астровых (*Asteraceae*). Многолетнее травянистое растение высотой 60–100 (100–120) см (Рисунок 3).

Корневище короткое, многоглавое, с многочисленными тонкими корнями. Боковые корни имеют слабовыраженные ответвления, винтообразно закрученные и обладающие на поверхности тонко очерченной поперечной структурой. Стебель прямой, твердый, разветвленный, слабоопушенный или голый. Прикорневые листья в виде розетки, яйцевидной формы (до яйцевидно-ланцетной), шероховатые, края чаще крупнозубчатые. Черешок листа достигает длины 25 см, длина листовой пластинки до 20 см, ширина до 15 см. Стеблевые листья сидячие, очередные, яйцевидно-ланцетные, остроконечные. Длина 7-12 см, ширина 1,5-8 см. Соцветия – крупные одиночные корзинки, на длинных неветвящихся

цветоносах. Краевые цветки в корзинке пурпуровые или малиновые, трубчатые цветки тёмно-красные.

Эхинацея пурпурная влаго- и теплолюбивое растение (Сидельников, 2015).



Рисунок 3 – Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.)

Распространение. Основной ареал обитания эхинацеи Северная Америка. В России её культивируют как лекарственное и садово-декоративное растение с начала XIX века в европейской части (Краснодарском крае, Самарской области и др.) и на Кавказе (Шайдуллина, 2000).

Несмотря на то, что естественный ареал *E. purpurea* довольно широк, в дикой природе это растение, предпочитающее затененные края саванн, полян и открытых лесов (McKeown, 1999).

Лекарственное сырье эхинацеи пурпурной – трава, которую собирают в начале цветения.

1.4.3 Химический состав и фармакологическое значение

Тысячелистник обыкновенный. В траве тысячелистника содержится до 0,8 % эфирного масла (Крылов, 1969), причем в цветках содержание выше – 0,2-0,5%, а в листьях и частях стебля – всего 0,02-0,07% (Hornok, 1974). Эфирное масло содержит сесквитерпены с высоким содержанием хамазулена, β -кариофеллена, гермакрена-D и монотерпены – β -пинен, сабинен, 1,8-циенеол (Aziz, EL-Sherbeny, 2004), α -пинен, камфора (Ragažinskienė et al., 2005), мирцен, лимонен, камфен (Rohloff et al., 2000) и борнеол (Salimi1 et al., 2017). Из листьев и соцветий кроме эфирного масла выделены 12 сесквитерпеновых лактонов (ацетилбалханолид, миллефин, ахиллицин, ахиллин и др.). Найдены также флавоноиды, стерины, тритерпеновые спирты, дубильные и вяжущие вещества, смолы, минеральные соли, органические кислоты, аспарагин, фитонциды, каротин, аскорбиновая кислота, а также вещества основного характера (бетоницин, сияхидрин, холин, бетаин) (Крылов, 1969).

Многостороннее фармакологическое действие тысячелистника обусловлено разнообразием содержащихся в нем биологически активных веществ. Сесквитерпеновые лактоны, являющиеся горечами, рефлекторно вызывают повышение аппетита, усиление секреции желудочного и других пищеварительных соков, что способствует улучшению пищеварения. При этом повышаются также отделение желчи и секреторная функция поджелудочной железы, нормализуется моторика желудка и кишечника, уменьшается метеоризм. Наличие в сырье флавоноидов, проявляющих спазмолитическое действие на гладкую мускулатуру желчных протоков, мочеточников и кишечника, обуславливает расширение желчных протоков, повышение диуреза, снятие болей, связанных со спазмами кишечника; флавоноиды оказывают также гипотензивное действие. Содержание хамазулена, обладающего ярко выраженными противовоспалительными и противоаллергическими свойствами, оказывает плодотворное действие при многих заболеваниях желудочно-кишечного тракта.

Противовоспалительные, ранозаживляющие и бактерицидные свойства тысячелистника обусловлены и содержанием в нем дубильных веществ. С наличием витамина К связано кровоостанавливающее действие растения. В основе кровоостанавливающего действия тысячелистника лежит его способность увеличивать количество тромбоцитов, в результате чего сокращается время остановки кровотечения (Завражнов, 1993). В литературе сообщается об антиоксидантной активности экстрактов и эфирных масел тысячелистника (Konyalioglu, Karamenderes, 2005; Turkoglu et al., 2010; Vitalini et al., 2011), а также эстрогенном (Innocentia et al., 2007), противоязвенном (Niazmand, Khoshnood, 2010; Potrich et al., 2010), противоопухолевом (Lopes et al., 2005), антисекреторном (угнетающее перистальтику кишечника) (Babaei et al., 2010), иммуномодулирующем (Sharififar et al., 2009), фибриногенном (Hemmati et al., 2011), противомикробном (Baser et al., 2008; Karaalp et al., 2009; Kharma, Hassawi, 2006; Magiatis et al., 2002; Sukhenko, 2010), противогрибковом (Kordali et al., 2000) и противовоспалительном (Lakshimi T. et al., 2011; Salvagnini et al., 2006) действиях.

Пижма обыкновенная. В состав растения входят флавоноиды – поверхностные флавоноиды (метилловые эфиры флавонов, 6-гидроксилитеолин), вакуолярные флавоноиды (апигенин, литеолин-7-глюкориниды), кофейная кислота, гликозиды (Croteau, Shaskus, 1985; Williams et al., 1999), стерины (β-ситостерин, стигмастерин, холестерин, кампестерин), тритерпены (α-амирин, β-амирин, тараксастерин) (Chandler et al., 1985). Пижма содержит эфирное масло до 0,3 %, основными составляющими которого являются камфора, α-туйон, β-туйон, борнеол, пинен, борилацетат и другие (Collin et al., 1993; Holpainen et al., 1987; Nano et al., 1979). Еще одной важной группой биологически активных соединений, обнаруженных в эфирном масле *T. vulgare*, являются сесквитерпеновые лактоны (Ognyanov, Todorova, 1983), которые включают партенолид и танацетин (Schinella et al., 1998), дугланин, людовицин А, людовицин В (Rosselli et al., 2012). Кроме этого, в состав растения также входят

метоксифлавоны (эупаторин, хризориол, диосметин) (Schinella et al., 1998), алкалоиды, дубильные вещества, органические кислоты, камедь, смолы, органические кислоты, каротиноиды, витамин С до 8 мг % и другие (Крылов, 1969; Ладынина, Морозова, 1989; Vilhelmova et al., 2020).

Пижма обыкновенная используется как желчегонное, спазмолитическое, противогельминтное, ветрогонное, тонизирующее, противоэмболическое, противодиабетическое, мочегонное и гипотензивное средство, оказывает стимулирующее действие на внутренние органы брюшной полости (Жуков, Брюханова, 1983). Известно, что её экстракт обладает противоопухолевым (Konopa et al., 1967), противовоспалительным (Williams, 1999), антиоксидантным (Bandoniene et al., 2000; Mantle et al., 2000) действием; проявляет микробную активность (Holetz et al., 2002) и противомаларийный эффект (Jansen, 2006).

Эхинацея пурпурная содержит большое количество различных химических соединений (216), которые отвечают за её биологическую активность. Основные классы фитохимических компонентов эхинацеи пурпурной включают следующие: гликозиды (эхинакозид, эхинацин), фенилпропаноиды (цикоревая (1,2-3,1 %) и кофейные кислоты и их производные), флаваноиды (лютеолин, кемпферол, кверцетин, апигенин и изорамнетин), терпеноиды (борнеол, гермакрин D, эпоксид кариофиллена и пальмитиновая кислота), азотистые соединения (алкамиды (0,12-1,2 %), алкалоиды), прочие полиацетилены: полисахариды (гетероксиланы, арабинорамногалактаны), сахара, фитостерины, соли металлов, такие как калий, кальций, магний, железо, алюминий, а также силикаты, хлориды, сульфаты, аскорбиновая кислота, дубильные вещества, смолы (около 2 %), органические кислоты (Шараевская и др., 2010; Barnes et al., 2005; Bauer, 1999; Binns et al., 2002; Gupta et al., 2012).

Корни эхинацеи пурпурной содержат 0,6-2,1% полипропеноидов, алкамидов, пиррозолидиновых алкалоидов, полисахаридов на основе фруктозы, масел (0,03-0,20%), таких как кариофиллен, гумулен, пальмитиновая и линевая кислоты и гермакрин D. Надземные части эхинацеи пурпурной содержат

полипропеноиды, такие как цикориевая кислота, алкамиды, флаваноиды (рутозид, кверцетин-7-глюкозид, кемпферол-3-рутинозид) и эфирные масла (Gupta et al., 2012).

Эхинацея пурпурная широко используется для изготовления фармацевтических препаратов во многих странах Европы, Австралии (Luo, 2003; Pullaiah, 2006). Её препараты являются одними из самых популярных в Северной Америке для лечения простуды и гриппа (Barrett, 2003).

Большинство коренных американцев использовали эхинацею в медицинских целях для лечения многих заболеваний, включая простуду, зубную боль, укус змей, головную боль и инфицированные раны (Kumar, Ramaiah, 2011). Также корни эхинацеи использовались для лечения заражения крови, кожных заболеваний, сифилиса и бешенства (Pullaiah, 2006). Кроме того, грипп и кандидозы лечили эхинацеей (Sharma et al., 2009). Клинические испытания подтвердили лечебные свойства эхинацеи. Так, исследования показывают, что эхинацея способна противостоять бактериальным инфекциям (Sharma et al., 2009). Её используют для лечения хронических инфекций верхних дыхательных путей и нижних мочевыводящих путей, которые имеют бактериальное и вирусное происхождение (Pullaiah, 2006). Имеются данные об иммуномодулирующей активности эхинацеи (Barrett, 2003; Bauer et al., 1999; Hobbs, 1994; Miller, Yu, 2004; Rininger et al., 2004; Sestakova, Turek, 2004; Turner et al., 2000) посредством трех механизмов: активации фагоцитоза, стимуляции фибробластов и усиления дыхательной активности, что приводит к увеличению подвижности лейкоцитов (Billah et al., 2019). Эхинацея содержит антиоксидантные соединения, которые стимулируют неспецифическую иммунную систему и выработку цитокинов. Благодаря этому она обладает противовирусной и антибактериальной активностью (Mishima et al., 2004). Полисахариды эхинацеи влияют на иммунную систему с медицинской точки зрения (Kumar, Ramaiah, 2011). Арабиногалактан – один из полисахаридов, полученных из культуры клеток эхинацеи, активирует цитотоксическую активность фагоцитов против раковых клеток и

микроорганизмов (Pullaiah, 2006). Также арабиногалактан вызывает высвобождение фактора некроза опухоли (TNF), который увеличивает уровень макрофагального интерлейкина-1 и интерферона бета-2. Гетероксиан – другой полисахарид эхинацеи, который вызывает фагоцитарную активность. Гликозиды алкиламида и цикорийевой кислоты также стимулируют фагоцитоз. Изобутиламид является одним из алкиламидов, придающих эхинацеи резкий запах и отчетливый вкус (Kumar, Ramaiah, 2011). Благодаря присутствию полисахаридов эхинацея обладает антибактериальной активностью и бактерицидным действием (Sharma et al., 2009). Эхинацея может убивать широкий спектр бактерий, включая *Staphylococcus aureus* (Pullaiah, 2006), *Streptococcus pyogenes* и *Haemophilus influenzae*. Кроме того, *Legionella pneumophila* очень чувствительна к эхинацеи (Sharma et al., 2009). Эхинацея обладает противогрибковой активностью благодаря присутствию алкиламидов (Vilmalanatham et al., 2005).

1.4.4 Применение

Тысячелистник обыкновенный. Препараты на основе тысячелистника находят широкое применение в медицине. Тысячелистник обыкновенный, в качестве активного вещества, входит в состав таких многокомпонентных препаратов, как ЖеКаТон, ЛИВ-52, Клиофит, Проктофитол (противогеморроидальный сбор), Ротокан, Желчегонные сборы № 2-3, Сбор слабительный № 1, Тонзилгон Н.

В медицине применяют траву тысячелистника при различных заболеваниях желудочно-кишечного тракта – гастритах (особенно с пониженной секрецией желудочного сока), язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, язвенных и спастических колитах, метеоризме, геморрое, для улучшения аппетита, нормализации секреции и моторики пищеварительного тракта, желчеотделения (Ладынина, Морозова, 1989). В стоматологии настоем используют

для полосканий при кровоточивости десен, при стоматите и гингивите (Рабинович, 1990).

Тысячелистник используют в качестве травяного чая для снятия воспалений желудочно-кишечного тракта (Bezic et al., 2003; Dokhani et al., 2005; Innocentia G. et al., 2007).

Тысячелистник имеет широкое применение не только в медицине. Он является ценным пищевым и косметическим растением. Кроме того, тысячелистник отличается и ценными кормовыми качествами. По своему значению он занимает третье место в луговодстве после бобовых и злаковых растений. Присутствие *A. millefolium* в рационе животных способствует возбуждению аппетита, увеличению надоев молока (Соколов и др., 1998; Тютюнников, Цугкиев, 1996).

Тысячелистник находит применение в ветеринарии. Его рекомендуют при лечении желудочно-кишечных заболеваний у телят (Верещагин и др., 1959). Для лечения диспепсии и гастроэнтеритов телят используют настой, отвар, спиртовую настойку или экстракт травы тысячелистника. Хороший эффект препараты оказывают при кровавых поносах, колиобактериозе и желудочно-кишечных расстройствах. Настой травы и жидкий экстракт применяют в качестве кровоостанавливающего средства при маточных, кишечных и геморроидальных кровотечениях. Настой (1:10) верхушек растений используют для лечения желудочно-кишечных болезней новорожденных телят (Журба, Дмитриев, 2008).

Все части тысячелистника обладают душистым запахом, поэтому его используют, как кулинарную пряность. Молодые побеги, листья и цветки этой травы добавляют, как приправу к салатам и винегретам, к мясным и рыбным блюдам, а отвары – к компотам и в тесто. Высушенные листья и цветы тысячелистника идут для ароматизации вермутов, ликеров, квасов, столовых вин и настоек, безалкогольных напитков, желе и муссов (Соколов и др., 1998). В кулинарии европейских стран и США тысячелистник тоже используют в качестве приправы к картофельным и овощным супам, гарнирам, мясным блюдам, сырам.

В нашей стране тысячелистник применяют в качестве специи к мясным и овощным блюдам (Комплексное..., 2002; Тищенко, 2010).

Тысячелистник содержит биологически активные вещества, применяемые в парфюмерии (Комплексное..., 2002). Хорошо посещается пчелами, так как выделяет нектар и образует много пыльцы (Верещагин и др., 1959).

Экономическое значение тысячелистника связано с производством эфирного масла, которое используется как для производства фармацевтических препаратов, так и для косметической промышленности (Ali et al., 2017).

Пижма обыкновенная находит широкое применение в народной и официальной медицине.

В народной медицине пижма обыкновенная используется довольно широко. Траву, листья и соцветия применяют в виде отваров, настоев при болезнях печени, почек. Отвар травы благодаря содержанию сесквитерпеновых лактонов, используется как цитопротекторное средство против язвы желудка (Tournier et al., 1999). Также его применяют при гастрите, ревматизме, дизентерии, геморрое, нервных расстройствах, эпилепсии и мигренях, при фурункулезе и простудных заболеваниях, при туберкулезе легких; как желчегонное средство при гепатохолециститах и холангитах; как антигельминтное, ветрогонное, спазмолитическое, тонизирующее, противодиабетическое, мочегонное, инсектицидное, антибактериальное средство (Ладынина, Морозова, 1989; Растительные ресурсы СССР, 1993; Stevovic et al., 2009). Сообщается также, что она используется для лечения различных инфекционных заболеваний (Holetz et al., 2002). Водный экстракт пижмы применяют как гипотензивное средство для лечения гипертензии (Lahlou et al., 2008). Проявляет активность в отношении вируса табачной мозаики. В тибетской медицине надземную часть используют как диуретическое средство (Ладынина, Морозова, 1989; Растительные ресурсы СССР..., 1993). В монгольской медицине используют отвар и настой, обладающие жаропонижающим и ранозаживляющим действием. В болгарской медицине пижму назначают при воспалении почек, мочевого пузыря,

мочекаменной болезни, для спринцевания при белях у женщин и мытья головы при перхоти (Жуков, Брюханова, 1983).

В официальной медицине применяются цветки пижмы обыкновенной. Лекарственное сырье пижмы входит в состав таких препаратов, как «Танацехол», «Беллацехол», «Сибектан», «Танацин», желчегонный сбор № 3, применяемых при различных заболеваниях печени и желчевыводящих путей (Куркин, 2004, 2009; Хусаинова, 2015).

В ветеринарии используют настой, отвар, как тонизирующее, антигельминтное средство, при диарее, гепатите, язве желудка, анемии, лихорадке; мазь применяют при ревматизме, ранах, ушибах, язвах; аэрозоль, как инсектицидное средство.

Пижма находит применение в пищевой промышленности для ароматизации напитков, продуктов питания, консервации мяса; используют, как заменитель имбиря, корицы и мускатного ореха (Растительные ресурсы СССР..., 1993).

Пижма является кормовым растением для овец, пятнистых оленей, маралов, сурков (в большом количестве ядовито для скота) (Растительные ресурсы СССР..., 1993).

В опытах с животными выявлено, что ее экстракт увеличивает количество и кислотность желудочного сока. При клиническом изучении установлено коронарорасширяющее свойство настойки пижмы при стенокардии, гипертонии и других болезнях. Опыты на животных показали благоприятное действие пижмы при экспериментальном раке молочной железы (Лекарственные..., 1991).

Кроме того, пижма используется в посевах для биологической борьбы с вредителями и ведения устойчивого сельского хозяйства. Её высаживают вместе с картофелем для отпугивания колорадского жука. Исследование Schearer W.R. (1984) показало, что пижма сократила популяцию колорадского жука на 60-100%. Масло *T. vulgare* при втирании в кожу отпугивает насекомых (Grieve, 1971).

Эхинацея пурпурная широко используется в медицине. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) препараты из эхинацеи занимают

в США и странах Европы первое место, оттеснив такие известнейшие травы как женьшень и мумиё тибетское. По прогнозам специалистов, это лекарственное растение является наиболее перспективным для возделывания, и его производство год от года будет значительно увеличиваться (Бурик и др., 1998; Шашко Л., Шашко А., 2009; Шевченко, 1999).

Препараты из эхинацеи эффективны в программах против СПИДа, способствуют заживлению ран, ожогов I-III степени и язв, обладают антивирусной активностью и усиливают лейкопоз, что важно при лечении некоторых заболеваний крови. Они оказывают стимулирующее действие на центральную нервную систему, усиливают сексуальную потенцию при физическом и психическом утомлении, повышают иммунные свойства организма, выводят из организма радионуклиды (Шараевская и др., 2010). Также им присущи противовирусные, противомикотические и антибактериальные свойства. Экстракты эхинацеи угнетают рост и размножение стрептококка, стафилококка, кишечной палочки, вирусов гриппа, герпеса, стоматитов. Они эффективны при воспалительных заболеваниях (ревматизм, полиартрит, простатит, гинекологические расстройства), болезнях верхних дыхательных путей, при различных раневых процессах (трофические язвы, остеомиелит), микробной экземе (Носов, 2001). В настоящее время экстракты из корней эхинацеи, травы, соцветий входят в состав более 240 препаратов («Иммунал», «Эхинацея-ГаленоФарм» и др.), в том числе и в патентованное средство для лечения СПИДа (Ельчининова и др., 2007; Шараевская и др., 2010). В 2020 г. появились исследования подтверждающие, что *Echinacea purpurea* может быть использована против COVID-19 (Anandan et al., 2020).

Многолетние интродукционные исследования по выращиванию *Echinacea purpurea* свидетельствуют о возможности получения сырья этого ценного лекарственного растения для нужд не только фармацевтики, но и ветеринарии (Баширова и др., 2000).

Данная культура относится к высокобелковым, по количеству незаменимых аминокислот ее сравнивают с горохом, клевером и викой. Один килограмм сухой массы *Echinacea purpurea* содержит 0,58–0,65 кормовых единиц, 72–74 г перевариваемого протеина (130–132 г перевариваемого протеина на одну кормовую единицу).

В животноводстве многих стран мира на основе эхинацеи изготавливают нетрадиционные кормовые добавки, обладающие иммуностимулирующей активностью. Результаты исследований Е. Lang (2004) позволяют рассматривать препараты эхинацеи как альтернативу антибиотикам при лечении новорожденных поросят. А. Н. Кшникаткина (2007) рекомендует расширить применение этого растения в свиноводстве. Эксперименты показали, что ежедневное получение животными 0,6 мл сока *Echinacea purpurea* в течение 30 дней снижало их смертность в 1,5 раза. При этом заболеваемость респираторными инфекциями в опытной группе составила 16,3 %, а в контрольной – 21,1 % (Тухфатова, 2011). Имеется также положительный опыт по введению эхинацеи в рацион хряков (Рыбалко, Колесник, 2006).

E. purpurea также привлекает большое внимание своей декоративной ценностью. Широко культивируется как декоративное растение и для производства цветов на срезку (Ault, 2007). Коммерческое выращивание *E. purpurea* в медицинских целях считается альтернативным методом удовлетворения растущего рыночного спроса (Mechanda et al., 2004).

1.5 Особенности минерального питания многолетних лекарственных растений и опыт применения удобрений под эти культуры

Для многих сельскохозяйственных культур вопросы влияния макро- и микроудобрений на величину и качество урожая не являются новыми, в отличие от лекарственных растений, таких как тысячелистник обыкновенный, пижма

обыкновенная и эхинацея пурпурная. Публикаций, посвящённых изучению этих вопросов, крайне мало не только в отечественной, но и зарубежной литературе.

А.А. Плотниковым (2009) изучено влияние сроков и способов закладки плантаций на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны. Проведено агроэкологическое обоснование технологии возделывания тысячелистника обыкновенного.

В предгорной зоне Крыма изучено влияние площади питания, видов и доз минеральных удобрений на урожайность и сбор эфирного масла сорта тысячелистника обыкновенного Эней (Уманец, 2016). Автором установлено, что как при орошении, так и в условиях богары оптимальной является схема посадки тысячелистника 60x20 см; оптимальная доза удобрений в виде подкормок – $N_{90}P_{90}$; максимальный сбор эфирного масла получен при схеме посадки 60x20 см с внесением $N_{90}P_{90}$. При взаимодействии схемы посадки 60x20 см с внесением $N_{90}P_{90}$ на орошении рентабельность составила 412 %, а на суходоле 577 %.

Г.П. Пушкиной и др. (2010) изучена эффективность применения регуляторов роста и микроудобрений на эфиромасличных культурах, в т.ч. тысячелистнике обыкновенном. Установлено, что при опрыскивании растений тысячелистника первого года вегетации регулятором роста Циркон и железосодержащим микроудобрением Феровит урожайность зеленой массы повышалась по сравнению с контролем на 19-29 %. Выход эфирного масла с единицы площади в варианте с Цирконом был выше на 36 %, с Феровитом – на 29 %.

В отечественной литературе нет работ, посвящённых изучению влияния удобрений на продуктивность и качество лекарственного сырья пижмы обыкновенной. Встречаются единичные исследования, связанные с изучением агротехнологических приёмов (сроков и способов закладки культурных плантаций) возделывания пижмы обыкновенной и их влияния на урожайность культуры (Бородий С.А., Бородий П.С., 2018). Также изучена эффективность

совместного выращивания пижмы обыкновенной с однолетними зерновыми, зернобобовыми и лекарственными культурами в условиях Центральных районов Нечерноземной зоны РФ (Семенихин, 2007).

Особенности минерального питания эхинацеи пурпурной в условиях Нечерноземной зоны РФ изучены Е.Ю. Бабаевой (1999). Автором установлено, что предпосевная обработка семян растворами $MnSO_4$ и $ZnSO_4$ улучшала развитие растений 1 и 2 гг. вегетации. Оптимальными вариантами, способствующими ускорению прохождения фаз онтогенеза, возрастанию биометрических показателей, высокому урожаю травы эхинацеи пурпурной 2 г. вегетации являются намачивание семян в 0,05% растворе $MnSO_4$ и 0,1% растворе $ZnSO_4$ на 12 ч. Повышение урожая относительно контроля составило в среднем за 2 года проведения опытов 70,8 и 69,1 %. Кроме этого, предпосевная обработка семян микроэлементами, независимо от концентраций, увеличивала содержание биологически активных веществ в сырье относительно контроля. Обработка семян и растений эхинацеи микроэлементами способствовала обогащению лекарственного сырья цинком и марганцем, что улучшало качественные характеристики лекарственного сырья. Превышений ПДК не было отмечено.

Е.Ю. Бабаевой и др. (2011) было изучено также влияние соединений селена на всхожесть семян, биометрические показатели вегетирующих растений и качество травы эхинацеи пурпурной. Наибольший положительный эффект от намачивания семян раствором селенита натрия был получен при использовании 0,02% раствора с экспозицией 12 ч.

Е.И. Симанович и Л.Ю. Гончаровой (2014) установлено положительное влияние внесения в почву микробиологического удобрения «Белогор», гуминового «Лигногумат» и минерального «Покон» на урожайность, биологическую активность и агрохимические показатели чернозема обыкновенного под эхинацеей пурпурной. Из всех изучаемых удобрений наиболее эффективное действие на произрастание эхинацеи пурпурной оказало микробиологическое удобрение «Белогор». Продуктивность эхинацеи пурпурной

увеличилась в 1,2 раза по сравнению с контролем, что позволяет говорить о перспективах использования данного концентрата микроорганизмов с целью повышения урожайности культуры (Симонович и др., 2012).

Проведены исследования по изучению влияния удобрения «АгроМастер» марки 13-40-13 на рост и развитие растений эхинацеи пурпурной в условиях Центрально-Черноземного региона (Яхтанигова, Кулишова, 2021). Было установлено, что наиболее оптимальной является двукратная обработка посевов в дозе по 2,0 кг/га.

Д.А. Костылевым (2014) было изучено влияния различных норм удобрений (в том числе повышенных) на рост растений, формирование урожайности и на накопление оксикоричных кислот в лекарственном сырье в условиях Уфимского района Республики Башкортостан. В ходе исследований автором была установлена оптимальная норма внесения удобрений (NPK)₂₀₀ кг д.в./га, которая позволила существенно увеличить урожайность сырья эхинацеи пурпурной до 28,77 т/га.

В течение шести лет на черноземе выщелоченном Пензенской области проводились исследования по изучению способов использования микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 и его влияния на биологическую активность почвы и продуктивность эхинацеи пурпурной сорта Полесская красавица (Гущина, 2018). Наибольшая урожайность зелёной массы – 7,67 т/га и воздушно-сухой – 1,89 т/га получена при внесении микробиологического удобрения в почву в сочетании с подкормкой. При выращивании эхинацеи пурпурной на семена микробиологическое удобрение Байкал ЭМ-1 необходимо вносить в почву в сочетании с подкормкой в фазу розетки листьев.

В Центральном Черноземном регионе РФ Н.И. Сидельниковым (2014) разработана технология возделывания эхинацеи пурпурной с использованием экзогенного регулирования процессов роста растений и повышения их устойчивости к стрессовым факторам путем применения регуляторов роста и микроудобрений. Установлено, что для усиления роста надземной части растений

эхинацеи пурпурной целесообразно применение универсального стимулятора фотосинтеза Феровит, который усиливая физиолого-биохимические процессы, обеспечивает повышение урожайности травы эхинацеи на 28-34 % и содержание действующих веществ на 5-6 %. Силиплант (кремнесодержащее удобрение) повышает урожайность корней эхинацеи пурпурной на 25-26 % и содержание гидроксикоричных кислот на 9-10 %.

Таким образом, анализ научной литературы показывает высокую эффективность применения регуляторов роста и удобрений на лекарственных культурах.

Заключение по литературному обзору

Проведенный обзор литературы свидетельствует о том, что изучаемые лекарственные растения (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) являются перспективными, содержат большое количество биологически ценных веществ, оказывающих многостороннее фармакологическое действие на организм человека, и находят широкое применение в медицине, ветеринарии, кормопроизводстве и других отраслях промышленности. Также в научной литературе отмечена эффективность применения регуляторов роста и удобрений при выращивании данных лекарственных растений.

В литературе имеется большое количество материалов по различным аспектам проблемы дефицита микроэлементов (в частности цинка и меди) в почве и растениях, а также о том, что в агрохимии данная проблема не утратила своей теоретической и практической значимости. Как во всем мире, так и в Российской Федерации, наблюдается дисбаланс микроэлементов в почвах и растениях, снижающий урожайность и качество сельскохозяйственных культур и оказывающий неблагоприятное влияние на экологическую и биогеохимическую обстановку (Азаренко, 2020; Ильин, 2012; Abdoli et al., 2016; Fageria, Stone, 2008). Обеспеченность растений микроэлементами является важным условием их нормального развития, формирования высокого урожая и качества продукции.

При этом, особое место в мире занимает проблема дефицита цинка и меди в почвах и растениях (Ермохин, 2014в). Эта проблема актуальна и для юга Западной Сибири, в том числе Омского Прииртышья. В связи с этим, вопросы оптимизации микроэлементного состава почв и питания лекарственных растений является теоретически и практически значимыми для условий Омского Прииртышья.

Оптимизация питания лекарственных растений микроэлементами имеет комплексный характер и предполагает выполнение исследований в рамках следующих задач:

1. Диагностика потребности лекарственных растений в микроэлементах в конкретных почвенно-климатических условиях, включающая в себя выявление потребности растений в микроэлементах по данным полевых опытов; коэффициентов интенсивности действия и последствий микроудобрений на урожай; установление оптимальных доз удобрений под лекарственные растения.

2. Оценка микроэлементного статуса лугово-черноземной почвы в условиях применения микроудобрений:

- агрохимическая и агроэкологическая оценка содержания валовых и подвижных форм микроэлементов в почве под лекарственными растениями;
- установление количественных взаимосвязей между дозами микроудобрений и содержанием микроэлементов в почве;
- определение параметров выноса, КИП, КИУ, ПЭУ;
- определение оптимальных уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в почве.

3. Оценка микроэлементного статуса лекарственных растений в условиях применения микроудобрений:

- изучение содержания, особенностей поступления и биологического накопления микроэлементов лекарственными растениями;
- установление взаимосвязей микроэлементов в системе «почва-растения»;

– разработка оптимальных уровней содержания макро- и микроэлементов в лекарственных растениях.

4. Оценка качества лекарственного сырья.

5. Предложение приёмов оптимизации питания лекарственных растений микроэлементами (цинком и медью): обоснование и разработка приёмов применения микроудобрений на лугово-черноземной почве с учетом агрохимических параметров, коэффициентов интенсивности действия микроудобрений, оптимальных уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в почвах и растениях; биоэнергетическая и экономическая оценка приёмов оптимизации питания лекарственных растений микроэлементами.

В соответствии с перечисленными задачами нами были проведены исследования по оценке действия и последствий микроэлементов в системе «почва – лекарственные растения».

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Урожайность и качество лекарственных культур в значительной степени зависят не только от отдельного агротехнического приема, а от целого комплекса факторов: конкретных почвенно-климатических, хозяйственных и других условий.

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО Омский ГАУ. В соответствии с поставленной целью и задачами в 2012-2018 гг. были проведены исследования в условиях южной лесостепи Западной Сибири, включающие три основные группы методов: полевые – закладка полевых опытов (опыт № 1-3), пробоотбор и пробоподготовка почвенных и растительных образцов; лабораторные – химический анализ почвенных и растительных проб; камеральные – обработка результатов исследований с применением специализированных компьютерных программ на основе методов математической статистики.

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.

В литературных источниках данных по влиянию микроудобрений на урожайность и качество лекарственного сырья изучаемых многолетних лекарственных растений на лугово-черноземных почвах в условиях южной

лесостепи Западной Сибири нет. Учитывая, что в нашей стране повсеместно широко распространен недостаток микроэлементов в почве (до 70-98% площадей пахотных почв), была обоснована целесообразность применения микроудобрений под лекарственные культуры, в первую очередь, наиболее остро востребованных – цинковых и медных (Волков, 2015; Аристархов, 2000б, 2011).

Медные и цинковые удобрения в опытах использовали в ацетатных формах для того, что выявить влияние исключительно ионов Zn^{2+} и Cu^{2+} . Новизна исследований состояла в сравнительном изучении эффективности медных и цинковых удобрений под лекарственные культуры и в обосновании возможности их использования для основного внесения.

Полевые опыты были заложены на типичной для южной лесостепи Западной Сибири почве – лугово-черноземной.

2.2 Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Полевые опыты с многолетними лекарственными культурами проводили на опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ, расположенном в увальном-прииртышском почвенном районе южной лесостепи Омской области. Почвенный покров опытного поля представлен лугово-черноземной почвой.

Омское Прииртышье, расположенное в центральной части Западно-Сибирской равнины и отражающее многообразие широтной зональности, является для южной лесостепи типичным по почвенно-климатическим условиям. На его территории находятся крупные геоморфологические структуры, представлены основные типы климата и почв. Это позволяет считать территорию Омского Прииртышья хорошей моделью для исследований в системе удобрение-почва-растение и экстраполировать результаты исследований на южную часть Западной Сибири (Гамзиков, 1981).

На юге Западной Сибири ведущими факторами почвообразования являются зональные процессы (рельеф, климат, растительность), но также существенную

роль играют и интразональные факторы: слабая расчлененность рельефа и незначительная дренированность территории, тяжелый гранулометрический состав, слоистость, многочленность, частое засоление и карбонатность почвообразующих пород, близкое расположение грунтовых вод. Сочетание зональных и интразональных процессов привело к формированию провинциальных особенностей почвенного покрова Западной Сибири, имеющего отличия от аналогичных зон Европейской части России (Рейнгард, 2009). Ведущим почвообразовательным процессом в Западной Сибири является черноземный. Среди всех типов почв в Омской области преобладают черноземы и лугово-черноземные почвы, занимающие 25,9 % площади (Мищенко, 1991). Согласно классификации и диагностики почв (Фридланд, 1977; Национальный..., 2011) к типу лугово-черноземных почв отнесены полугидроморфные аналоги черноземов, формирующиеся под травяными ценозами лесостепи и степи в условиях повышенного увлажнения за счет поверхностного стока или почвенно-грунтовых вод, залегающих на глубине 3-6 м, а также в результате их совместного действия. Как самостоятельный тип почвы они были описаны и исследованы российскими почвоведом Н. П. Беловым и Е. В. Лобовой под названием «луговые черноземы» (Мищенко, 1991; Почвоведение, 1988).

Лугово-черноземные почвы распространены пятнами среди черноземов на плоских слабодренированных водоразделах и надпойменных террасах степных рек. Морфологическое строение лугово-черноземных почв в общих чертах сходно со строением автоморфных черноземов. Отличительными признаками являются: нарастание влажности сверху вниз по профилю вплоть до уровня почвенно-грунтовых вод, железомарганцевые образования и пятна оглеения в нижней части профиля, повышенная гумусность верхней части гумусового горизонта.

По своим свойствам лугово-черноземные почвы также близки к черноземам. По содержанию и запасам гумуса они несколько превосходят черноземы, в составе их гумуса относительное содержание гуминовых кислот выше, чем в черноземах. Благодаря повышенной гумусности верхние горизонты

лугово-черноземных почв обладают повышенной емкостью катионного обмена. Практически все эти почвы имеют карбонатный горизонт и характеризуются тяжелым гранулометрическим составом. Водный режим лугово-черноземных почв, по классификации А. А. Роде, относится к типу выпотного, подтипу лугово-степного; по классификации В. А. Ковды – к типу промывного гидроморфного. (Почвоведение, 1988). Отличительной чертой омских почв является высокий процент фракции крупной пыли и мелкого песка, придающих этим почвам удовлетворительную водопроницаемость.

Опытное поле ОмГАУ расположено на равнине, представленной второй террасой реки Иртыш. Терраса сложена аллювиальными отложениями. Рельеф территории представляет собой слабоволнистую равнину, расположенную в зоне южной лесостепи (Мищенко, 1991).

Характеристика почвы опытного участка. Полевые опыты с тысячелистником обыкновенным и пижмой обыкновенной (опыты № 1-2) закладывали в 2012 году на лугово-черноземной маломощной малогумусовой тяжелосуглинистой почве опытного поля Омского ГАУ. Морфологическая характеристика почвы показана в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологическое строение лугово-черноземной маломощной малогумусовой тяжелосуглинистой почвы*

Горизонт	Глубина, см	Описание горизонта
A _{пах}	$\frac{0 - 22}{22}$	Пахотный, свежий, темно-серый, среднеуплотненный, глыбисто-пылевато-комковатый, тяжелосуглинистый, встречаются корни. Переход в горизонт B ₁ заметный
B ₁	$\frac{22 - 56}{34}$	Переходный, увлажненный, неоднородный, бурый с сероватыми оттенками гумуса, плотный, глыбисто-комковатый, тяжелосуглинистый. Переход в горизонт B ₂ постепенный
B ₂	$\frac{56 - 111}{55}$	Переходный, влажный, светло-бурый с потеками гумуса, неоднородный, плотный, комковатый, тяжелосуглинистый. Переход в горизонт B _{3к} постепенный по цвету, резкий по вскипанию
B _{3к}	$\frac{111 - 153}{42}$	Переходный, влажный, неоднородный, светло-бурый с редкими потеками гумуса, среднеуплотненный, комковатый, тяжелосуглинистый, карбонатный. Переход в горизонт C _{кг} заметный
C _{кг}	$\frac{153 - 193}{40}$	Материнская карбонатная оглеенная порода, влажный, неоднородный, светло-бурый с сизыми и ржавыми пятнами оглеения, плотный, бесструктурный, глинистый

Примечание: *разрез заложен сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения, 2011 г.

Вскипание от соляной кислоты наблюдалось со 111 см; оглеение отмечалось с глубины 153 см.

По характеру увлажнения почва опытного участка полугидроморфная, грунтовые воды залегают на глубине 2,6-3,0 м. Гранулометрический состав средне- и тяжелосуглинистый, профиль отличается слоистостью грунтов. Наблюдается высокий процент фракций крупной пыли и мелкого песка. Мощность однородного гумусового горизонта составляла 22-28 см. По содержанию гумуса – малогумусовая, в пахотном слое гумуса содержится 4,92 %. С глубиной наблюдалось резкое снижение гумуса до 1,7 % в горизонте В₁. Маломощность гумусового слоя определяется гидротермическими условиями, глубоким промерзанием, поздним оттаиванием и запасами «зимнего холода». Объемная масса почвы в верхнем слое 0-40 см составляет 1,20-1,25 г/см³, удельная масса – 2,56-2,64 г/см³. Емкость поглощения катионного обмена в пахотном слое (0-30 см) составляет 23,2-27,7 мг·экв/100 г. В составе почвенно-поглощающего комплекса преобладает кальций – 19,8-23,3 мг·экв /100 г, рН водной вытяжки в слое 0-30 см равно 6,5-6,8 (Приложение 1-2).

Агрохимические показатели почвы определяли общепринятыми методами (Агрохимические..., 1975). Содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое почвы до посадки лекарственных культур (тысячелистника обыкновенного и пижмы обыкновенной) представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика лугово-черноземной почвы опытного поля (полевые опыты № 1-2, 2012 г.)

Содержание элементов минерального питания в слое почвы 0-30 см, мг/кг	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Фактическое	9 / 7	60 / 216	138 / 419
Оптимальное*	32	69	84
Обеспеченность	Низкая	Средняя	Высокая

Примечание: макроэлементы: в числителе – содержание, определенное в 2 %-ной уксуснокислой вытяжке, в знаменателе – стандартными методами (N-NO₃ в водной вытяжке; P₂O₅ и K₂O по Ф. В. Чирикову); * – по Ю. И. Ермохину (1995).

В 2012 году отмечалось очень низкое содержание нитратного азота, более чем в 3 раза меньше оптимальной нормы, обеспеченность фосфором была немного ниже оптимальных значений, содержание обменного калия превышало оптимум в 1,6 раз.

Полевой опыт с эхинацеей пурпурной закладывали в 2016 году на лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почве опытного поля Омского ГАУ. Вскипает от HCl с глубины 47 см, признаки оглеения с глубины 116 см. Описание профиля почвенного разреза, заложенного на данном участке представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Морфологическое строение лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почвы*

Горизонт	Глубина, см	Описание
A _{пах}	$\frac{0 - 28}{28}$	Пахотный горизонт, свежий, темно-серый, однородный по окраске, глыбисто-пылевато-комковатый, суглинистый, единичные корни растений, граница перехода резкая по линии вспашки.
AB	$\frac{28 - 39}{11}$	Переходный, свежий, серый с редкими небольшими бурыми пятнами, пылевато-комковатый, суглинистый, переход в следующий горизонт постепенный.
B _{1к}	$\frac{39 - 47}{8}$	Переходный, бурый, с редкими затеками гумуса, пылевато-комковатый, суглинистый, переход ясный по линии вскипания от HCl.
B _{2к}	$\frac{47 - 98}{51}$	Переходный, светло-бурый, суглинистый, пылевато-комковатый, скопления карбонатов в форме белых пятен, переход постепенный.
B _{3к}	$\frac{98 - 116}{18}$	Переходный, влажный, бурый, однородный по окраске, пылевато-комковатый, суглинистый, карбонаты в форме пропитки, мелкие редкие охристые пятна на контакте с агрегатами более тяжелого гранулометрического состава.
C _{кг}	$\frac{116 - 140}{24}$	Горизонт почвообразующей породы, влажный, желто-бурый с небольшими сизоватыми пятнами, однородный по окраске, пылевато-комковатый, неоднородный по гранулометрическому составу, суглинистый с линзами глинистого состава, единичные корни древесных растений.

Примечание: *разрез заложен сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения, 2016 г.

Из данных таблицы 5 видно, что перед посадкой эхинацеи пурпурной содержание в лугово-черноземной почве нитратного азота было низким, подвижного фосфора – высоким, содержание обменного калия очень высоким.

Таблица 5 – Агрохимическая характеристика лугово-черноземной почвы опытного участка (полевой опыт № 3, 2016 г.)

Содержание элементов минерального питания в слое почвы 0-30 см, мг/кг	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Фактическое	12,5 / 10	109,8 / 394	247 / 749
Оптимальное*	32	69	84
Обеспеченность	Низкая	Высокая	Очень высокая

Примечание: макроэлементы: в числителе – содержание, определенное в 2 %-ной уксуснокислой вытяжке, в знаменателе – стандартными методами (N-NO₃ в водной вытяжке; P₂O₅ и K₂O по Ф. В. Чирикову); * – по Ю. И. Ермохину (1995).

Содержание подвижных форм цинка и меди в пахотном слое почвы (0-30 см) до посадки лекарственных растений (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинацея пурпурная) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание подвижных форм микроэлементов в лугово-черноземной почве опытного участка в слое 0-30 см (данные 2012, 2016 гг.)

Содержание микроэлементов, мг/кг	Zn	Cu
Фактическое*	0,65-1,1	0,08-0,10
ПДК**	23	3
Оценка содержания***	низкая	низкая

Примечание: * 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»;

*** Оценка Cu по шкале Пейве и Ринькиса, Zn – по Крупскому и Александровой.

Согласно данным В. М. Красницкого (2002), пороговые концентрации в почвах для культур с повышенным выносом Cu: меньше 0,2 мг/кг – низкая обеспеченность, 0,2-0,5 мг/кг – средняя, больше 0,5 мг/кг – высокая; Zn меньше 2,0 мг/кг – низкая обеспеченность, 2,0-5,0 мг/кг – средняя, больше 5,0 мг/кг –

высокая. Таким образом, до посадки лекарственных растений лугово-черноземная почва без дополнительного внесения микроэлементов содержала недостаточное количество подвижных форм цинка и меди (таблица 6). Превышений установленных нормативов ПДК не отмечено.

2.3 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований

Территория Омской области расположена на юге Западно-Сибирской низменности, по среднему течению реки Иртыш. Поверхность области представляет собой пологоволнистую равнину с небольшим уклоном с юга на север. Данный характер поверхности обуславливает формирование резко континентального климата, так как способствует проникновению северных холодных арктических масс воздуха и теплых сухих из Казахстана и Средней Азии (Агроклиматические ресурсы Омской области, 1971).

Общие черты температурного режима Омска характеризуются холодной продолжительной зимой, короткой сухой весной, теплым коротким летом, обычно малооблачной осенью и резкими колебаниями температуры по годам, месяцам и даже в течение суток (Иванов, 1971). Неблагоприятной чертой климата являются поздние весенние и ранние осенние заморозки, что обуславливает короткий безморозный период и сокращает период вегетации сельскохозяйственных культур.

Зима продолжительная, холодная (130...190 дней), с небольшим снежным покровом (от 15 см). Устойчивый снежный покров образуется к середине ноября. Максимальная высота снежного покрова составляет 20-30 см. Преобладающие ветра зимой – юго-западные, в летний период – северного и северо-западного направления.

Весна характеризуется небольшим количеством осадков, неустойчивой погодой (возвратом холодов, пыльными бурями, жарой). Лето короткое и теплое, большая вероятность засухи (Агроклиматические..., 1971).

Сумма положительных среднесуточных температур выше 10 °С составляет 1850-2050 °С. Продолжительность данного периода в среднем 120-130 дней. Переход среднесуточной температуры воздуха через +10 °С происходит весной в середине мая, осенью – в середине сентября. Температура самого теплого месяца – июня равна +19-19,5 °С, самого холодного – января минус 19-20 °С. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха составляет около 37 °С. В отдельные жаркие дни температура воздуха повышается до +41 °С, а в очень суровые зимы опускается до –48 °С.

Продолжительность вегетационного периода составляет 155-160 дней, но из-за поздних весенних и ранних осенних заморозков она сокращается и в среднем составляет 115-120 дней (таблица 7).

Таблица 7 – Общая характеристика климатических условий южной лесостепи Омской области (Агроклиматические ресурсы Омской области, 1971)

Показатель	Значения
Период вегетации, дней	165 – 170
Безморозный период, дней	115 – 120
Период с температурой выше 10 °С, дней	125 – 130
Сумма среднесуточных температур воздуха за период выше 10 °С, °С	1900 – 2000
Осадки за год, мм	300 – 400
Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см к началу вегетации, мм	120 – 150
Осадки за май-август, мм	200 – 220
Суммарное испарение за период вегетации, мм	250 – 280
Коэффициент увлажнения по Ю. И. Чиркову	0,98
Гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову	1,05
Коэффициент увлажнения по В. С. Мезенцеву	0,60

По степени влагообеспеченности зона южной лесостепи Западной Сибири относится к районам неустойчивого увлажнения. Среднегодовая сумма осадков

составляет 300-400 мм, а за вегетационный период 190-220 мм, причем 75-80 % годового количества выпадает летом. Максимум осадков приходится на июль, что сглаживает недостаток влаги для роста и развития сельскохозяйственных культур. Летние дожди обычно носят ливневый характер, что приводит к значительным потерям влаги в результате поверхностного стока. Запас продуктивной влаги (слой 0-100 см) к началу вегетации в среднем для зоны составляет 120-150 мм. Суммарное испарение за период вегетации – 250-280 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период колеблется в пределах 0,7-1,0, что близко к состоянию неустойчивого увлажнения (Агроклиматические..., 1971).

Несмотря на имеющиеся недостатки, в целом природно-климатические условия Омской области являются достаточно благоприятными для возделывания лекарственных растений. Ведь благодаря своему географическому расположению на юге Западно-Сибирской равнины, Омская область получает большое количество солнечного тепла и света. Средняя продолжительность солнечного сияния в Омске составляет примерно 2100...2200 часов в год (Агрометеорологический..., 2012-2018).

Характеристика агрометеорологических условий за период с 2012 по 2018 г. проведена по данным ГМС г. Омска.

Метеорологические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований складывались по-разному (Приложениях 3-6). В сравнении со среднемноголетней суммой осадков годы проведения исследований существенно различались по степени увлажнения и засушливости вегетационного периода.

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.

Засушливые условия вегетации растений отмечались в 2014, 2016–2017 гг., а 2012 г. был очень засушливый (ГТК=0,67), что привело к резкому снижению продуктивности растений, а также повлияло на растворимость удобрений. Для 2018 г. была характерна недостаточная влагообеспеченность в период вегетации

растений (ГТК=1,05). Среднесуточные температуры воздуха за вегетационный период незначительно превосходили среднемноголетние значения в 2012, 2016 и 2017 гг., тогда как недобор тепла отмечен в 2013, 2015 и 2018 гг. Погодные условия вегетационного периода 2016 г. характеризовались повышенными температурами и недобором осадков в мае, что способствовало проявлению острой ранневесенней засухи. В 2017 г. наблюдалась типичная для южной лесостепи Западной Сибири раннелетняя засуха.

Вегетационный период 2012 года характеризовался теплой погодой с недобором осадков (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2012). Июнь и июль характеризовались достаточно жаркой погодой с недобором осадков, что оказало неблагоприятное влияние на рост и развитие многолетних трав. Средняя температура за период вегетации была близка средним многолетним значениям (рисунки 4-5).

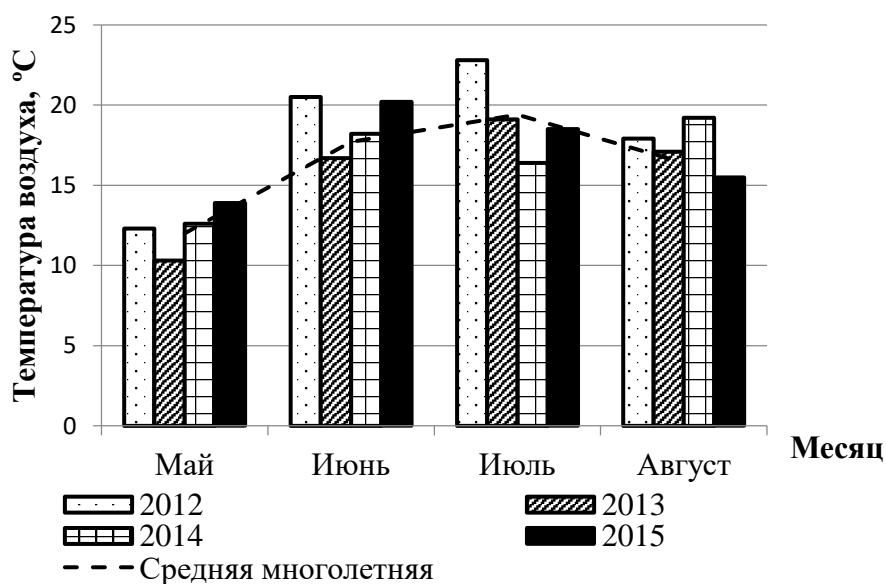


Рисунок 4 – Среднемесячная температура воздуха в течение вегетационного периода в 2012-2015 гг. в южной лесостепи Омской области (данные ГМС г. Омска)

Вегетационный период 2013 года характеризовался достаточно жаркой погодой с неравномерным выпадением осадков. Обильные осадки приходились на май, июль и август (Агрометеорологический бюллетень по Омской области,

2013). Июнь был очень засушливым, количество осадков было ниже нормы. Средняя температура воздуха за период вегетации была ниже на 2-8 °С, по сравнению с данными 2012 года, за исключением мая (рисунки 4-5).

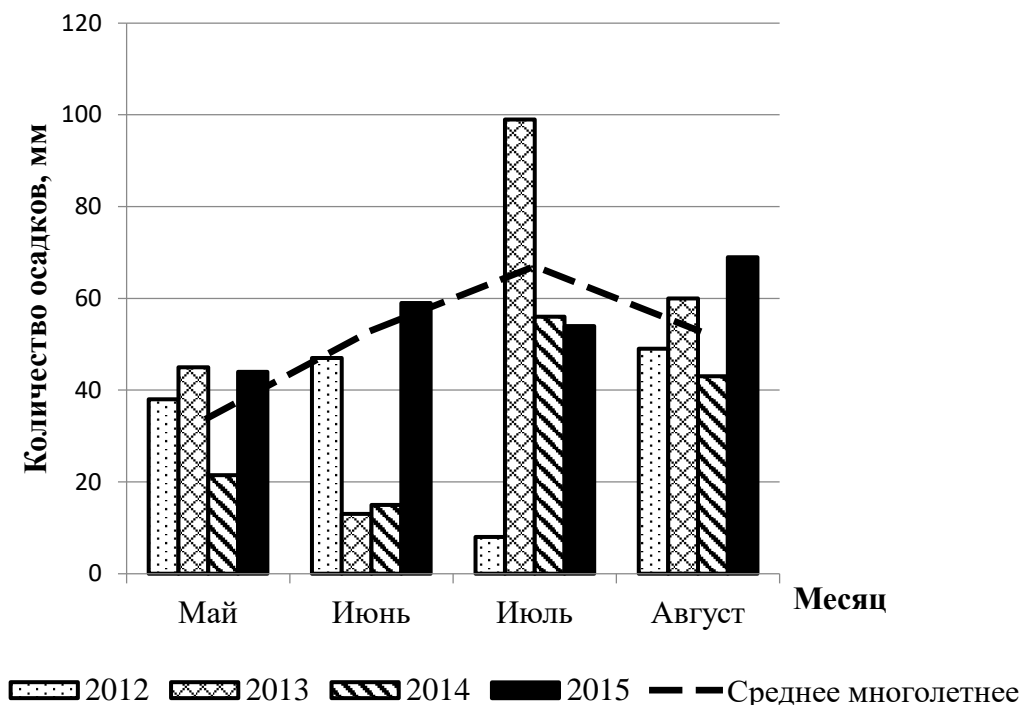


Рисунок 5 – Количество осадков в период вегетации в 2012-2015 гг. в южной лесостепи Омской области (данные ГМС г. Омска)

Вегетационный период 2014 года характеризовался теплой погодой с достаточно засушливыми маем, июнем и августом. В эти месяцы количество осадков было ниже нормы. Средняя температура воздуха во все месяцы вегетационного периода были ниже среднемноголетних значений, за исключением августа, когда температура была выше нормы на 2,8 °С (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2014).

Вегетационный период 2015 года характеризовался теплой погодой с большим количеством осадков в мае, июне и августе (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2015).

Погодные условия *вегетационного периода 2016 г.* характеризовались повышенными температурами и отсутствием осадков до посадки эхинацеи

пурпурной, что привело к острой ранневесенней засухе (Приложения 5-6, рисунки 6-7). Первая декада *июня* характеризовалась умеренно теплой с недобором осадков погодой (Агрометеорологический бюллетень по Омской области, 2016). В связи с этим в фазу отрастания культуры отмечали общую угнетенность растений и снижение ростовых процессов. Во второй и третьей декадах июня осадки имели ливневый характер и характеризовались неравномерным распределением по территории и количеству. Остальные месяцы были благоприятными для роста и развития растений.

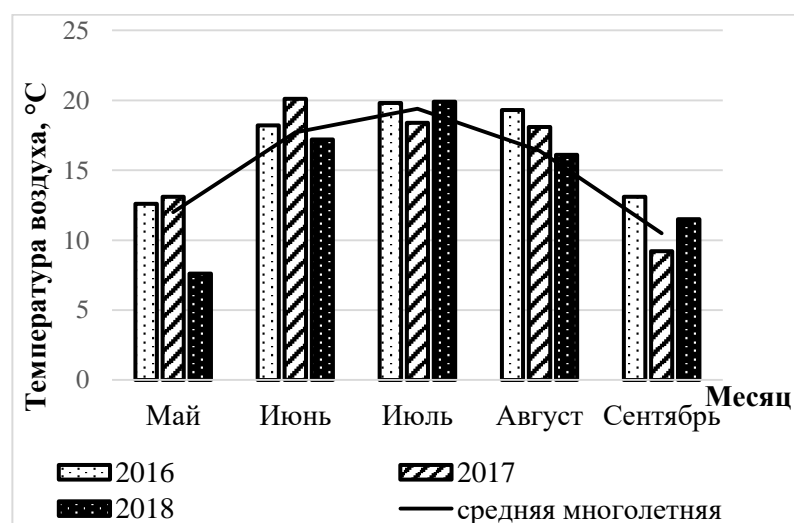


Рисунок 6 – Среднемесячная температура воздуха в течение вегетационного периода 2016-2018 гг. в южной лесостепи Омской области (данные ГМС г. Омска)

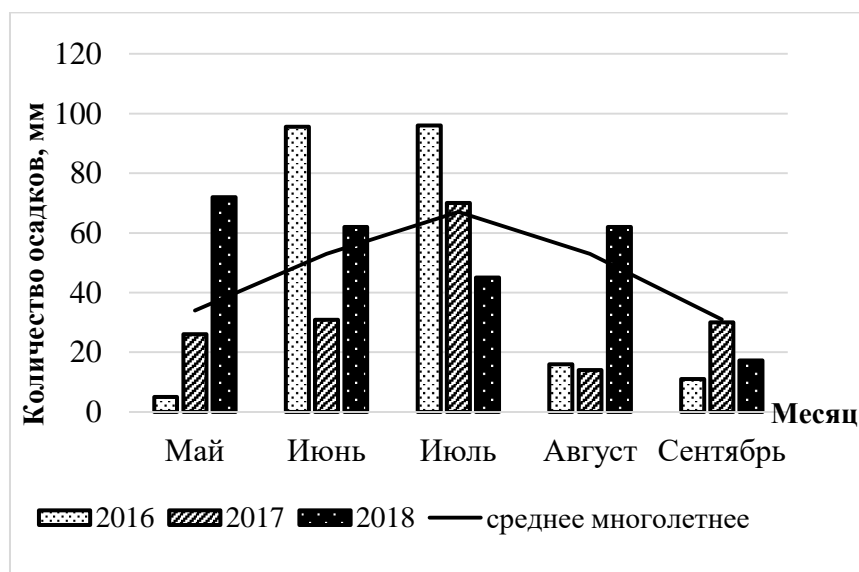


Рисунок 7 – Количество осадков в период вегетации 2016-2018 гг. в южной лесостепи Омской области (данные ГМС г. Омска)

Вегетационный период 2017 года характеризовался типичной для условий южной лесостепи Западной Сибири раннелетней засухой и неравномерным распределением осадком по месяцам (Агromетeоролoгический бюллетень по Омской области, 2017). Погодные условия *мая* были не совсем благоприятными для роста и развития растений в связи с недостатком влаги для отрастания эхинацеи пурпурной. *Июнь* характеризовался довольно теплой сухой погодой. Начиная со второй декады *июня* и на протяжении 3 недель, растения испытывали большой стресс от атмосферной и почвенной засухи. Климатические условия *июля, августа и сентября* были благоприятными по тепло- и влагообеспеченности для роста и развития эхинацеи.

Гидротермические условия *вегетационного периода 2018 года* можно охарактеризовать как прохладные с обильными осадками (Агromетeоролoгический бюллетень по Омской области, 2018).

Таким образом, погодные условия в годы исследований были различны как по тепло-, так и по влагообеспеченности (Приложения 3-6), но в целом они отражали типичные черты климата региона – недостаток влаги, высокие летние температуры воздуха и резкие их колебания.

2.4 Методика проведения полевых опытов

В основу проводимых исследований была положена интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД», разработанная Ю. И. Ермохиным (1995, 2005). Система включает три основных блока:

1) Почвенная диагностика – установление обеспеченности растений элементами минерального питания до посадки на основе химического анализа почвы и расчет доз удобрений для предпосевного внесения.

2) Растительная диагностика – контроль питания растений в период их активного роста и развития с помощью листовой диагностики, установление

возможных нарушений в обеспечении культур элементами питания и проведения необходимых подкормок.

3) Научное прогнозирование величины урожая и его качества по установленным формулам и связям на ранних стадиях развития растений. (Ермохин, 1995, 2005).

Для обоснования физиолого-агрохимических основ применения микроудобрений в условиях Западной Сибири были проведены исследования по изучению действия и последствий цинка и меди в системе «почва – лекарственные растения». На рисунке 8 представлена общая схема исследований, используемая в наших экспериментах.



Рисунок 8 – Схема проводимых исследований

Для решения поставленных задач по диагностики и оптимизации минерального питания, эффективности микроудобрений многолетних лекарственных растений были заложены полевые опыты (опыты № 1-3).

Полевые опыты с лекарственными культурами проводили на опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ, расположенном в увально-прииртышском почвенном районе южной лесостепи Омской области (рисунок 9).



Рисунок 9 – Места расположения полевых опытов №1-3

Опыты с тысячелистником обыкновенным и пижмой обыкновенной были заложены в мае 2012 г., с эхинацеей пурпурной – в мае 2016 г. Предшественником лекарственных культур в годы исследований был чистый пар.

Микрополевые опыты закладывали по схемам, представленным в таблицах 8-9 и Приложениях 7-8.

Таблица 8 – 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
1	2	3	4
Без удобрений	Абсолютный контроль	—	—
Аммиачная селитра, простой суперфосфат, хлористый калий	Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)	N – 135 P – 45 K – 45	—

Продолжение таблицы 8

1	2		3	4
Ацетат цинка	Фон +	Zn ₂₀	20	0,25
		Zn ₄₀	40	0,5
		Zn ₆₀	60	0,75
		Zn ₈₀	80	1,0
Ацетат меди		Cu _{2,4}	2,4	0,25
		Cu _{4,9}	4,9	0,5
		Cu _{7,2}	7,2	0,75
		Cu _{9,7}	9,7	1,0

Таблица 9 – 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 ₁₂₅)		125	—
Ацетат цинка	Фон +	Zn _{10,7}	10,7	0,25
		Zn _{21,4}	21,4	0,5
		Zn _{32,4}	32,4	0,75
		Zn _{42,8}	42,8	1,0
Ацетат меди		Cu _{2,3}	2,3	0,25
		Cu _{4,7}	4,7	0,5
		Cu _{7,0}	7,0	0,75
		Cu _{9,4}	9,4	1,0

В полевых опытах медь и цинк вносили по фонам (N₁₃₅P₄₅K₄₅ и N₁₂₅), так как положительное действие микроэлементов проявляется только при оптимальном питании макроэлементами.

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

$$Дп = \frac{До \cdot Xo}{Xп} \quad (1)$$

где $Дп$ – предполагаемая доза удобрений, кг д.в./га;

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

X_n – фактическое содержание соответствующего элемента в почве, мг/кг.

Микроудобрения вносили в долях ПДК меди и цинка: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 (таблицы 8-9). Дозы внесения микроэлементов в полевых опытах рассчитывали с учетом установленных ПДК ($\text{ПДК}_{\text{Cu}} = 3$ мг/кг, $\text{ПДК}_{\text{Zn}} = 23$ мг/кг) (СанПиН 1.2.3685-21) и фактического содержания элементов в почве до посадки. Для расчёта использовали формулу (2):

$$D = (\text{ПДК} - \text{Эф}) \cdot d \cdot h \quad (2)$$

где ПДК – предельно-допустимая концентрация подвижных форм микроэлементов в почве, мг/кг;

Эф – фактическое содержание микроэлемента в почве, мг/кг;

d – объемная масса почвы, г/см³;

h – слой пахотного горизонта, см.

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 м². 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 (P₂O₅ – 19,0 %), калий хлористый (K₂O –

60,0 %), ацетат цинка $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn} - 29,7 \%)$ и ацетат меди $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu} - 32 \%)$.

Для изучения роли микроудобрений (цинка и меди) на рост, развитие, продуктивность и показатели качества лекарственных растений использовали уксуснокислые формы меди $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu})$ и цинка $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn})$. Массовая доля меди в составе молекулы – 32 %, цинка – 29,7 % (в пересчете на химически чистое вещество). Выбор ацетатных форм микроэлементов в качестве удобрений связан с тем, что в исследовании стояла задача выявить влияние исключительно ионов цинка и меди.

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 общепринятые 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).

Агротехнические приемы в опыте. Агротехника в опыте общепринятая для данной зоны. Основная обработка почвы проводилась осенью и включала в себя зяблевую вспашку на глубину 20-22 см (ПН-4-35). Предпосевная обработка почвы заключалась в ранневесеннем бороновании зубowymi боронами и предпосевной культивации (КПС-4). В полевых опытах (опыты № 1-2) микроудобрения вносили локально через 3 недели после посадки лекарственных культур. Удобрения в виде сухих солей вносили вручную на глубину 15 см, на расстоянии 5-7 см от ряда. Заделку удобрений осуществляли ручным культиватором. В опыте с эхинацеей

пурпурной (опыт № 3) удобрения вносили вручную разбросным способом с заделкой на глубину 12-16 см до посадки культуры, равномерно распределяя их по всей площади делянки.

Закладка полевых опытов проводилась рассадой, выращенной из семян. По сортовым и посевным качествам семена лекарственных растений соответствовали ГОСТ Р 51096-97 (ныне ГОСТ 34221-2017). Выращивание рассады, посадка растений и уход за ними осуществляли в соответствии с рекомендациями (Методы..., 2007; Технология..., 2009).

Посадку тысячелистника обыкновенного и пижмы обыкновенной проводили во второй половине мая 2012 г., эхинацеи пурпурной – в мае 2016 г. Рассада тысячелистника обыкновенного и пижмы обыкновенной высаживалась вручную по вариантам опыта в нарезанные борозды. Тысячелистник обыкновенный высаживали по 100 растений на делянку, схема посадки: 70 см х 15 см, в целях создания оптимальной густоты 100 тыс. растений/га. Площадь питания одного растения при этом составила 0,1 м². Пижму обыкновенную высаживали по 60 растений на делянку, схема посадки: 70 см х 25 см. Площадь питания одного растения при этом составила 0,2 м². Эхинацею пурпурную высаживали по 24 растения на делянку, схема посадки: 70 см х 60 см. Площадь питания одного растения при этом составила 0,4 м².

Ежегодно весной проводили обработку междурядий, с целью уничтожения всходов сорняков и рыхления почвы. В рядках в борьбе с сорняками применяли ручные прополки.

В полевых опытах с лекарственными растениями проводили следующие анализы и наблюдения: все учеты и наблюдения за ростом и развитием растений были приуроченные к основным фазам развития лекарственных культур:

1. Определение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы с интервалом 10 см проводили в период весеннего отрастания и после уборки.

2. Определение содержания кислоторастворимых и подвижных форм элементов питания в почве под растениями. Отбор почвенных образцов

проводили для определения нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия и микроэлементов (Zn, Cu) в период весеннего отрастания и в фазу начала цветения. В годы действия (внесения) удобрений – в 2012 г. (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная) и в 2016 г. (эхинацея пурпурная), отбор осуществляли через 3 недели после внесения удобрений. Образцы почвы отбирали ежегодно методом конверта с помощью тростевого бура на глубину 0-30 см по вариантам и повторениям опыта.

3. Определение содержания подвижных форм цинка и меди в слое почвы 0-30 см без наложения воздействия растений. Площадь парующих делянок 1 м².

4. Фенологические наблюдения за развитием растений проводились в фазы отрастания, бутонизации и цветения. Даты наступления отмечались тогда, когда не менее 70 % всех растений четырёх повторений вступали в данную фазу.

5. Определение химического состава растений (валовых макроэлементов, минеральных форм макроэлементов, микроэлементов) в основные фазы развития [весеннее отрастание, бутонизация, цветение] (рисунки 10-12). Средние пробы составляли из 20 растений. Также проводили определение накопления сухого вещества растениями в динамике по фазам развития согласно ГОСТ 31640-2012.

6. Уборку и учёт урожая лекарственных растений производили вручную с каждой учётной площади делянки методом сплошной уборки в фазу массового цветения. При пересчете урожайности на абсолютно сухую массу влажность определяли весовым методом. Соцветия эхинацеи пурпурной убирали, начиная со второго года вегетации. Корневища эхинацеи выкапывали на третий год исследований.

7. Фитохимический анализ лекарственного сырья с целью определения показателей качества.



Рисунок 10 – Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) в период вегетации: 1 – фаза отрастания; 2 – фаза бутонизации; 3 – фаза цветения

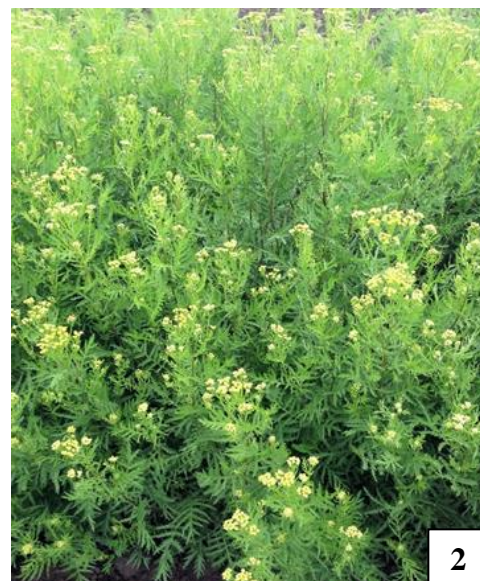


Рисунок 11 – Пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) в период вегетации: 1 – фаза отрастания; 2 – фаза бутонизации; 3 – фаза цветения

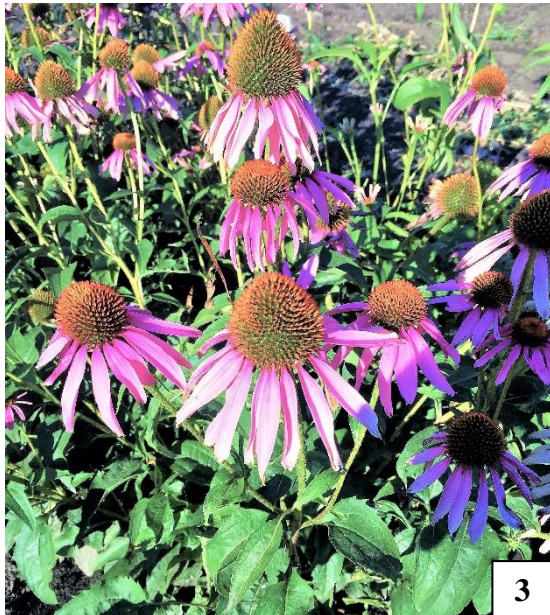


Рисунок 12 – Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.) в период вегетации: 1 – фаза отрастания; 2 – фаза бутонизации; 3 – фаза цветения

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..., 2008; Самофалова, 2013).

Отбор и пробоподготовка почвенных и растительных образцов осуществлялись по общепринятым методикам. Почвенные образцы размалывали на машине ИПП-1,2, просеивали через сито в 1 мм и определяли гумус 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_3COOH вытяжке (соотношение почвы и раствора 1:5) определяли нитратный азот – по Грандваль-Ляжу с дисульфифеноловой кислотой, подвижный фосфор – по Дениже в модификации Малюгина и Хреновой, калий – методом пламенной фотометрии.

В свежих растительных образцах в основные фазы определяли – нитратный азот (Nn), неорганический фосфор (Pn) и свободный калий (Kc) с помощью 2%-ной уксуснокислой вытяжки в соотношении 1:20 по методике К. П. Магницкого (Магницкий, 1972) в модификации Ю. И. Ермохина (Ермохин, 1975).

Валовые N, P, K определяли методом мокрого озоления по К. Е. Гинзбург и Г. М. Щегловой; N – методом индофенольной зелени; P_2O_5 – по Денеже в модификации А. Малюгина и Е. Хреновой; K_2O – на пламенном фотометре (Петербургский, 1963; Практикум..., 1995; Практикум..., 1987).

Кислоторастворимых формы микроэлементов определяли атомно-адсорбционным методом после экстрагирования 5 М HNO_3 по РД 52.18.191-2018 «Массовая доля кислоторастворимых форм металлов в пробах почв, грунтов и

донных отложений».

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 ($525 \pm 25^\circ\text{C}$) 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 «Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» [87] в ФГБУ «Омский референтный центр Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору».

Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ в растениях (ГОСТ 24027.2-80) и в почве (ГОСТ 28268-89).

Фитохимический анализ проводили в образцах сырья, собранных в фазу массового цветения. Для лекарственных растений были проведены испытания согласно методикам ГФ РФ, XIV издание [86-88] и определены следующие показатели: влажность (ОФС.1.5.3.0007.15 «Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов»), общая зола (ОФС.1.2.2.2.0013.15 «Зола общая»). Кроме этого, в тысячелистнике обыкновенном (трава) определяли эфирное масло (ОФС.1.5.3.0010.15 «Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах»), экстрактивные вещества (ОФС.1.5.3.0006.15 «Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах»), сумму флавоноидов в пересчете на лютеолин (ФС.2.5.0101.18 «Тысячелистник обыкновенный трава»); в пижме обыкновенной (цветки) – сумму флавоноидов и

фенилкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин (ФС.2.5.0031.15 «Пижда обыкновенная цветки»); в эхинацеи пурпурной (травы) – сумму фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту (ФС.2.5.0055.15 «Эхинацея пурпурная трава»). Дополнительно в лекарственном растительном сырье нами были определены такие биологически активные вещества, как аскорбиновая кислота (по Мурри), каротин (ГОСТ 13496.17-2019 «Корма. Методы определения каротина»), дубильные вещества в пересчете на танин (ОФС.1.5.3.0008.15 «Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах»).

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 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 ($K_{кп}$, $K_{кр}$, уравнения 3-5) и коэффициенты накопления (K_n , уравнение 6) (Ильин, 1986; СанПиН 1.2.3685-21):

$$K_{кп} = Ci / ПДК \quad (3)$$

где Ci – фактическое содержание химического элемента в почве;

$ПДК$ – предельно-допустимое содержание химического элемента в почве.

$$K_{кр} = Ci / МДУ \quad (4)$$

где Ci – фактическое содержание химического элемента в растениях;

$МДУ$ – максимально-допустимый уровень химического элемента в растениях.

$$K_{кп}, K_{кp} = C_i / C_{ф} \quad (5)$$

где $C_{ф}$ – фоновое содержание элемента в почве или растениях.

$$K_n = C_p / C_n \quad (6)$$

где C_p – содержание элемента в растении, мг/кг;

C_n – содержание подвижной формы элемента в почве, мг/кг.

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

Результаты полевых и лабораторных исследований были подвергнуты математической обработке методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализов (Доспехов, 1985).

Статистическая обработка экспериментальных данных включала расчёт средних арифметических значений (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

Изучение применения микроудобрений в Западной Сибири впервые было начато в 1933-1960 гг. А. З. Ламбиным [194-195], затем продолжено Э. Д. Орловой [228-236], Ю. И. Ермохиным [116]. Основным направлением их исследований являлось изучение роли отдельных микроэлементов в повышении урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Закономерности поведения микроэлементов в почвах Западной Сибири, применение различных микроудобрений изучались Г. П. Гамзиковым [74], А. И. Сысо [319-322], Н. Н. Сказаловой [305], В. А. Агеевым [2], В. М. Красницким [179, 181], Ю. А. Азаренко [13] и др. Также большой вклад в формирование представлений о содержании и статусе микроэлементов в почвах, растениях и водах Западной Сибири внесли исследования В. Б. Ильина [149, 151-153]. Сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Омского ГАУ было проведено большое количество полевых, вегетационных, лабораторных опытов с микроудобрениями в условиях Омской области. В результате которых были установлены оптимальные уровни содержания подвижных форм микроэлементов в почвах, растениях, а также их оптимальные дозы [12, 16, 21, 22, 49-51, 55, 105, 108, 115, 118-120, 123-125, 299-300, 309, 312, 314].

Для установления потребности сельскохозяйственных растений в удобрениях широко используется метод полевого опыта (Ермохин, Кочергин, 1983), который дает количественную оценку эффективности действия удобрения и поэтому его рассматривают как конечное звено в системе агрохимических исследований (Методика..., 1967). Ещё основоположниками отечественной агрохимии Д. Н. Прянишниковым (1963), А. Н. Лебедевцевым (1960), А. В. Соколовым (1970) была установлена возможность использования результатов

полевых опытов для определения доз удобрений под сельскохозяйственные культуры.

По мнению Ю. И. Ермохина (1995), полевой опыт с удобрениями, позволяет установить количественные взаимосвязи между дозами применяемых удобрений, величиной и качеством урожая, содержанием элементов питания в почве и на основе этого появляется возможность научного прогнозирования действия удобрений.

Как правило, рост и развитие растений происходит при меняющихся внешних факторах (влажность, температура, освещенность, параметры почвы). К сожалению, точно прогнозировать изменение всех этих факторов внешней среды во времени при существующем уровне развития науки невозможно (Савич и др., 2007, 2019; Сычев и др., 2004, 2017; Шишов и др., 1987). В то же время их изменение определяет потребность растений в элементах питания, их химический и биохимический состав, показатели качества, особенности протекающих процессов метаболизма. Для получения оптимальной урожайности сельскохозяйственных культур необходима постоянная корректировка питательного режима почв и процессов метаболизма растений. Такая корректировка может быть осуществлена с использованием экспрессных методов «ИСПРОД» – интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики питания растений.

Исследования по эффективности применения цинковых и медных удобрений при возделывании лекарственных культур на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири ранее не проводились. В связи с этим, на сегодняшний день отсутствуют данные о наличии взаимосвязей в системе «почва – растение – величина урожая лекарственных растений» при применении микроудобрений на основе ответной реакции растительного организма на изменение химического состава и ионного соотношения элементов питания почвы и растений. Установленные в ходе исследований коэффициенты интенсивности действия «*b*», введенных микроудобрений в почву и растения,

позволят диагностировать и оптимизировать минеральное питание лекарственных культур, прогнозировать дозы микроэлементов, определять закономерности между содержанием элементов питания в почве, растениях, величиной и качеством урожая.

На основании ранее проведенных исследований 2007-2010 гг. нами были разработаны оптимальные уровни и соотношения подвижных макроэлементов в почве и растениях по фазам роста и развития для получения конкретных урожаев лекарственных культур. Было показано, что все физиолого-биохимические процессы организуются и осуществляются конкретно для каждого растительного организма при наличии определённого содержания и уравновешенного соотношения макроэлементов (Тищенко, 2010; Тищенко, Омутных, 2012). Кроме этого установлено, что действие макроэлементов на урожайность лекарственных растений зависит от дозы вносимого элемента, которая является функцией химического состава почвы ($D = f \cdot X_p$), биологических потребностей и возраста культуры, гидротермических условий периода вегетации (Ермохин, 2014г). В связи с этим, все исследования с микроэлементами в системе «почва – растение» нами проводились на ранее разработанных фонах для этих лекарственных культур.

Таким образом, ранее проведенные исследования и использование экспрессных методов «ИСПРОД» позволила нам разработать систему диагностики потребности лекарственных культур в микроудобрениях для условий Западной Сибири.

3.1 Микроудобрения и урожайность тысячелистника обыкновенного

Для большого количества сельскохозяйственных культур вопросы влияния минеральных удобрений на величину урожая не являются новыми, в отличие от эфиромасличных культур, и, в частности тысячелистника обыкновенного.

Публикаций по влиянию макро- и микроудобрений на урожайность этой культуры крайне мало не только в отечественной, но и иностранной литературе.

Так, согласно исследованиям Г. П. Пушкиной и др. (2010), применение микроудобрения Феровит (раствор хелатного железа и азота) обеспечивает повышение урожайности зеленой массы тысячелистника обыкновенного в Краснодарском крае и Московской области на 19...29 %.

В исследованиях А. А. Плотникова (2009) изучались технологии возделывания (сроки и способы закладки плантаций) тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны.

М. С. Scheffer и др. (1993) установили, что внесение органических удобрений увеличивает биомассу и выход эфирного масла тысячелистника обыкновенного. Е. Е. Aziz и др. (2019) выявили, значительное влияние времени сбора урожая на урожайность соцветий и состав эфирного масла тысячелистника.

В исследованиях 2007-2010 гг., проводимых нами на лугово-черноземной почве, было выявлено влияние различных доз и сочетаний макроудобрений на урожайность тысячелистника обыкновенного, выращиваемого в условиях культуры в южной лесостепи Западной Сибири (Тищенко, 2010). Была установлена оптимальная доза минеральных удобрений ($N_{135}P_{45}K_{45}$) под тысячелистник обыкновенный, при содержании в слое почвы 0-30 см нитратного азота – 42-63; подвижного фосфора – 59-70; обменного калия – 100-240 мг/кг (2%-ная CH_3COOH вытяжка). Суммарная урожайность за 2008-2010 гг. от действия и двух лет последствия азотно-фосфорно-калийных удобрений на этом варианте составила 30,12 т/га. Средняя урожайность биомассы сухого вещества тысячелистника в зависимости от внесенных доз и сочетаний макроудобрений варьировала от 7,7 до 10,0 т/га (Тищенко, 2010). Кроме этого были разработаны оптимальные уровни содержания азота, фосфора, калия в почве и растениях тысячелистника обыкновенного, как физиолого-агрохимические характеристики

сбалансированного, оптимального питания растений для получения качественной продукции.

Таким образом, зная оптимальные уровни содержания и соотношения макроэлементов в почве и растениях тысячелистника обыкновенного, используя экспрессные методы «ИСПРОД», нами была разработана система диагностики потребности данной культуры в микроудобрениях для условий Западной Сибири.

При оценке действия и последствий микроэлементов на процессы роста и развития лекарственных культур в течение вегетации одним из важнейших интегральных показателей, который отражает уровень воздействия на растение тех факторов, которые, с одной стороны, обуславливают их жизнедеятельность, а с другой стороны, подвержены изменениям вследствие применения удобрений, является урожайность растений.

Исследования, проводимые в течение 2012-2015 гг., показали, что действие и последствие микроэлементов на урожайность тысячелистника обыкновенного зависели от биологических особенностей культуры, метеорологических условий, вносимого элемента и его дозы. В 1-й год жизни растений урожайность была самая низкая (0,88-1,43 т/га), во 2-3-й годы происходит повышение продуктивности в 12-15 раз по сравнению с первым годом роста и развития культуры, к 4-му году отмечается снижение продуктивности растений в 2-3 раза по сравнению с предыдущим годом. Это объясняется тем, что культура многолетняя и в первый год жизни растений корневая система еще формируется и не может обеспечить вегетативную массу необходимым количеством элементов минерального питания для создания высокого урожая (Приложение 9).

В среднем за годы исследований (2012-2015 гг.) улучшение условий питания за счет внесения в почву цинковых удобрений обеспечивало существенные прибавки урожая тысячелистника обыкновенного относительно фонового варианта, варьировавшие от 1,6 (17,0 %) при внесении Zn_{20} до 3,0 т/га (31,9 %) при Zn_{60} (таблица 10). Максимальная урожайность в вариантах с применением цинка составила 12,4 т/га (60 кг д.в. Zn/га) (таблица 10). Подобная

тенденция сохранилась и при характеристике общей урожайности за 4 года. Цинковые удобрения в пределах 60 кг д.в./га повышали суммарную урожайность тысячелистника обыкновенного на 12,0 т/га (при урожае 49,5 т/га). Окупаемость одного кг д.в. Zn удобрений урожаем в варианте Zn₆₀ составила 0,20 т (таблица 10).

Таблица 10 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества тысячелистника обыкновенного. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Средняя урожайность, т/га	Прибавка к фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		9,2	-	-	36,8	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		9,4	-	-	37,5	-	-	-	-
Фон	Zn ₂₀	11,0	1,6	17,0	43,9	6,4	17,1	0,32	-
	Zn ₄₀	11,9	2,5	26,6	47,4	9,9	26,4	0,25	-
	Zn₆₀	12,4	3,0	31,9	49,5	12,0	32,0	0,20	-
	Zn ₈₀	11,3	1,9	20,2	45,2	7,7	20,5	0,10	-
	Cu _{2,4}	11,6	2,2	23,4	46,4	8,9	23,7	-	3,71
	Cu _{4,9}	12,2	2,8	29,8	48,8	11,3	30,1	-	2,31
	Cu _{7,2}	13,2	3,8	40,4	52,8	15,3	40,8	-	2,13
Cu_{9,7}		13,4	4,0	42,6	53,7	16,2	43,2	-	1,67
НСП ₀₅		0,55							

Если сравнивать влияние цинковых и медных удобрений на продуктивность тысячелистника, то первое место во все годы исследований принадлежало медным удобрениям. Наибольшая урожайность от их применения, как в среднем за годы исследований (13,4 т/га), так и в сумме за 4 года (53,7 т/га) отмечена при дозе Cu 9,7 кг д.в./га на азотно-фосфорно-калийном фоне (таблица 10). Медные удобрения в пределах 9,7 кг д.в./га повышали общую урожайность тысячелистника обыкновенного на 16,2 т/га (при урожае 53,7 т/га). Окупаемость 1 килограмма медных удобрений урожаем на лучшем варианте опыта (Cu_{9,7}) составила 1,67 т.

В ходе исследований на основе математического моделирования были установлены взаимосвязи урожайности абсолютно сухого вещества (Y , т/га) от применения цинковых (Zn , кг д.в./га) и медных удобрений (Cu , кг д.в./га) в пределах оптимальных доз (таблица 11, уравнения 7-18).

Таблица 11 – Математические уравнения связи между дозами вносимых в почву микроудобрений и урожайностью общей биомассы тысячелистника обыкновенного

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
1-й год жизни (2012 г.)	$Y = 1,00 + 0,01 Zn$ (7)	$r = 0,90$	1,28
	$Y = 1,10 + 0,04 Cu$ (8)	$r = 0,86$	1,43
2-й год жизни (2013 г.)	$Y = 14,39 + 0,05 Zn$ (9)	$r = 0,90$	16,9
	$Y = 14,29 + 0,42 Cu$ (10)	$r = 0,97$	18,1
3-й год жизни (2014 г.)	$Y = 18,26 + 0,02 Zn$ (11)	$r = 0,94$	19,7
	$Y = 19,0 + 0,39 Cu$ (12)	$r = 0,87$	21,8
4-й год жизни (2015 г.)	$Y = 4,82 + 0,13 Zn$ (13)	$r = 0,99$	12,1
	$Y = 5,68 + 0,76 Cu$ (14)	$r = 0,95$	12,5
в среднем за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y = 9,68 + 0,05 Zn$ (15)	$r = 0,97$	12,4
	$Y = 10,02 + 0,40 Cu$ (16)	$r = 0,94$	13,4
в сумме за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y = 38,63 + 0,20 Zn$ (17)	$r = 0,97$	49,5
	$Y = 40,09 + 1,60 Cu$ (18)	$r = 0,94$	53,7

В первый год жизни растений (2012 г.) каждый килограмм цинковых удобрений повышал урожайность тысячелистника обыкновенного на 0,01 т/га, а медных – на 0,04 т/га при урожае 1,43 т/га (таблица 11, уравнения 7-8).

Согласно уравнениям (9, 11, 13) каждый кг цинковых удобрений повышает урожайность лекарственного сырья тысячелистника во 2-й, 3-й и 4-й годы жизни растений на 0,05, 0,02 и 0,13 т/га, медных удобрений соответственно на 0,42, 0,39, 0,76 т/га (таблица 11, уравнения 10, 12, 14).

В среднем за годы исследований, при внесении оптимальных доз Zn (60 кг/га) и Cu (9,7 кг/га) в почву, коэффициенты интенсивности действия « b » единицы поступивших Zn и Cu на урожайность сухого вещества тысячелистника составили соответственно 0,05 и 0,40 т/га (таблица 11, уравнения 15-16), что

соответствовало прогнозу урожая 12,7 и 13,9 т/га (фактически 12,4 и 13,4 т/га, таблица 10). В сумме за четыре года жизни тысячелистника обыкновенного каждый килограмм разово внесенных в почву цинка и меди повышал урожайность биомассы сухого вещества соответственно на 0,20 и 1,60 т (таблица 11, уравнения 17-18) или согласно прогнозу, до 50,6 и 55,6 т/га (фактически 49,5 и 53,7 т/га; таблица 10).

Кроме влияния микроудобрений на урожайность общей биомассы тысячелистника, было выявлено действие и последствие микроудобрений на урожайность соцветий (таблица 12; Приложение 10).

Таблица 12 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества соцветий тысячелистника обыкновенного.

Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Средняя урожайность, т/га	Прибавка к фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		2,5	-	-	10,1	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		3,0	-	-	12,0	-	-	-	-
Фон	Zn ₂₀	3,5	0,5	16,7	13,9	1,9	15,8	0,10	-
	Zn ₄₀	3,5	0,5	16,7	14,0	2,0	16,7	0,05	-
	Zn₆₀	3,6	0,6	20,0	14,4	2,4	20,0	0,04	-
	Zn ₈₀	3,8	0,8	26,7	15,0	3,0	25,0	0,04	-
	Cu _{2,4}	3,3	0,3	10,0	13,2	1,2	10,0	-	0,50
	Cu _{4,9}	3,5	0,5	16,7	13,8	1,8	15,0	-	0,37
	Cu _{7,2}	4,0	1,0	33,3	15,9	3,9	32,5	-	0,54
Cu_{9,7}		3,9	0,9	30,0	15,8	3,8	31,7	-	0,39
HCP ₀₅		0,42							

В среднем и в сумме за годы исследований положительное влияние на биосинтез сухого вещества тысячелистника обыкновенного оказали цинковые удобрения в дозе 60 кг д.в./га и медные в дозе 9,7 кг д.в./га.

При внесении в почву цинксодержащих удобрений в дозе 60 кг д.в./га урожайность соцветий в сумме за 4 года исследований (2012-2015 гг.) составляла

14,4 т/га. Медные удобрения в дозе 9,7 кг д.в./га повышали урожайность соцветий до 15,8 т/га (таблица 12).

Корреляционно-регрессионный анализ позволил получить уравнения, описывающие взаимосвязи между вносимыми дозами микроудобрений и урожайностью соцветий тысячелистника обыкновенного (таблица 13).

Таблица 13 – Математические уравнения связи между дозами вносимых в почву микроудобрений и урожайностью соцветий тысячелистника обыкновенного

Год жизни культуры	Уравнения зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
1-й год жизни (2012 г.)	$Y_c = 0,26 + 0,002 Zn$ (19)	$r = 0,97$	0,32
	$Y_c = 0,28 + 0,006 Cu$ (20)	$r = 0,55$	0,33
2-й год жизни (2013 г.)	$Y_c = 3,66 + 0,012 Zn$ (21)	$r = 0,86$	4,2
	$Y_c = 3,52 + 0,08 Cu$ (22)	$r = 0,97$	4,3
3-й год жизни (2014 г.)	$Y_c = 4,74 + 0,012 Zn$ (23)	$r = 0,92$	5,5
	$Y_c = 4,79 + 0,18 Cu$ (24)	$r = 0,87$	6,1
4-й год жизни (2015 г.)	$Y_c = 3,79 + 0,014 Zn$ (25)	$r = 0,84$	4,6
	$Y_c = 3,48 + 0,16 Cu$ (26)	$r = 0,96$	5,0
в среднем за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y_c = 3,12 + 0,01 Zn$ (27)	$r = 0,88$	3,6
	$Y_c = 3,04 + 0,10 Cu$ (28)	$r = 0,95$	3,9
в сумме за 2012-2015 гг.	$Y_c = 12,48 + 0,04 Zn$ (29)	$r = 0,88$	14,4
	$Y_c = 12,09 + 0,42 Cu$ (30)	$r = 0,96$	15,8

При внесении цинка и меди в лугово-черноземную почву под растение тысячелистник обыкновенный в пределах оптимальных доз математические связи в системе «удобрение (Zn/Cu, кг д.в./га) → урожай (Y, т/га)» характеризуются уравнениями (19-30).

Урожайность соцветий в среднем и в сумме за 4 года исследований характеризовалась уравнениями (27-30). Из которых следует, что каждый кг вносимого цинка в почву в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га) увеличивал урожайность соцветий в среднем за 2012-2015 гг. на 0,01 т/га и в сумме за 4 года на 0,04 т/га (таблица 13, уравнения 27, 29), а каждый кг вносимой меди (9,7 кг д.в./га) соответственно на 0,10 и 0,42 т/га (таблица 13, уравнения 28, 30). Согласно уравнениям (29-30) прогноз урожайности от применения оптимальных доз Zn и

Сu составил соответственно 14,9 и 16,2 т/га при фактических значениях 14,4 и 15,8 т/га (таблица 13).

Таким образом, обобщая данные полевых опытов 2012-2015 гг., можно сделать вывод, что благоприятное действие на урожайность тысячелистника обыкновенного оказало внесение в почву по фону $N_{135}P_{45}K_{45}$ цинка в дозе 60 кг д.в./га (49,5 т/га) и меди в дозе 9,7 кг д.в./га (53,7 т/га) (таблица 10). При этом наиболее эффективными, как при формировании общей урожайности (трава + соцветия), так и урожайности соцветий, были медные удобрения в дозе 9,7 кг д.в./га, прибавки относительно фона соответственно составили 43,2 и 31,7 % (таблицы 10, 12).

3.2 Микроудобрения и урожайность пижмы обыкновенной

В отечественной и зарубежной литературе исследований по влиянию макро- и микроудобрений на урожайность пижмы обыкновенной нет.

Имеются данные С. А. Бородий и П. С. Бородий (2018б) о влиянии сроков и способов закладки культурных плантаций на урожайность соцветий пижмы обыкновенной в Костромской области. Также ими выявлены возрастные изменения морфометрических параметров и урожайности пижмы в условиях культуры (Бородий С., Бородий П., 2018а).

Д. И. Семенихиным (2007) проведена сравнительная оценка продуктивности пижмы обыкновенной в чистых и совместных посевах с однолетними культурами. Так, по урожайности соцветий и семян совместные посевы пижмы второго года вегетации уступали чистым посевам аналогичного возраста, а с третьего года имели равные с ними показатели.

В ранее проведенных исследованиях 2007-2010 гг. нами изучалось действие и последствие различных доз и сочетаний макроудобрений на урожайность пижмы обыкновенной (Тищенко, Омутных, 2012). В ходе полевых опытов была определена оптимальная доза минеральных удобрений ($N_{135}P_{45}K_{45}$) под пижму

обыкновенную, при содержании в слое почвы 0-30 см $N-NO_3$ – 3,2 мг/кг, P_2O_5 – 60,0 мг/кг, K_2O – 134 мг/кг (стандартный метод). Суммарная урожайность за 2008-2010 гг. от внесения в почву азотно-фосфорно-калийных удобрений на этом варианте составила 40,5 т/га. Средняя урожайность пижмы обыкновенной, выращиваемой в условиях культуры в южной лесостепи Западной Сибири варьировала от 9,4 до 13,5 т/га.

Таким образом, на основании предыдущих исследований, зная оптимальные уровни содержания и соотношения азота, фосфора и калия в почве и растениях пижмы обыкновенной, нами была разработана система диагностики потребности данной культуры в микроудобрениях для условий Западной Сибири.

Влияние микроэлементов на процессы роста и развития пижмы обыкновенной в течение вегетации находят отражение в изменении урожайности.

В ходе исследований было установлено, что урожайность пижмы обыкновенной зависела от года жизни растений, метеорологических условий, вносимого микроэлемента и доз удобрений (Приложение 11).

Так, в год действия (2012 г.) применение цинковых удобрений способствовало повышению урожайности пижмы обыкновенной до 0,88 т (Zn_{40}). Дозы цинка свыше 40 кг д.в./га приводили к снижению показателей продуктивности до 0,48 т, т.е. ниже фоновых значений (0,55 т). При использовании медных удобрений наибольшая урожайность культуры отмечалась в варианте $Cu_{9,7}$ и была на уровне 0,91 т (Приложение 11).

В следующие три года последействия, можно отметить, что с увеличением расчетных доз цинка и меди (от 0,25 до 0,75 ПДК) урожайность пижмы обыкновенной повышалась. Так, во 2-3-4-й годы роста и развития культуры максимальная урожайность отмечалась от внесения цинковых удобрений в дозе 60 кг д.в./га и составляла соответственно 24,3, 33,1, 22,9 т/га. Наибольшая урожайность от применения медных удобрений в годы последействия (2013-2015 гг.) была в варианте $Cu_{7,2}$ – 19,3 (2013 г.), 32,4 (2014 г.) и 18,6 (2015 г.) т/га (Приложение 11).

В среднем за 2012-2015 гг. максимальная урожайность отмечается на уровне оптимальных нормативов Zn_{60} и $Cu_{7,2}$, выше которых биосинтез сухого вещества урожая снижается (таблица 14).

Таблица 14 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества пижмы обыкновенной. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Средняя урожайность, т/га	Прибавка к фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		13,7	-	-	54,8	-	-	-	-
Фон ($N_{135}P_{45}K_{45}$)		14,2	-	-	56,6	-	-	-	-
Фон	Zn_{20}	16,1	1,9	13,4	64,3	7,7	13,6	0,39	-
	Zn_{40}	17,0	2,8	19,7	68,2	11,6	20,5	0,29	-
	Zn_{60}	20,2	6,0	42,3	80,9	24,3	42,9	0,41	-
	Zn_{80}	16,7	2,5	17,6	66,8	10,2	18,0	0,13	-
	$Cu_{2,4}$	14,7	0,5	3,5	58,8	2,2	3,9	-	0,92
	$Cu_{4,9}$	16,0	1,8	12,7	63,8	7,2	12,7	-	1,47
	$Cu_{7,2}$	17,8	3,6	25,4	71,2	14,6	25,8	-	2,02
	$Cu_{9,7}$	16,0	1,8	12,7	63,9	7,3	12,9	-	0,75
НСР ₀₅		2,16							

Исследования показывают (таблица 14), 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 среднем за 2012-2015 гг. в вариантах с применением расчётных доз цинка наибольшая продуктивность (20,2 т/га) отмечается при оптимальной дозе 60 кг д.в./га. В сумме за 2012-2015 гг. разовое внесение цинка в 2012 г. в дозе 60 кг д.в./га обеспечивало прибавку 24,3 т/га (таблица 14).

Максимальная урожайность в среднем за 2012-2015 гг. от внесения медных удобрений (2012 г.) отмечалась в варианте $Cu_{7,2}$ и составляла 17,8 т/га (прибавка относительно фона 3,6 т/га). Дальнейшее увеличение дозы меди снижало урожайность до 16,0 т/га (таблица 14).

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) позволил дополнительно получить с одного гектара 0,41 т урожая пижмы обыкновенной. При внесении меди в почву окупаемость была значительно выше в сравнении с цинковыми удобрениями. Так, каждый кг меди, внесенной в лугово-черноземную почву (2012 г.), в пределах оптимальной дозы 7,2 кг д.в./га, на фоне сбалансированного минерального питания, обеспечивал максимальную окупаемость – 2,02 т/га (таблица 14).

В таблице 15 представлены математические модели связи системы «удобрение (Zn, Cu (X), кг/га) – урожайность (Y, т/га)», позволяющие оценить действие каждого элемента удобрения, внесенного до оптимальных доз, на формирование величины урожая по годам жизни пижмы обыкновенной (уравнения 31-42).

Таблица 15 – Математические уравнения связи между дозами вносимых в почву микроудобрений и урожайностью общей биомассы пижмы обыкновенной

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
1-й год жизни (2012 г.)	$Y = 0,55 + 0,01 \text{ Zn}$ (31)	$r = 0,99$	0,88
	$Y = 0,45 + 0,06 \text{ Cu}$ (32)	$r = 0,81$	0,87
2-й год жизни (2013 г.)	$Y = 13,66 + 0,16 \text{ Zn}$ (33)	$r = 0,96$	24,3
	$Y = 14,41 + 0,69 \text{ Cu}$ (34)	$r = 0,99$	19,3
3-й год жизни (2014 г.)	$Y = 27,59 + 0,11 \text{ Zn}$ (35)	$r = 0,90$	33,1
	$Y = 26,89 + 0,76 \text{ Cu}$ (36)	$r = 0,95$	32,4
4-й год жизни (2015 г.)	$Y = 14,10 + 0,12 \text{ Zn}$ (37)	$r = 0,85$	22,9
	$Y = 13,53 + 0,51 \text{ Cu}$ (38)	$r = 0,61$	18,6
в среднем за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y = 14,0 + 0,10 \text{ Zn}$ (39)	$r = 0,98$	20,2
	$Y = 13,82 + 0,50 \text{ Cu}$ (40)	$r = 0,97$	17,8
в сумме за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y = 55,98 + 0,38 \text{ Zn}$ (41)	$r = 0,98$	80,9
	$Y = 55,27 + 2,02 \text{ Cu}$ (42)	$r = 0,97$	71,2

В первый год жизни культуры влияние расчётных доз цинковых удобрений до оптимальной дозы 40 кг д.в./га и медных до 7,2 кг д.в./га на фоне $N_{135}P_{45}K_{45}$ на урожайность абсолютно сухого вещества описывается уравнениями (31-32). Каждый кг цинковых и медных удобрений в 2012 г. повышал урожайность пижмы обыкновенной соответственно на 0,01 и 0,06 т (таблица 15, уравнения 31-32).

Корреляционно-регрессионный анализ показал наличие прямолинейной зависимости урожайности абсолютно сухого вещества во 2-й, 3-й, 4-й годы жизни культуры при внесении от низких до оптимальных доз Zn и Cu удобрений (таблица 15, уравнения 33-38). Значения коэффициентов интенсивности действия единицы поступивших цинка и меди удобрений в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая пижмы обыкновенной зависели от года жизни растений. Так, коэффициенты « b_{Zn} » с 2013 по 2015 гг. изменялись: $0,16 \rightarrow 0,11 \rightarrow 0,12$ т/га, коэффициенты « b_{Cu} »: $0,69 \rightarrow 0,76 \rightarrow 0,51$ т/га.

В среднем за годы исследований уравнения (39-40) прямой зависимости указывают на сильную связь ($r=0,97-0,98$) вносимого в почву ацетата цинка и меди с урожайностью культуры (таблица 15). В сумме 2012-2015 гг. в пределах оптимальной дозы Zn (60 кг д.в./га) урожайность пижмы при внесении 1 кг д.в./га повышалась на 0,38 т (уравнение 41). Каждый кг медных удобрений внесенный в почву в дозе 7,2 кг д.в./га увеличивал урожайность пижмы на 2,02 т органического вещества (уравнение 42).

В научной медицине лекарственным сырьем являются также соцветия пижмы обыкновенной, поэтому нами было выявлено влияние микроудобрений на их урожайность (Приложение 12).

В первый год жизни растений урожайность соцветий пижмы обыкновенной была минимальной и варьировала в вариантах с цинковыми и медными удобрениями от 0,14 (Zn_{80}) до 0,32 ($Cu_{9,7}$) т/га, во второй год изменялась от 5,4 ($Cu_{2,4}$) до 7,7 (Zn_{60}) т/га, то есть увеличилась сравнительно с первым годом в 17-36 раз. Максимальная продуктивность наблюдалась на третий год жизни культуры, когда по вариантам опыта было получено 6,6-12,4 т/га соцветий, что в 20-57 раз

больше, чем в первый год. Растения четвёртого года жизни резко снижали урожайность (2,89-4,44 т/га), в 2-3 раза по сравнению с третьим годом (Приложение 12).

Таким образом, наши данные хорошо согласуются с исследованиями С. А. Бородий и П. С. Бородий (2018б), которые установили, что в первый год жизни урожай соцветий можно получить только при закладке плантации рассадой (весна), при этом продолжительность эксплуатации посадок пижмы обыкновенной в производственных условиях составляет 2-3, а при условии цветения в год посадки – 3-4 года. Максимальная урожайность соцветий отмечается на третий год роста и развития растений, а к четвертому году значительно снижается. Урожайность соцветий от первого до четвертого года эксплуатации варьировала в их исследованиях: 44,39 г/м²; 130,68 г/м²; 470,04 г/м² и 102,48 г/м² соответственно. Установлена сильная связь продуктивности соцветий с количеством генеративных побегов. Именно уменьшением количества продуктивных побегов авторы объясняют снижение урожайности к 4-му году жизни.

В первый год роста и развития пижмы обыкновенной максимальная урожайность соцветий 0,30 т/га отмечалась при внесении в почву 40 кг д.в./га Zn удобрений. При увеличении дозы цинка свыше 40 кг д.в./га продуктивность снижалась. Внесение медных удобрений в дозах от 2,4 до 9,7 кг д.в./га закономерно повышало урожайность соцветий пижмы от 0,15 до 0,32 т/га. В годы последействия (2-4 годы жизни растений) внесение расчетных доз цинка в почву в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га) обеспечивало урожайность на уровне 7,7 (2-й год жизни), 12,4 (3-й год жизни), 4,0 (4-й год жизни) т/га. Внесение меди в почву в 2012 г. в оптимальной дозе 7,2 кг д.в./га увеличивало урожайность соцветий в годы последействия (2013-2015 гг.) до 6,5, 9,0 и 4,4 т/га (Приложение 12).

Средняя и общая урожайность соцветий за 4 года исследований (2012-2015 гг.) повышалась до оптимальной дозы цинка (60 кг/га) и составляла

соответственно 6,1 и 24,4 т/га; и до оптимальной дозы меди (7,2 кг/га) – 5,0 и 20,2 т/га (таблица 16).

Таблица 16 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества соцветий пижмы обыкновенной. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Средняя урожайность, т/га	Прибавка к фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к фону		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		3,3	-	-	13,2	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		3,5	-	-	14,1	-	-	-	-
Фон	Zn ₂₀	4,3	0,8	22,9	17,3	3,2	22,7	0,16	-
	Zn ₄₀	5,4	1,9	54,3	21,6	7,5	53,2	0,19	-
	Zn₆₀	6,1	2,6	74,3	24,4	10,3	73,0	0,17	-
	Zn ₈₀	4,2	0,7	20,0	17,0	2,9	20,6	0,04	-
	Cu _{2,4}	4,3	0,8	22,9	17,1	3,0	21,3	-	1,25
	Cu _{4,9}	4,7	1,2	34,3	18,8	4,7	33,3	-	0,96
	Cu_{7,2}	5,0	1,5	42,9	20,2	6,1	43,3	-	0,85
	Cu _{9,7}	4,0	0,5	14,3	15,9	1,8	12,8	-	0,19
HCP ₀₅		0,64							

Математическое моделирование связи между вносимыми дозами микроэлементов под пижму обыкновенную и урожайностью соцветий этой культуры позволило установить зависимости и получить уравнения регрессии (таблица 17, уравнения 43-54).

В среднем за годы исследований 1 кг цинковых и медных удобрений в пределах оптимальных доз повышал урожайность соцветий пижмы соответственно на 0,04 и 0,21 т (уравнения 51-52). Каждый кг вносимого цинка и меди увеличивали общую урожайность цветков пижмы (год действия и три года последействия) соответственно на 0,18 (уравнение 53) и 0,83 т (уравнение 54).

Математическое моделирование формирования урожая от применения оптимальных расчётных доз микроэлементов (Zn₆₀ и Cu_{7,2}) позволяет прогнозировать урожайность соцветий пижмы обыкновенной в сумме за 4 года

действия и последствия цинковых (уравнение 53) и медных (уравнение 54) удобрений (таблица 17).

Таблица 17 – Математические уравнения связи между дозами цинковых и медных удобрений и урожайностью соцветий пижмы обыкновенной

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
1-й год жизни (2012 г.)	$Y_c = 0,17 + 0,003 Zn$ (43)	$r = 0,96$	0,30
	$Y_c = 0,16 + 0,02 Cu$ (44)	$r = 0,84$	0,27
2-й год жизни (2013 г.)	$Y_c = 4,83 + 0,05 Zn$ (45)	$r = 0,98$	7,7
	$Y_c = 4,87 + 0,23 Cu$ (46)	$r = 0,99$	6,5
3-й год жизни (2014 г.)	$Y_c = 6,41 + 0,10 Zn$ (47)	$r = 0,99$	12,4
	$Y_c = 6,77 + 0,35 Cu$ (48)	$r = 0,93$	9,0
4-й год жизни (2015 г.)	$Y_c = 2,63 + 0,02 Zn$ (49)	$r = 0,96$	4,0
	$Y_c = 2,73 + 0,24 Cu$ (50)	$r = 0,99$	4,4
в среднем за годы исследований (2012-2015 гг.)	$Y_c = 3,51 + 0,04 Zn$ (51)	$r = 0,99$	6,1
	$Y_c = 3,63 + 0,21 Cu$ (52)	$r = 0,98$	5,0
в сумме за 2012-2015 гг.	$Y_c = 14,06 + 0,18 Zn$ (53)	$r = 0,99$	24,4
	$Y_c = 14,53 + 0,83 Cu$ (54)	$r = 0,98$	20,2

Прогноз урожайности соцветий при дозе внесения Zn_{60} :

$Y_c = 14,06 + 0,18 \cdot Zn_{60} = 24,9$ т/га (фактическая урожайность – 24,4 т/га (ошибка прогноза +2%));

Прогноз урожайности соцветий при дозе внесения $Cu_{7,2}$:

$Y_c = 14,53 + 0,83 \cdot Cu_{7,2} = 20,5$ т/га (фактическая урожайность – 20,2 т/га (ошибка прогноза –1,5%)).

Таким образом, при оптимизации цинкового и медного питания пижмы обыкновенной на лугово-черноземной почве, положительное влияние на формирование урожая в условиях Западной Сибири оказали цинковые удобрения в дозе 60 кг д.в./га (таблицы 14, 16) (Жаркова и др., 2019). Увеличение общей урожайности (трава + соцветия) пижмы в сумме за 4 года исследований от действия и последствий цинковых удобрений составило 24,3 т/га (таблица 14). Урожайность соцветий пижмы обыкновенной в варианте Zn_{60} увеличилась на 10,3 т/га или 73,0 % к фону (таблица 16).

3.3 Микроудобрения и урожайность эхинацеи пурпурной

На сегодняшний день разработанные технологии возделывания эхинацеи пурпурной в основном относятся к Центральному Черноземному региону и Нечерноземной зоне РФ. Исследования, проводимые с эхинацеей пурпурной, посвящены вопросам повышения посевных качеств семян, увеличению урожайности лекарственного сырья и др. (Сидельников и др., 2010).

Ряд авторов (Кшникаткина, Гущина, 2001; Сидельников и др., 2014) указывают на усиление роста надземной части эхинацеи пурпурной и повышение её урожайности при применении регуляторов роста и микроудобрений. Имеются лишь единичные исследования по применению микроудобрений для повышения урожайности корней (Сидельников, 2016).

Изменение физиолого-биологических процессов в растениях эхинацеи пурпурной под воздействием цинковых и медных удобрений нашло отражение в наших исследованиях (2016-2018 гг.) при формировании различной урожайности (Приложение 13, таблица 18).

В среднем за три года исследований (2016-2018 гг.) урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной на фоновом варианте составляла 8,2 т/га, в то время как в вариантах с применением оптимальных доз цинка 21,4 кг д.в./га (0,50 ПДК Zn) и меди 9,4 кг д.в./га (1,0 ПДК Cu) она возросла до 9,9 и 13,2 т/га (таблица 18) (Жаркова и др., 2019).

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) (Жаркова и др., 2020а). Окупаемость 1 кг цинковых удобрений урожаем при внесении оптимальной дозы 21,4 кг д.в./га на фоне N₁₂₅ составляла 0,24 т. Каждый кг медных удобрений в пределах 9,4 кг д.в./га обеспечивал окупаемость 1,59 т/га (таблица 18).

Таблица 18 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез урожая сухого вещества эхинацеи пурпурной. Полевой опыт 2016-2018 гг.

Вариант опыта		Средняя урожайность, т/га	Прибавка к фону		Общая урожайность за 3 года, т/га	Прибавка к фону		Окупаемость, 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
			т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		7,5	-	-	22,6	-	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)		8,2	-	-	24,7	-	-	-	-
Фон	Zn _{10,7}	8,8	0,6	7,3	26,3	1,6	6,5	0,15	-
	Zn_{21,4}	9,9	1,7	20,7	29,8	5,1	20,6	0,24	-
	Zn _{32,4}	7,7	-	-	23,1	-	-	-	-
	Zn _{42,8}	7,9	-	-	23,7	-	-	-	-
	Cu _{2,3}	9,7	1,5	18,3	29,0	4,3	17,4	-	1,87
	Cu _{4,7}	11,1	2,9	25,4	33,4	8,7	35,2	-	1,85
	Cu _{7,0}	12,7	4,5	54,9	38,0	13,3	53,8	-	1,90
Cu_{9,4}		13,2	5,0	61,0	39,6	14,9	60,3	-	1,59
HCP ₀₅		0,27							

Наибольшее воздействие на рост эхинацеи пурпурной в годы проведения исследований оказали медные удобрения. Показатели накопления сухого вещества в вариантах с включением в систему удобрения меди превышали фон в сумме за 3 года на 4,3-14,9 т/га (таблица 18). Максимальная урожайность была отмечена в варианте Cu_{9,4} – 39,6 т/га (таблица 18).

Математическое моделирование формирования урожая при внесении расчётных доз цинка и меди в почву (до оптимальных уровней) позволила установить коэффициенты «*b*» интенсивности действия каждого килограмма цинка и меди на биосинтез урожайности эхинацеи пурпурной (таблица 19). В первый год жизни эхинацеи пурпурной коэффициент «*b*» равен 0,02 т/га, а меди – 0,08 т/га (таблица 19, уравнения 55-56).

Во второй, третий годы жизни эхинацеи выявленные связи «удобрение – урожай» оцениваются высокими коэффициентами корреляции ($r = 0,96-0,99$) и характеризуются уравнениями регрессии (57-60). Коэффициент «*b_{Zn}*» по годам проводимых исследований закономерно повышается: $0,02 \rightarrow 0,06 \rightarrow 0,15$ (уравнения 55, 57, 59). Коэффициент «*b_{Cu}*» значительно возрастает во второй год

роста и развития культуры и снижается на третий год: $0,08 \rightarrow 0,84 \rightarrow 0,73$ (уравнения 56, 58, 60).

Таблица 19 – Математические уравнения связи между дозами вносимых в почву микроудобрений и общей урожайностью эхинацеи пурпурной

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
1-й год жизни (2016 г.)	$Y = 1,45 + 0,02 \text{ Zn}$ (55)	$r = 0,94$	1,9
	$Y = 1,42 + 0,08 \text{ Cu}$ (56)	$r = 0,97$	2,1
2-й год жизни (2017 г.)	$Y = 11,08 + 0,06 \text{ Zn}$ (57)	$r = 0,95$	12,5
	$Y = 10,86 + 0,84 \text{ Cu}$ (58)	$r = 0,99$	18,5
3-й год жизни (2018 г.)	$Y = 11,85 + 0,15 \text{ Zn}$ (59)	$r = 0,97$	15,4
	$Y = 12,94 + 0,73 \text{ Cu}$ (60)	$r = 0,96$	19,0
в среднем за годы исследований (2016-2018 гг.)	$Y = 8,12 + 0,08 \text{ Zn}$ (61)	$r = 0,99$	9,9
	$Y = 8,39 + 0,55 \text{ Cu}$ (62)	$r = 0,99$	13,2
в сумме за годы исследований (2016-2018 гг.)	$Y = 24,38 + 0,24 \text{ Zn}$ (63)	$r = 0,98$	29,8
	$Y = 25,22 + 1,65 \text{ Cu}$ (64)	$r = 0,99$	39,6

В процессе математического моделирования «удобрение \rightarrow урожай» была установлена прямая зависимость урожайности эхинацеи пурпурной в среднем за годы исследований от применения расчетных доз микроудобрений от низких до оптимальных – цинка (21,4 кг д.в./га) и меди (9,4 кг д.в./га), вносимых в лугово-черноземную почву под выращиваемую культуру. Из уравнения (61-62) следует, что каждый килограмм однократно внесенного цинкового и медного удобрения повышает урожайность («b») эхинацеи пурпурной соответственно на 0,08 и 0,55 т/га. За 3 года жизни эхинацеи пурпурной (2016-2018 гг.) биомасса урожая растений от разового применения Zn и Cu (2016 г.) составляла, соответственно, 29,8 и 39,6 т/га, а коэффициент «b» интенсивности 1 кг внесенного цинка и меди в почву повышал урожайность соответственно на 0,24 и 1,65 т/га (таблица 19, уравнения 63-64).

Кроме этого, в исследованиях было выявлено влияние цинковых и медных удобрений, внесённых в почву, на урожайность соцветий и корневищ эхинацеи пурпурной (Приложение 14, таблица 20).

Таблица 20 – Влияние цинковых и медных удобрений на биосинтез сухого вещества соцветий и корневищ эхинацеи пурпурной

Вариант опыта		Урожайность корневищ (2018 г.), т/га	Средняя урожаи- ность соцветий (2017-2018 гг.), т/га	Прибавка к фону		Сумма соцветий за 2 года, т/га	Прибавка к фону		Окупае- мость, 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
				т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		7,9	1,9	-	-	3,7	-	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)		8,4	1,9	-	-	3,8	-	-	-	-
Фон	Zn _{10,7}	8,8	3,2	1,3	68,4	6,4	2,6	68,4	0,24	-
	Zn_{21,4}	10,5	3,8	1,9	100,0	7,6	3,8	100,0	0,18	-
	Zn _{32,4}	8,7	2,8	0,9	47,4	5,5	1,7	44,7	0,05	-
	Zn _{42,8}	8,5	2,5	0,6	31,6	4,9	1,1	28,9	0,03	-
	Cu _{2,3}	10,8	2,8	0,9	47,4	5,5	1,7	44,7	-	0,74
	Cu _{4,7}	11,8	3,6	1,7	89,5	7,2	3,4	89,5	-	0,72
	Cu _{7,0}	12,7	4,7	2,8	147,4	9,3	5,5	144,7	-	0,79
	Cu_{9,4}	13,1	5,0	3,1	163,2	10,0	6,2	163,2	-	0,66
HCP ₀₅			0,22							

В условиях Западной Сибири, массовое цветение и плодоношение эхинацеи пурпурной начинается со 2-го года жизни растений, что подтверждают и другие исследователи в своих работах (Анищенко, Шишлова, 2009; Мамчур и др., 1993; Моисеева, 1991; Ториков и др., 2016;). Корневища начинают заготавливать со второго года вегетации (Ельчининова и др., 2007).

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 (таблица 20). Медные удобрения оказались более эффективными при формировании генеративных органов эхинацеи пурпурной, в сравнении с цинковыми.

С помощью статической обработки данных были получены регрессионные уравнения и коэффициенты корреляции, описывающие влияние вносимых микроудобрений (Zn, Cu) на урожайность соцветий (Ус) и корневищ (Ук) эхинацеи пурпурной (таблица 21).

Таблица 21 – Математические уравнения связи между цинковыми и медными удобрениями в пределах оптимальных дозировок и урожайностью соцветий (Y_c) и корневищ (Y_k) эхинацеи пурпурной

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	r	Фактическая средняя урожайность, т/га
2-й год жизни (2017 г.)	$Y_c = 1,43 + 0,07 Zn$ (65)	$r = 0,99$	2,8
	$Y_c = 1,45 + 0,27 Cu$ (66)	$r = 0,99$	3,9
3-й год жизни (2018 г.)	$Y_c = 2,60 + 0,11 Zn$ (67)	$r = 0,96$	4,8
	$Y_k = 8,18 + 0,10 Zn$ (68)	$r = 0,94$	10,5
	$Y_c = 2,49 + 0,42 Cu$ (69)	$r = 0,98$	6,1
	$Y_k = 9,11 + 0,48 Cu$ (70)	$r = 0,95$	13,1
в среднем за годы исследований (2017-2018 гг.)	$Y_c = 2,02 + 0,09 Zn$ (71)	$r = 0,98$	3,8
	$Y_c = 1,99 + 0,34 Cu$ (72)	$r = 0,99$	5,0
в сумме за 2017-2018 гг.	$Y_c = 4,03 + 0,18 Zn$ (73)	$r = 0,98$	7,6
	$Y_c = 3,94 + 0,69 Cu$ (74)	$r = 0,99$	10,0

Каждый кг разово внесенных цинковых и медных удобрений (кг д.в./га) окупался урожаем корневищ, собранных в третий год роста и развития эхинацеи пурпурной соответственно на 0,10 и 0,48 т/га (таблица 21, уравнения 68, 70).

Использование метода обратной связи для оценки величины урожая в отношении расчетных доз цинка и меди показали, что в сумме за 2 года (2017-2018 гг.) каждый килограмм вносимого цинка в пределах оптимальной дозы (21,4 кг д.в./га) увеличивал урожайность соцветий на 0,18 т/га (таблица 21, уравнение 73), медных удобрений в пределах 9,4 кг д.в./га – на 0,69 т/га (таблица 21, уравнение 74).

Таким образом, в опыте с эхинацеей пурпурной наиболее эффективными были медные удобрения. Урожайность общей биомассы, соцветий, и корневищ была выше в варианте $Cu_{9,4}$. В сумме за три года прибавка общей биомассы относительно фона от применения оптимальных доз медных удобрений составила 14,9 т/га (или 60,3 %), а от цинковых удобрений – 5,1 т/га (или 20,7 %) (таблица 18). Такой биосинтез урожая сухого вещества эхинацеи пурпурной сформировался благодаря оптимальному уравновешенному соотношению макро- и микроэлементов в растениях данного варианта.

Как показали данные полевых опытов с микроудобрениями лекарственные растения при формировании величины биомассы урожая хорошо реагируют на внесение расчетных доз микроэлементов от низких ($Zn_{10,7}$ и $Cu_{2,3}$) до оптимальных ($Zn_{21,4}$ и $Cu_{9,4}$) (таблица 22).

Таблица 22 – Математические модели прогноза урожайности лекарственных культур при оптимизации цинкового и медного питания

Показатель	Лекарственные культуры		
	Тысячелистник	Пижма	Эхинацея
Цинковое питание			
Уравнение прогноза урожайности	$Y = 0,20 Zn + 38,64;$ $r = 0,97$ (17)	$Y = 0,38 Zn + 55,98;$ $r = 0,98$ (41)	$Y = 0,24 Zn + 24,38;$ $r = 0,98$ (63)
Коэффициент интенсивности действия «b»	0,20	0,38	0,24
Оптимальная доза, кг/га	60	60	21,4
Фактическая урожайность (суммарная), т/га	49,5	80,9	29,8
Прогнозируемая урожайность, т/га	50,6	78,8	29,5
Медное питание			
Уравнение прогноза урожайности	$Y = 1,60 Cu + 40,09;$ $r = 0,94$ (18)	$Y = 2,02 Cu + 55,27;$ $r = 0,97$ (42)	$Y = 1,65 Cu + 25,22;$ $r = 0,99$ (64)
Коэффициент интенсивности действия «b»	1,60	2,02	1,65
Оптимальная доза, кг/га	9,7	7,2	9,4
Фактическая урожайность (суммарная), т/га	53,7	71,2	39,6
Прогнозируемая урожайность, т/га	55,6	69,8	40,7

Полученные коэффициенты интенсивности действия каждого килограмма цинковых и медных удобрений на урожай (таблица 22) лекарственных культур позволяют на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири прогнозировать прибавки урожая, используя формулу (75):

$$P = D \cdot \langle\langle b \rangle\rangle \quad (75)$$

где Π – прибавка, т/га;

b – коэффициент интенсивности действия единицы внесенного микроудобрения на урожайность, т/га;

D – дозы микроудобрения, кг/га.

Для получения 1 т урожая сухого вещества тысячелистника требуется внести 5,0 кг Zn и 0,63 кг Cu, для пижмы соответственно – 2,63 Zn и 0,50 кг Cu и эхинацеи – 4,2 Zn и 0,61 кг Cu (таблица 23).

Таблица 23 – Количество внесенных в почву Zn и Cu для планирования 1 т биомассы урожая исследуемых лекарственных культур, кг д.в./га

Культура	Zn	Cu
Тысячелистник обыкновенный	5,00	0,63
Пижма обыкновенная	2,63	0,50
Эхинацея пурпурная	4,20	0,61

При внесении 9,7 кг д.в./га Cu (лучшая доза в опыте №1), 60 кг д.в./га Zn (лучшая доза в опыте №2) и 9,4 кг д.в./га Cu (лучшая доза в опыте №3) можно рассчитать какую прибавку урожая мы можем получить:

тысячелистник $\Pi \text{ т/га} = 9,7 \text{ кг} : 0,63 = 15,4 \text{ т/га}$
(фактически – 16,2 т/га);

нижма $\Pi \text{ т/га} = 60 \text{ кг} : 2,63 = 22,8 \text{ т/га}$
(фактически – 24,3 т/га);

эхинацея $\Pi \text{ т/га} = 9,4 \text{ кг} : 0,61 = 15,4 \text{ т/га}$
(фактически – 14,9 т/га).

Кроме диагностирования действия Zn и Cu на формирование величины и качества урожая наши исследования позволяют создавать гибкую систему применения макро- и микроэлементов с учетом физиологических и

биохимических основ минерального питания растений и эффективности применения удобрений, используя комплексный метод «ИСПРОД» – «удобрение – почва – растение».

Уравнения (17-18) (тысячелистник обыкновенный), (41-42) (пижма обыкновенная), (63-64) (эхинацея пурпурная) и коэффициенты интенсивности действия Zn и Cu в системе «удобрение – почва – растение» позволяют проверить достоверность прогноза урожайности при использовании оптимальных доз цинковых и медных удобрений. Подставив лучшие дозы микроудобрений в данные математические уравнения (17-18; 41-42; 63-64), получим прогнозируемую урожайность лекарственных растений, возделываемых на лугово-чернозёмной почве (таблица 24).

Путем сравнения прогнозируемых результатов с фактическими урожайными данными были определены относительная и средняя ошибки аппроксимации (\bar{A}), коэффициент детерминации (R^2) и F-критерий Фишера при уровне значимости 5%. Поскольку средняя ошибка аппроксимации меньше 15%, предлагаемые регрессионные уравнения можно использовать в прикладной агрохимии в качестве прогнозных моделей. Фактическое значение $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ (где $F_{\text{табл}}$ при уровне значимости 0,05), поэтому предлагаемые прогнозныe модели (уравнения 17-18; 41-42; 63-64) надежны. Коэффициенты детерминации статистически значимы.

Таблица 24 – Прогнозируемая урожайность лекарственных культур в зависимости от вносимых доз цинка и меди в почву

Культура	Доза удобрения, кг д.в./га		Фактическая урожайность, т/га	Уравнение прогноза	Прогнозируемая урожайность сухого вещества		$F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$	R^2	\bar{A}
					т/га	относительная ошибка аппроксимации, %			
Тысячелистник	Zn	60	49,5	$Y = 0,20 \text{ Zn} + 38,64 \text{ (17)}$	50,6	2,2	$32,8 > 10,1$	0,94	2,5
	Cu	9,7	53,7	$Y = 1,60 \text{ Cu} + 40,99 \text{ (18)}$	55,7	3,6	$23,4 > 7,7$	0,89	4,3
Пижма	Zn	60	80,9	$Y = 0,38 \text{ Zn} + 55,98 \text{ (41)}$	78,8	2,6	$41,3 > 10,1$	0,95	2,3
	Cu	7,2	71,1	$Y = 2,02 \text{ Cu} + 55,27 \text{ (42)}$	69,7	1,9	$33,3 > 10,1$	0,94	2,0
Эхинацея	Zn	21,4	29,8	$Y = 0,24 \text{ Zn} + 24,38 \text{ (63)}$	29,5	1,0	$21,6 > 18,5$	0,96	1,0
	Cu	9,4	39,6	$Y = 1,65 \text{ Cu} + 25,22 \text{ (64)}$	40,7	2,8	$139,2 > 7,7$	0,98	1,5

Применение удобрений по формулам расчета корректирующих доз Zn и Cu удобрений

В соответствии с исследованиями Ю. И. Ермохина (1983, 1995, 2014а,б,в,г), 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 76).

$$D_o \cdot X_o = D_n \cdot X_n, \quad (76)$$

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

D_n – доза удобрений в кг д.в./га, прогнозируемая в зависимости от содержания элементов питания в почве конкретного поля, мг/кг (X_n).

На основе этого предлагается корректирующая формула (77):

$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n} \quad (77)$$

Данный метод расчета 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.

Используя формулу 77, в приложении 15 представлены расчётные дозы удобрений, а также содержание элементов питания в почве до посадки и установленная оптимальная доза элементов.

Предложенные формулы для определения ориентировочных доз внесения цинка и меди под тысячелистник обыкновенный, пижму обыкновенную и эхинацею пурпурную позволяют предложить конкретные дозы микроудобрений с учетом содержания доступных элементов в почве.

Выводы

1. В результате проведённых многолетних полевых исследований было выявлено, что применение микроудобрений при возделывании лекарственных растений в условиях низкого содержания подвижных форм цинка и меди в лугово-черноземной почве является эффективным. Так, микроэлементы в системе «удобрения – лекарственные растения» значительно повышают урожайность тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной по сравнению с контролем и фоном. Наибольшая урожайность общей биомассы от применения цинковых удобрений в среднем за годы исследований отмечалась в опытах с тысячелистником и пижмой в варианте Zn_{60} , в опыте с эхинацеей пурпурной $Zn_{21,4}$ и составила, соответственно, 12,4 (таблица 10), 20,2 (таблица 14) и 9,9 (таблица 18) т/га. При выращивании тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной максимальная средняя урожайность общей биомассы от внесения в почву медных удобрений отмечалась в варианте $Cu_{9,4-9,7}$, в опыте с пижмой обыкновенной $Cu_{7,2}$ и составила соответственно 13,4 (таблица 10), 13,2 (таблица 18) и 17,8 т/га (таблица 14).

2. Установлены оптимальные дозы цинковых и медных удобрений под тысячелистник обыкновенный (60 и 9,7 кг д.в./га), пижму обыкновенную (60 и 7,2 кг д.в./га) и эхинацею пурпурную (21,4 и 9,4 кг д.в./га), которые могут быть рекомендованы для возделывания лекарственных культур в условиях южной лесостепи Западной Сибири, с целью повышения их продуктивности.

3. Дозы цинковых удобрений свыше 60 и 21,4 кг д.в./га оказывали ингибирующее действие на биомассу лекарственных растений. В опыте с пижмой обыкновенной внесение в почву меди свыше 7,2 кг д.в./га снижало урожайность растений.

4. Полученные функциональные связи между дозами микроудобрений и урожайностью лекарственных культур указывают на эффективность применения методики расчётных доз цинковых и медных удобрений.

5. Использование метода «ИСПРОД» позволило выявить нормативные агрохимические характеристики связи в системе «удобрение – урожай лекарственных растений», которые можно применять на практике при внесении в почву микроудобрений с учетом содержания подвижных форм микроэлементов в слое почвы 0-30 см и установленных расчётных оптимальных доз цинка и меди.

ГЛАВА 4. СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

В агрохимии на сегодняшний день самым распространенным экспресс методом определения потребности растений в удобрениях, наряду с полевым опытом, является почвенная диагностика. Данный метод применяется как в России, так и за рубежом, и по сравнению с полевыми опытами достаточно прост в исполнении и позволяет еще до посева или посадки выполнить прогноз потребности растений в удобрениях. С помощью данных химического анализа почвы и экспрессных методов оценки уровня содержания элементов питания можно прогнозировать эффективность применения минеральных удобрений.

Оптимальные уровни содержания элементов питания в почве и их ионное соотношение – это те параметры, которые необходимо знать для прогноза эффективности применения удобрений, получения высоких и качественных урожаев и одновременно для прогрессивного развития почв и сохранения экологического равновесия. Данные параметры зависят от типа почвы, региональных особенностей, возделываемых на этой почве культур, планируемой урожайности и интенсификации сельскохозяйственного производства (Кидин, Торшин, 2018; Прянишников, 1940; Соколов, 1965; Ягодин и др., 2002). Для их определения используют различные экспрессные методы, которые основываются на определении количества элементов питания, их связей с почвой, скоростью перехода из твердой фазы в раствор, оптимального содержания для развития растений. Знание этих характеристик необходимо для оценки возможной продолжительности выращивания культур на исследуемой почве без внесения удобрений или при внесении расчётных доз удобрений с учетом оптимальных уровней элементов в почве (Ермохин, 2014а,б,в,г).

Для того, чтобы управлять ростом и развитием лекарственных растений, удовлетворять их потребности в питательных элементах, необходимо знать наличие этих элементов в почве и потребность растений в них по фазам роста и

развития. Кроме того, нужно учитывать, в каком количестве и соотношении растения поглощают питательные вещества из почвы в отдельные периоды вегетации, достаточно ли этих веществ для растений. Исходя из этого, важной частью системы «ИСПРОД» является установление нормативных параметров почвенной диагностики.

В соответствии с этим, используя методы почвенной диагностики, а также результаты проведенных полевых опытов с удобрениями (2012-2018 гг.), в данной главе нами дана оценка содержания макро- и микроэлементов в лугово-черноземной почве при внесении расчётных доз цинковых и медных удобрений. Установлены оптимальные уровни и соотношения элементов питания в почве, необходимые для оптимизации роста и развития лекарственных культур, с учетом возможных урожаев, для конкретных зональных условий. Выявлены физиолого-агрохимические нормативные количественные характеристики потребности растений в макро- и микроэлементах.

4.1 Содержание кислоторастворимых форм цинка и меди в почве при применении микроудобрений

Концентрация ионов в почвенном растворе (водной вытяжке, в растворах слабых десорбентов) определяется в значительной степени, не только количеством подвижных фракций в твердой фазе, но и прочностью их связей с ней. Для практических целей необходимо знать, как концентрацию ионов в растворах, так и количество подвижных фракций этих ионов в твердой фазе. Последний параметр предлагается называть возобновляющей способностью почв, т.е. способностью почв поддерживать концентрацию ионов в почвенном растворе при отчуждении с урожаем (Савич и др., 2004; Сычева и др., 2004). Для нахождения этого параметра необходимо знать содержание кислоторастворимых форм микроэлементов, извлекаемых из почвы 5М HNO_3 . По данным Ю. А. Азаренко (2020), воздействие на почву 5М HNO_3 позволяет извлечь из неё прочно

связанные с минеральными и органическими компонентами микроэлементы: Zn, Co и Cu до 90 %, Mn до 70 % валового содержания. В следствии этого, используя данный способ экстракции, можно определить значительное количество прочносвязанных соединений микроэлементов, а значит по содержанию кислоторастворимых форм можно приблизительно охарактеризовать общее содержание данных элементов в почвах. Между тем, содержание кислоторастворимых форм микроэлементов в почве в зависимости от вносимых доз микроудобрений в условиях юга Западной Сибири практически не изучены.

В таблицах 25-26 рассматриваются основные закономерности распределения в лугово-черноземной почве кислоторастворимых форм ($5M\ HNO_3$) Zn и Cu при однократном внесении в почву цинковых и медных удобрений при выращивании тысячелистника обыкновенного и пижмы обыкновенной.

Таблица 25 – Содержание кислоторастворимой формы Zn в лугово-черноземной почве (год действия, 2012 г.). Опыт №1-2 ($M \pm SEM$, $n = 24$)

Вариант опыта		Содержание Zn, мг/кг	
		Тысячелистник	Пижма
Контроль		$23,5 \pm 2,83$	$24,9 \pm 2,33$
$N_{135}P_{45}K_{45}$ (фон)		$24,2 \pm 2,73$	$25,1 \pm 2,30$
Фон	Zn ₂₀	$41,1 \pm 0,29$	$43,0 \pm 0,28$
	Zn ₄₀	$46,7 \pm 0,51$	$47,9 \pm 0,99$
	Zn ₆₀	$55,2 \pm 1,74$	$50,7 \pm 1,40$
	Zn ₈₀	$68,1 \pm 3,60$	$54,6 \pm 1,96$
ОДК _{Zn}		220	

В опыте с тысячелистником содержание в слое почвы 0-30 см валового кислоторастворимого цинка варьировало от 41,1 до 68,1 мг/кг, в опыте с пижмой обыкновенной от 43,0 до 54,6 мг/кг. Внесение цинковых удобрений способствовало повышению содержания цинка в почве практически в 2 раза относительно фонового варианта. Таким образом, при внесении в почву Zn

микроудобрений отмечается высокая обеспеченность (> 40 мг/кг) почв данным элементом. Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) валового цинка в почве составляет 220 мг/кг. При этом в опытах с лекарственными культурами превышений ОДК не отмечалось ни на одном из вариантов (таблица 25).

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 78-79), указывающие на то, что внесение 1 кг д.в. Zn/га приводит к повышению в почве под лекарственными растениями кислоторастворимого цинка на 0,49 (тысячелистник, $r = 0,97$) и 0,41 (пижма, $r = 0,92$) мг/кг.

$$\text{тысячелистник: } Y_{Zn} = 0,49 x + 27,0; \quad r = 0,97 \quad (78)$$

$$\text{пижма: } Y_{Zn} = 0,41 x + 29,4; \quad r = 0,92 \quad (79)$$

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) (таблица 26). ОДК валовой меди в почве составляет 132 мг/кг и в исследуемых вариантах опыта превышения не отмечалось.

Таблица 26 – Содержание кислоторастворимой формы Cu в лугово-черноземной почве (год действия, 2012 г.). Опыт №1-2 ($M \pm SEM$, $n = 24$)

Вариант опыта		Содержание Cu, мг/кг	
		Тысячелистник	Пижма
Контроль		$7,9 \pm 0,57$	$8,6 \pm 0,49$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (фон)		$8,1 \pm 0,54$	$8,9 \pm 0,45$
Фон	Cu _{2,4}	$13,4 \pm 0,21$	$12,1 \pm 0,01$
	Cu _{4,9}	$13,8 \pm 0,28$	$13,4 \pm 0,20$
	Cu _{7,2}	$13,9 \pm 0,29$	$14,4 \pm 0,35$
	Cu _{9,7}	$14,2 \pm 0,33$	$14,6 \pm 0,38$
ОДК _{Cu}		132	

Математические уравнения связи (80-81) 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, $r = 0,77$) и 0,74 (пижма, $r = 0,96$) мг/кг.

$$\text{тысячелистник: } Y_{Cu} = 0,52 x + 10,16; \quad r = 0,77 \quad (80)$$

$$\text{пижма: } Y_{Cu} = 0,74 x + 9,54; \quad r = 0,96 \quad (81)$$

По данным Ю. А. Азаренко (2018) среднее содержание кислоторастворимых форм цинка в лугово-черноземных почвах лесостепной и степной зон Омской области варьирует от 20,1 до 69,4 мг/кг, меди от 5,4 до 25,4 мг/кг и приближается к их среднему валовому содержанию в черноземных почвах юга Западной Сибири, которое для меди составляет 17,0-25,3 мг/кг, для цинка находится в районе 45 мг/кг (Гамзиков, 1967; Даербаяев, 1970; Ильин, 1991; Орлова, 1968). Таким образом, полученные нами данные укладываются в эти значения.

Анализ данных таблиц 25-26 и уравнений 78-81 позволяет сделать вывод о том, что для увеличения содержания кислоторастворимых форм Zn и Cu на 1 мг/кг требуется внести в почву соответственно цинка 2,0-2,4 и меди 1,4-1,9 кг/га. Установленные коэффициенты интенсивности действия (« b_{Zn} » и « b_{Cu} ») единицы поступивших в почву микроудобрений на химизм лугово-черноземной почвы позволяют произвести оценку концентраций кислоторастворимых форм цинка и меди в почве, т.е. возобновляющую способность почв, используя формулу 82:

$$C = C_n + D \cdot b \quad (82)$$

где: C и C_n – содержание кислоторастворимых форм цинка и меди до (C_n) и после внесения (C) микроэлементов в почву, мг/кг;

D – доза внесенного микроэлемента, кг/га;

b – коэффициент интенсивности действия цинка и меди, мг/кг.

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.

Закономерности распределения микроэлементов по профилю лугово-черноземной почвы в контрольном варианте парующих делянок (без растений) представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Содержание и распределение подвижных форм цинка и меди (1н ААБ рН 4,8) по профилю лугово-черноземной почвы (парующие делянки, контрольный вариант), 2013 г. ($M \pm SEM$, $n = 20$)

Слой почвы, см	Содержание, мг/кг	
	Zn	Cu
0-20	$0,78 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,003$
20-40	$0,60 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,008$
40-60	$0,78 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,006$
60-80	$1,52 \pm 0,10$	$0,17 \pm 0,008$
80-100	$0,81 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,009$

Содержание подвижных форм цинка ($Zn_{\text{п}}$) заметно изменяется по профилю почвы. В верхних гумусовых горизонтах его концентрация варьировала в пределах от 0,60 до 0,78 мг/кг. В средней части профиля (40-80 см) отмечается увеличение концентрации цинка до 0,78-1,52 мг/кг. Далее при продвижении к почвообразующей породе (80-100 см) содержание $Zn_{\text{п}}$ заметно снижается, практически в 2 раза, до 0,81 мг/кг (таблица 27, рисунок 13). Как отмечает Ю. А. Азаренко (2020), распределение подвижного цинка по профилю почв в определенной степени зависит от содержания фракций ила и физической глины.

Увеличение концентрации цинка происходит в горизонтах с более тяжелым гранулометрическим составом.

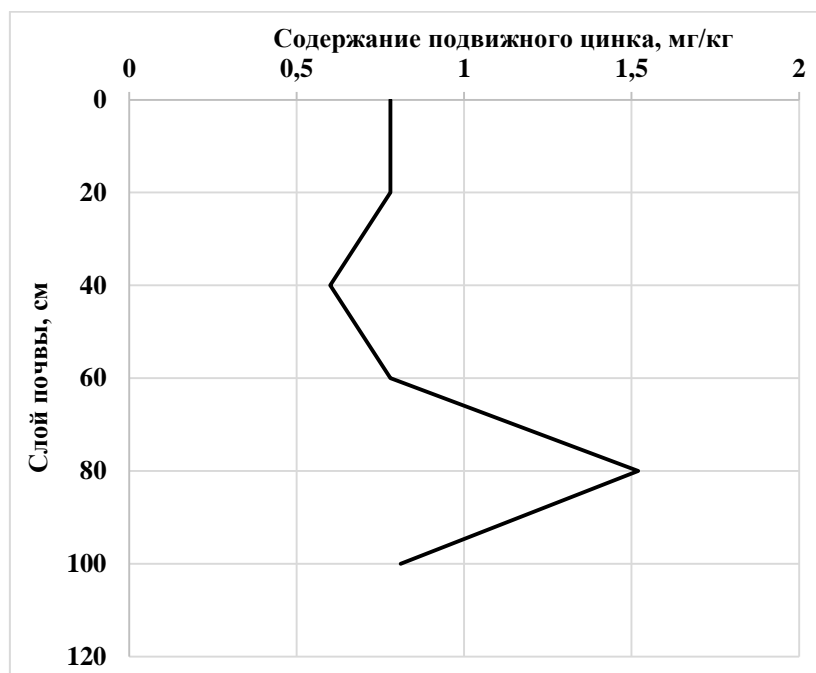


Рисунок 13 – Распределение подвижного цинка по профилю лугово-черноземной почвы

Содержание подвижной меди ($Cu_{п}$) с глубиной варьирует от 0,07 до 0,18 мг/кг (таблица 27, рисунок 14). В средней части профиля (20-60 см) её содержание снижается на 70-80 % по сравнению с пахотным слоем. В более нижних горизонтах (Ск) отмечается заметное увеличение меди (0,17-0,18 мг/кг). Таким образом, более высокие концентрации меди отмечаются в карбонатных горизонтах по сравнению с гумусовыми горизонтами. Такая динамика возможно связана с образованием труднорастворимых карбонатов меди и усилением в щелочной среде адсорбции микроэлемента глинистыми минералами и органическим веществом, на что указывает в своих исследованиях Ю. А. Азаренко (2020). При воздействии на почву ацетатно-аммонийного буфера происходит высвобождение меди, находящейся в составе карбонатов.

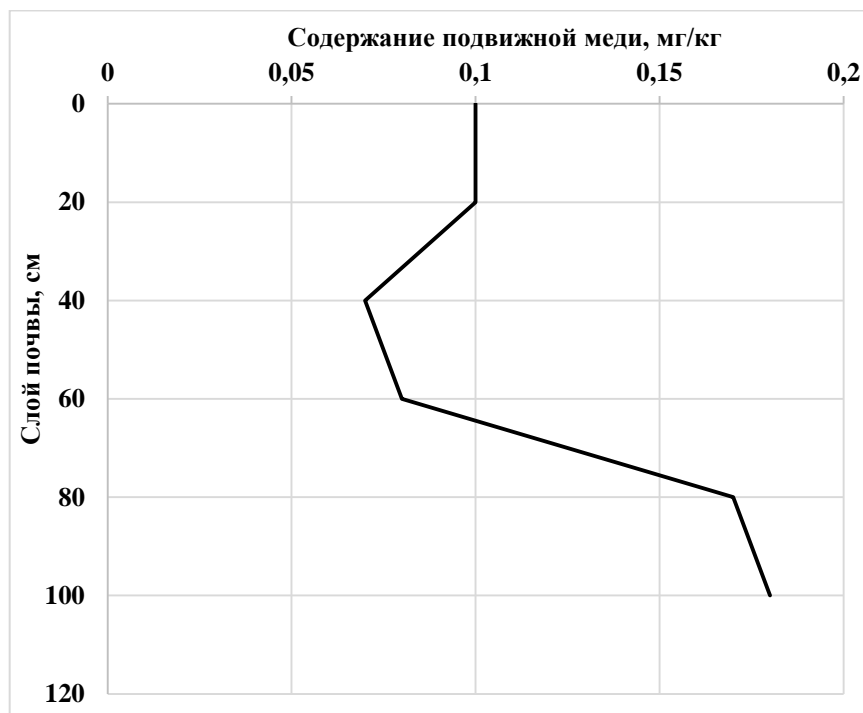


Рисунок 14 – Распределение подвижной меди по профилю лугово-черноземной почвы

Кроме этого, на парующих делянках (без растений) было определено содержание подвижных форм цинка и меди в почве в зависимости от вносимых доз микроудобрений (0,25-1,0 ПДК). Материалы исследований показали, что при внесении Zn в почву (в дозах 20-80 кг/га) содержание подвижного цинка закономерно повышалось от 6,55 до 10,90 мг/кг, при фоновом содержании 0,81 мг/кг (таблица 28). Внесение каждого кг д.в. Zn/га увеличивало содержание $Zn_{п}$ в почве на 0,12 мг/кг ($r = 0,94$) (таблица 29, уравнение 83). Содержание $Cu_{п}$ увеличилось до варианта Zn_{40} – 0,24 мг/кг (таблица 28), затем отмечается снижение на 38-42 % ($\eta = 0,74$) (таблица 29, уравнение 84).

Внесение медных удобрений способствовало повышению подвижной меди в лугово-черноземной почве (таблица 28). Содержание $Cu_{п}$ в почве в вариантах 0,25-1,0 ПДК Cu (2,4-9,7 кг д.в./га) изменялось от 0,10 до 0,31 мг/кг (Жаркова и др., 2020г). Каждый кг Cu удобрений повышал содержание меди в почве на 0,02 мг/кг, $r = 0,92$ (таблица 29, уравнение 85). Кроме этого, отмечается синергизм между $Cu \rightarrow Zn$. Внесение ацетата меди в почву (4,9-9,7 кг д.в./га) повышало

содержание подвижного цинка на 21,0-63,0 % по сравнению с фоном (0,98-1,32 мг/кг) (таблица 28). Один кг внесенной Cu увеличивал содержание $Zn_{п}$ на 0,06 мг/кг, $r = 0,97$ (таблица 29, уравнение 86).

Таблица 28 – Содержание подвижных форм цинка и меди в слое 0-30 см лугово-чернозёмной почвы (парующие делянки, без растений) ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант (количество внесенных удобрений)	Содержание микроэлемента, мг/кг							
	Zn	изменение относительно фона		«b»	Cu	изменение относительно фона		«b»
		мг/кг	%			мг/кг	%	
Без удобрений	$0,73 \pm 0,38$	-	-	-	$0,12 \pm 0,007$	-	-	-
Фон	$0,81 \pm 0,37$	-	-	-	$0,13 \pm 0,005$	-	-	-
0,25 ПДК Zn (20 кг/га)	$6,55 \pm 0,28$	5,74	708,6	0,29	$0,19 \pm 0,001$	0,06	46,2	0,003
0,50 ПДК Zn (40 кг/га)	$8,06 \pm 0,44$	7,25	895,1	0,18	$0,24 \pm 0,007$	0,11	84,6	0,003
0,75 ПДК Zn (60 кг/га)	$9,50 \pm 0,61$	8,69	1072,8	0,15	$0,14 \pm 0,004$	0,01	7,7	0,0002
1,0 ПДК Zn (80 кг/га)	$10,90 \pm 0,76$	10,09	1245,7	0,13	$0,15 \pm 0,003$	0,02	15,4	0,0003
0,25 ПДК Cu (2,4 кг/га)	$0,81 \pm 0,37$	-	-	-	$0,10 \pm 0,009$	-0,03	-	-
0,50 ПДК Cu (4,9 кг/га)	$0,98 \pm 0,35$	0,17	21,0	0,04	$0,16 \pm 0,002$	0,03	23,1	0,006
0,75 ПДК Cu (7,2 кг/га)	$1,19 \pm 0,32$	0,38	46,9	0,05	$0,25 \pm 0,008$	0,12	92,3	0,02
1,0 ПДК Cu (9,7 кг/га)	$1,32 \pm 0,31$	0,51	63,0	0,05	$0,31 \pm 0,015$	0,18	138,5	0,005

Таблица 29 – Взаимосвязи между дозами вносимых микроудобрений и содержанием микроэлементов в почве на парующих делянках

Год	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b», мг/кг	Коэффициент корреляции (r, η)
Парующие делянки (без растений)			
год действия (2013 г.)	$Y_{Zn} = 0,12 Z_n + 2,54$	(83)	$r = 0,94$
	$Y_{Cu} = -4E-05 Z_n^2 + 0,004 Z_n + 0,14$	(84)	$\eta = 0,74$
	$Y_{Cu} = 0,02 C_u + 0,09$	(85)	$r = 0,92$
	$Y_{Zn} = 0,06 C_u + 0,74$	(86)	$r = 0,97$

В таблице 30 (Приложение 16) представлены многолетние данные содержания подвижных форм микроэлементов в почве в полевом опыте с **тысячелистником обыкновенным**.

Таблица 30 – Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве под тысячелистником обыкновенным в фазу отрастания, средние данные за 2012-2015 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Цинк, мг/кг	« b_{Zn} »	Медь, мг/кг	« b_{Cu} »
Контроль		$1,1 \pm 0,07$	-	$0,09 \pm 0,004$	-
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$1,2 \pm 0,06$	-	$0,11 \pm 0,001$	-
Фон	Zn ₂₀	$1,3 \pm 0,04$	0,005	$0,11 \pm 0,001$	-
	Zn ₄₀	$1,9 \pm 0,02^{*''}$	0,02	$0,12 \pm 0,0003$	0,0003
	Zn₆₀	$2,5 \pm 0,09^{*''}$	0,02	$0,14 \pm 0,002^{*''}$	0,0005
	Zn ₈₀	$2,8 \pm 0,12^{*''}$	0,02	$0,10 \pm 0,003$	-
	Cu _{2,4}	$1,2 \pm 0,06$	-	$0,12 \pm 0,0003$	0,004
	Cu _{4,9}	$1,4 \pm 0,03$	0,04	$0,13 \pm 0,001^{''}$	0,004
	Cu _{7,2}	$1,6 \pm 0,01^{*''}$	0,06	$0,14 \pm 0,002^{*''}$	0,004
Cu_{9,7}		$2,0 \pm 0,03^{*''}$	0,08	$0,17 \pm 0,005^{*''}$	0,006
ПДК		23	-	3	-

Примечание: * – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$; '' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

В среднем за годы исследований при внесении расчетных доз цинковых удобрений (от 20 до 60 кг д.в. Zn/га) содержание подвижного цинка в почве под растениями тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания повышалось с 1,3 до 2,5 мг/кг, подвижной меди – с 0,11 до 0,14 мг/кг почвы. Содержание подвижных форм цинка и меди в почве увеличивалось прямо пропорционально вносимым дозам медных удобрений. Так, дозы меди от 2,4 до 9,7 кг д.в./га в среднем за 2012-2015 гг. повышали содержание Cu с 0,12 до 0,17 мг/кг, Zn – с 1,2 до 2,0 мг/кг. ПДК цинка и меди при внесении микроудобрений в почву не была превышена (таблица 30).

Математическая обработка полученных многолетних данных 2012-2015 гг. в опыте с тысячелистником обыкновенным (Приложение 16) позволила получить уравнения зависимости содержания подвижного цинка (Y_{Zn}) и меди (Y_{Cu}) в слое

почвы 0-30 см от доз вносимых ацетатных форм цинковых и медных удобрений по годам проводимых исследований (таблица 31, уравнения 87-98).

Таблица 31 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений и содержанием подвижных форм цинка и меди в почве под растениями тысячелистника обыкновенного

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b», мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2012 г.)	$Y_{Zn1} = 0,01 Zn + 0,97$ (87)	0,01	r = 0,95
	$Y_{Cu1} = 0,003 Cu + 0,10$ (88)	0,003	r = 0,97
2-й (2013 г.)	$Y_{Zn2} = 0,03 Zn + 0,96$ (89)	0,03	r = 0,88
	$Y_{Cu2} = 0,006 Cu + 0,11$ (90)	0,006	r = 0,96
3-й (2014 г.)	$Y_{Zn3} = 0,04 Zn + 0,71$ (91)	0,04	r = 0,94
	$Y_{Cu3} = 0,006 Cu + 0,12$ (92)	0,006	r = 0,98
4-й (2015 г.)	$Y_{Zn4} = 0,02 Zn + 1,74$ (93)	0,02	r = 0,99
	$Y_{Cu4} = 0,004 Cu + 0,10$ (94)	0,004	r = 0,95
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{Zn} = 0,02 Zn + 1,05$ (95)	0,02	r = 0,96
	$Y_{Cu} = 0,006 Cu + 0,11$ (96)	0,006	r = 0,96
	$Y_{Cu} = 0,001 Zn + 0,11$ (97)	0,001	r = 0,91
	$Y_{Zn} = 0,08 Cu + 1,08$ (98)	0,08	r = 0,95

В 2012 году при внесении каждого кг цинковых удобрений в дозах 20, 40, 60 кг д.в./га на фоне NPK коэффициент интенсивности действия цинковых удобрений («b») на содержание Zn в слое почвы 0-30 см составил 0,01 мг/кг (таблица 31, уравнение 87). Для повышения содержания подвижного цинка на 1 мг/кг почвы требуется внести 100 кг ($1 / 0,01$) Zn удобрений (r = 0,95). Каждый килограмм медных удобрений, внесенных до оптимальных доз (9,7 кг д.в./га) повышал содержание подвижной меди в почве на 0,003 мг/кг, r = 0,97 (таблица 31, уравнение 88).

В последующие годы (2013-2015 гг.) коэффициенты интенсивности последствия Zn удобрений («b») на содержание цинка в почве составили: 2013 г. – 0,03 (r = 0,88, уравнение 89), 2014 г. – 0,04 (r = 0,94, уравнение 91), 2015 г. – 0,02 (r = 0,99) мг/кг (уравнения 93). Отсюда можно сделать вывод о том, что для повышения содержания цинка на 1 мг/кг почвы в среднем за годы последствия

требуется внести 33,3 (1 / 0,03) кг Zn удобрений, что указывает на повышение коэффициента «*b*» интенсивности действия внесенных доз удобрений на лугово-черноземную почву в годы последствий. Коэффициент интенсивности последствий медных удобрений «*b*» составил в 2013-2014 гг. – 0,006 (таблица 31, уравнения 90, 92), в 2015 – 0,004 мг/кг (таблица 31, уравнение 94).

Таким образом, из уравнений (87-98) следует, что влияние цинковых и медных удобрений на химический состав почвы зависит от года жизни культуры.

В среднем за годы исследований в опыте с тысячелистником обыкновенным разовое внесение каждого килограмма цинковых удобрений повышает содержание в почве (в пределах оптимальной дозы) Zn на 0,02, Cu на 0,001 мг/кг (таблица 31, уравнения 95, 97), а внесение медных удобрений увеличивает содержание Cu – 0,006, Zn – 0,08 мг/кг почвы (таблица 31, уравнение 96, 98). Установлено, что коэффициенты интенсивности действия микроудобрений на химический состав почвы («*b*»), при возделывании тысячелистника, в течение первых трех лет жизни культуры как по цинку, так и по меди соответственно увеличивались 0,01 → 0,03 → 0,04 мг/кг и 0,003 → 0,006 → 0,006 мг/кг, что связано с растворимостью микроэлементов в годы последствий.

В таблице 32 (Приложение 17) представлены средние данные за 2012-2015 гг. содержания подвижных форм цинка и меди в лугово-черноземной почве под растениями **пижмы обыкновенной** в фазу отрастания.

При однократном внесении в почву цинковых и медных удобрений содержание подвижных форм цинка и меди повышалось в зависимости от года роста и развития пижмы обыкновенной (Приложение 17). В среднем за 2012-2015 гг. в вариантах с внесением цинковых удобрений в пределах оптимальной дозы 60 кг д.в./га содержание цинка изменялось от 1,7 до 8,5 мг/кг, меди – от 0,15 до 0,20 мг/кг. Медные удобрения в дозах 2,4-7,2 кг д.в./га повышали концентрацию меди в почве на 30,8-61,5 %, цинка на 81,8-245,5 % по сравнению с фоном. Содержание подвижных форм цинка и меди в почве под растениями пижмы обыкновенной не превышало установленной ПДК для этих элементов (таблица 32).

Таблица 32 – Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве под пижмой обыкновенной в фазу отрастания, средние данные за 2012-2015 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Цинк, мг/кг	« b_{Zn} »	Медь, мг/кг	« b_{Cu} »
Контроль		$1,0 \pm 0,34$	-	$0,10 \pm 0,007$	-
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$1,1 \pm 0,33$	-	$0,13 \pm 0,005$	-
Фон	Zn ₂₀	$1,7 \pm 0,26^{*''}$	0,03	$0,15 \pm 0,002^{*}$	0,001
	Zn ₄₀	$6,2 \pm 0,24^{*''}$	0,12	$0,17 \pm 0,0001^{*''}$	0,001
	Zn₆₀	$8,5 \pm 0,50^{*''}$	0,12	$0,20 \pm 0,003^{*''}$	0,001
	Zn ₈₀	$9,7 \pm 0,63^{*''}$	0,11	$0,17 \pm 0,0001^{*''}$	0,001
	Cu _{2,4}	$2,0 \pm 0,23^{*''}$	0,38	$0,17 \pm 0,0001^{*''}$	0,02
	Cu _{4,9}	$2,2 \pm 0,21^{*''}$	0,22	$0,18 \pm 0,001^{*''}$	0,01
	Cu_{7,2}	$3,8 \pm 0,03^{*''}$	0,38	$0,21 \pm 0,004^{*''}$	0,01
	Cu _{9,7}	$4,2 \pm 0,02^{*''}$	0,32	$0,23 \pm 0,006^{*''}$	0,01
ПДК		23	-	3	-

Примечание: * – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$; '' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

В таблице 33 показаны связи между дозами микроудобрений и содержанием цинка и меди в почве под растениями пижмы обыкновенной в виде уравнений регрессии (99-110) и коэффициентов корреляции ($r = 0,87-0,99$).

Таблица 33 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений и содержанием подвижных форм цинка и меди в почве под растениями пижмы обыкновенной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2012 г.)	$Y_{Zn1} = 0,001 Zn + 0,71$ (99)	0,001	$r = 0,99$
	$Y_{Cu1} = 0,006 Cu + 0,10$ (100)	0,006	$r = 0,99$
2-й (2013 г.)	$Y_{Zn2} = 0,07 Zn + 0,32$ (101)	0,07	$r = 0,90$
	$Y_{Cu2} = 0,012 Cu + 0,13$ (102)	0,012	$r = 0,97$
3-й (2014 г.)	$Y_{Zn3} = 0,14 Zn + 0,24$ (103)	0,14	$r = 0,95$
	$Y_{Cu3} = 0,015 Cu + 0,19$ (104)	0,015	$r = 0,97$
4-й (2015 г.)	$Y_{Zn4} = 0,32 Zn + 0,17$ (105)	0,32	$r = 0,96$
	$Y_{Cu4} = 0,006 Cu + 0,13$ (106)	0,006	$r = 0,87$
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{Zn} = 0,13 Zn + 0,37$ (107)	0,13	$r = 0,97$
	$Y_{Cu} = 0,01 Cu + 0,14$ (108)	0,01	$r = 0,99$
	$Y_{Cu} = 0,001 Zn + 0,13$ (109)	0,001	$r = 0,99$
	$Y_{Zn} = 0,34 Cu + 1,03$ (110)	0,34	$r = 0,95$

По годам проводимых исследований коэффициенты интенсивности действия цинковых удобрений ($\langle b_{Zn} \rangle$) закономерно повышаются: $0,001 \rightarrow 0,07 \rightarrow 0,14 \rightarrow 0,32$ мг/кг (уравнения 99, 101, 103, 105). В среднем за 2012-2015 гг. 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 (таблица 33, уравнение 107).

В годы действия и последствий внесенных медных удобрений в лугово-черноземную почву коэффициенты интенсивности действия каждого килограмма меди ($\langle b_{Cu} \rangle$) характеризовались низкими величинами. Так, в 2012 г. $\langle b_{Cu} \rangle$ был равен 0,006 мг/кг, в последующие годы (2013-2015 гг.) варьировал в пределах 0,006-0,015 мг/кг (таблица 33, уравнения 100, 102, 104, 106). Исходя из этих нормативов в среднем за годы исследований 1 мг подвижной меди на кг почвы эквивалентно 100 кг медных удобрений (таблица 33, уравнение 108).

Согласно уравнениям (107, 109), оптимальный уровень содержания подвижных форм цинка и меди в лугово-черноземной почве соответствует оптимальному прогнозу питания Zn – 8,2 мг/кг и Cu – 0,14 мг/кг (фактически в почве Zn – 8,5, Cu – 0,20 мг/кг).

В таблице 34 (Приложение 18) представлены экспериментальные данные содержания $Zn_{п}$ и $Cu_{п}$ в лугово-черноземной почве в опыте с **эхинацеей пурпурной**.

Содержание подвижных форм цинка в почве при выращивании эхинацеи пурпурной мало зависело от года использования культуры (Приложение 18). Внесение расчетных доз цинка от 10,7 до 42,8 кг д.в./га способствовало увеличению содержания $Zn_{п}$ в почве в среднем за годы исследований с 6,2 до 12,4 мг/кг, при этом превышения ПДК_{Zn} (23 мг/кг) не отмечалось (таблица 34).

Таблица 34 – Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве при выращивании эхинацеи пурпурной в фазу отрастания, средние данные за 2016-2018 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Цинк, мг/кг	« b_{Zn} »	Медь, мг/кг	« b_{Cu} »
Контроль		$1,6 \pm 0,54$	-	$0,13 \pm 0,02$	-
N ₁₂₅ (Фон)		$1,5 \pm 0,55$	-	$0,25 \pm 0,005$	-
Фон	Zn _{10,7}	$6,2 \pm 0,05^{**}$	0,44	$0,32 \pm 0,003^{**}$	0,007
	Zn_{21,4}	$7,4 \pm 0,21^{**}$	0,28	$0,35 \pm 0,007^{**}$	0,005
	Zn _{32,4}	$9,4 \pm 0,47^{**}$	0,24	$0,30 \pm 0,0006^{**}$	0,002
	Zn _{42,8}	$12,4 \pm 0,85^{**}$	0,25	$0,30 \pm 0,001^{**}$	0,001
	Cu _{2,3}	$3,1 \pm 0,35^{**}$	0,70	$0,25 \pm 0,005$	-
	Cu _{4,7}	$4,1 \pm 0,22^{**}$	0,55	$0,29 \pm 0,0002^{**}$	0,009
	Cu _{7,0}	$5,3 \pm 0,06^{**}$	0,54	$0,34 \pm 0,005^{**}$	0,012
	Cu_{9,4}	$6,8 \pm 0,13^{**}$	0,56	$0,41 \pm 0,015^{**}$	0,02
ПДК		23	-	3	-

Примечание: * – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;
 ** – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Один кг Zn удобрений увеличивал концентрацию цинка в почвенном растворе в среднем за период исследований (2016-2018 гг.) на 0,28 мг/кг (таблица 35, уравнение 123).

Таблица 35 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений и содержанием подвижных форм цинка и меди в почве под растениями эхинацеи пурпурной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии		Коэффициент интенсивности действия « b »	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2016 г.)	$Y_{Zn1} = 0,24 Zn + 2,13$	(111)	0,24	$r = 0,96$
	$Y_{Cu1} = 0,008 Cu + 0,09$	(112)	0,008	$r = 0,76$
	$Y_{Zn1} = 0,58 Cu + 1,55$	(113)	0,58	$r = 0,99$
	$Y_{Cu1} = 0,002 Zn + 0,12$	(114)	0,002	$r = 0,99$
2-й (2017 г.)	$Y_{Zn2} = 0,39 Zn + 2,55$	(115)	0,39	$r = 0,92$
	$Y_{Cu2} = 0,02 Cu + 0,12$	(116)	0,02	$r = 0,94$
	$Y_{Zn2} = 0,68 Cu + 1,57$	(117)	0,68	$r = 0,99$
	$Y_{Cu2} = 0,009 Zn + 0,16$	(118)	0,009	$r = 0,93$
3-й (2018 г.)	$Y_{Zn3} = 0,19 Zn + 1,43$	(119)	0,19	$r = 0,96$
	$Y_{Cu3} = 0,02 Cu + 0,48$	(120)	0,02	$r = 0,98$
	$Y_{Zn3} = 0,40 Cu + 1,55$	(121)	0,40	$r = 0,97$
	$Y_{Cu3} = 0,002 Zn + 0,50$	(122)	0,002	$r = 0,99$
средние данные (2016-2018 гг.)	$Y_{Zn} = 0,28 Zn + 2,08$	(123)	0,28	$r = 0,95$
	$Y_{Cu} = 0,02 Cu + 0,23$	(124)	0,02	$r = 0,96$
	$Y_{Cu} = 0,005 Zn + 0,26$	(125)	0,005	$r = 0,97$
	$Y_{Zn} = 0,54 Cu + 1,61$	(126)	0,54	$r = 0,99$

Содержание подвижной меди в почве в опыте с эхинацеей пурпурной при внесении медных удобрений было заметно выше, чем в опытах с тысячелистником и пижмой. В среднем за три года (2016-2018 гг.) дозы Cu (2,3...9,4 кг д.в./га) увеличивали концентрацию меди в пахотном слое почвы с 0,25 до 0,41 мг/кг (таблица 34), т.е. 1 кг медьсодержащих удобрений повышал содержание Cu в почве на 0,02 мг/кг (таблица 35, уравнение 124).

В годы последействия (2017-2018 гг.) значения коэффициентов интенсивности действия медных удобрений на содержание Cu в почве при возделывании эхинацеи пурпурной заметно повысились, по сравнению с годом действия ($\uparrow 150\%$) (таблица 35, уравнения 112, 116, 120).

Поступившие в почву макро- и микроудобрения способны влиять на мобильность и ряда других элементов в почве (Ермаков, 2016; Ермохин, Красницкий, 2019; Ермохин, Синдирева, 2011; Ильин, Сысо, 2001), поэтому на основе экспериментальных данных (таблицы 30, 32, 34) были получены не только прямые, но и обратные связи между $Zn \leftrightarrow Cu$. Было выявлено, что медные удобрения в большей степени повышали содержание подвижного цинка в почве, в сравнении с цинковыми. 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, таблица 31, уравнение 98), 0,34 (пижма, таблица 33, уравнение 110), 0,54 (эхинацея, таблица 35, уравнение 126). Цинковые удобрения в меньшей степени повышали содержание меди в почве – 0,001 (тысячелистник, пижма) и 0,005 (эхинацея) мг/кг (таблица 31, уравнение 97; таблица 33, уравнение 109; таблица 35, уравнение 125). Говоря о взаимосвязях между дозами микроудобрений и содержанием цинка и меди в почве под растениями эхинацеи пурпурной следует отметить, что коэффициенты « $b_{Cu \rightarrow Zn}$ » внесенных медных удобрений на концентрацию цинка и « $b_{Zn \rightarrow Cu}$ » цинковых удобрений на содержание меди зависели от года жизни культуры, повышаясь ко 2 году и снижаясь к 3 году жизни (таблица 35, уравнения 113-114, 117-118, 121-122). Из вышесказанного следует, что медные удобрения

повышают не только содержание меди в почве, но и цинка. Это позволяет сделать вывод о наличии синергизма между $\text{Cu} \rightarrow \text{Zn}$ и тем самым снизить антропогенную нагрузку на почву и растения при внесении микроудобрений.

Положительное влияние медных удобрений на содержание цинка было отмечено и в работе В. К. Кукушкина (1988), который указывает, что при внесении в почву меди увеличивается количество обменного цинка на 70 % и на 50 % доступного. Автор объясняет этот факт, вытеснением цинка из труднодоступных форм и частично из органических и переходом его в подвижные формы. Медь, обладая большей энергией связи с коллоидной фазой почвы, проявляет конкурирующее действие по отношению к сорбции цинка, вследствие чего повышается содержание подвижных форм цинка в почве примерно на 30 %. К подобному выводу пришли и другие исследователи В. Kim, М. В. McBride (2009), Д. В. Ладонин (1997), Л. К. Садовникова, Д. В. Ладонин, (2000), А. П. Самохин (2003), которые пишут, что высокие концентрации меди сильно ингибируют адсорбцию цинка на частицах почвы, что приводит к тому, что Zn легко извлекается и становится доступным.

Н. В. Калентьева, М. С. Панин (2011) отмечают, что медное загрязнение светло-каштановой почвы способствовало перераспределению исходного содержания всех форм цинка. При этом значительно всего увеличилось содержание водорастворимой и обменных форм цинка (в сравнении с вариантом без внесения удобрений), являющихся наиболее подвижными.

А. П. Самохин (2003) в своих исследованиях пришел к выводу, что цинк и медь наиболее интенсивно поглощаются почвой в присутствии ацетат-ионов, причем цинк сорбируется по типу неограниченной сорбции. Основными причинами значительного поглощения микроэлементов в виде ацетатов, выступают механизмы специфической сорбции: связывание образовавшихся в растворе гидролизированных катионов с меньшим зарядом, чем исходные; прямого связывания металла органическим лигандом, адсорбированного поверхностью;

образования смешенного комплекса с участием адсорбционного лиганда и соседней функциональной группы поверхности.

Таким образом, закономерности поглощения цинка и меди во многом определяются силой сродства металлов к поверхности ППК и конкурентными взаимоотношениями элементов в растворе.

Исследования, проведенные в 2012-2018 гг. дали возможность получить математические уравнения (87-126), отображающие зависимость содержания цинка и меди в почве от доз применяемых микроудобрений. Эти уравнения позволяют связать конечный результат (накопление микроэлементов в почве) с действующими величинами (дозами применяемых микроудобрений). Выявленные в ходе исследований нормативные количественные показатели «*b*» (мг/кг) интенсивности действия единицы поступившего в почву микроэлемента позволяют произвести ориентировочный прогноз накопления цинка и меди в лугово-черноземной почве при внесении микроудобрений, используя формулу (127):

$$C_{onm} = D \cdot «b» + C_n; \quad (127)$$

где C_n и C_{onm} – содержание микроэлемента в почве до (C_n) и после применения удобрений (C_{onm}), мг/кг почвы;

D – оптимальная доза внесения микроэлемента, кг/га;

«*b*» – коэффициент интенсивности действия, мг/кг почвы.

Подставив в формулу (127) лучшие дозы цинка (60, 60 и 21,4 кг д.в./га) и меди (9,7, 7,2, 9,4 кг д.в./га) для конкретных лекарственных культур, получим оптимальные уровни содержания микроэлементов в системе «почва – растение» (таблица 36).

Таблица 36 – Оптимальные уровни содержания микроэлементов в лугово-черноземной почве для изучаемых лекарственных растений

Год жизни растений	Оптимальная доза, кг д.в./га	Коэффициент интенсивности действия «b»	C _н , мг/кг	Прогнозирование C _{опт} , мг/кг	Фактическое содержание микроэлементов, мг/кг	Ошибка, %
Тысячелистник обыкновенный						
1-й год (2012 г.)	Zn ₆₀	0,01	1,01	1,61	1,6	-
	Cu _{9,7}	0,003	0,10	0,13	0,13	-
2-й год (2013 г.)	Zn ₆₀	0,03	1,25	3,1	2,8	10,7
	Cu _{9,7}	0,006	0,11	0,17	0,17	-
3-й год (2014 г.)	Zn ₆₀	0,04	0,99	3,4	3,1	9,7
	Cu _{9,7}	0,006	0,12	0,18	0,18	-
4-й год (2015 г.)	Zn ₆₀	0,02	1,70	2,9	2,7	7,4
	Cu _{9,7}	0,004	0,11	0,15	0,15	-
в среднем за 2012-2015 гг.	Zn ₆₀	0,02	1,24	2,4	2,5	-4,0
	Cu _{9,7}	0,005	0,11	0,16	0,17	-5,9
Пижма обыкновенная						
1-й год (2012 г.)	Zn ₆₀	0,001	0,71	0,77	0,79	-2,5
	Cu _{7,2}	0,006	0,10	0,14	0,14	-
2-й год (2013 г.)	Zn ₆₀	0,06	0,87	4,5	5,0	-10,0
	Cu _{7,2}	0,012	0,12	0,21	0,21	-
3-й год (2014 г.)	Zn ₆₀	0,14	0,99	9,4	8,8	6,8
	Cu _{7,2}	0,015	0,18	0,29	0,29	-
4-й год (2015 г.)	Zn ₆₀	0,32	1,66	20,9	19,2	8,9
	Cu _{7,2}	0,006	0,13	0,17	0,18	-5,6
в среднем за 2012-2015 гг.	Zn ₆₀	0,13	1,06	8,9	8,5	4,7
	Cu _{7,2}	0,01	0,13	0,20	0,21	-4,8
Эхинацея пурпурная						
1-й год (2016 г.)	Zn _{21,4}	0,24	1,70	6,84	6,9	-1,4
	Cu _{9,4}	0,008	0,12	0,20	0,19	5,3
2-й год (2017 г.)	Zn _{21,4}	0,39	1,56	9,9	9,9	-
	Cu _{9,4}	0,02	0,14	0,33	0,35	-5,7
3-й год (2018 г.)	Zn _{21,4}	0,19	1,10	5,2	5,3	-1,9
	Cu _{9,4}	0,02	0,50	0,69	0,70	-1,4
в среднем 2016-2018 гг.	Zn _{21,4}	0,28	1,45	7,4	7,4	-
	Cu _{9,4}	0,02	0,25	0,44	0,41	7,3

Для диагностирования микроэлементного питания многолетних лекарственных культур и в дальнейшем расчёта доз применяемых микроудобрений наибольший интерес представляют уравнения 87-88 (таблица 31), 99-100 (таблица 33), 111-112 (таблица 35). Полученные на основе данных

уравнений нормативные количественные характеристики (« b_{Zn} » – 0,01, 0,001, 0,24 мг/кг; « b_{Cu} » – 0,003, 0,006, 0,008 мг/кг) и установленные оптимальные параметры (C_{opt}) Zn и Cu в слое почвы 0-30 см (таблица 36) дают возможность рассчитать дозы удобрений (D) для создания оптимальных уровней элементов питания в почве для конкретных лекарственных культур по формуле (128):

$$D = (C_{opt} - C_{ф}) / b, \text{ кг д.в./га}; \quad (128)$$

где $C_{ф}$ – фактическое содержание Zn и Cu в почве, мг/кг;

b – коэффициент интенсивности действия удобрения на создание элемента питания в почве.

Подставив в формулу (128) оптимальные уровни содержания цинка и меди в почве, коэффициенты интенсивности действия микроудобрений « b » на химический состав почвы, формулы расчета оптимальных доз Zn и Cu удобрений для лекарственных растений будут иметь вид:

тысячелистник	$D_{Zn} = (1,61_{opt} - 1,01_{ф}) / 0,01 = 60 \text{ кг д.в./га}$	(129)
---------------	---	-------

обыкновенный	$D_{Cu} = (0,13_{opt} - 0,10_{ф}) / 0,003 = 10 \text{ кг д.в./га}$	(130)
--------------	--	-------

пижма	$D_{Zn} = (0,77_{opt} - 0,71_{ф}) / 0,001 = 60 \text{ кг д.в./га}$	(131)
-------	--	-------

обыкновенная	$D_{Cu} = (0,14_{opt} - 0,10_{ф}) / 0,006 = 6,7 \text{ кг д.в./га}$	(132)
--------------	---	-------

эхинацея	$D_{Zn} = (6,84_{opt} - 1,70_{ф}) / 0,24 = 21,4 \text{ кг д.в./га}$	(133)
----------	---	-------

пурпурная	$D_{Cu} = (0,20_{opt} - 0,12_{ф}) / 0,008 = 10 \text{ кг д.в./га}$	(134)
-----------	--	-------

Таким образом, установленные количественные характеристики между химическим составом почвы и внесенными дозами микроэлементов в почву имеют большое значение при разработке системы применения удобрений под конкретную культуру.

4.3 Влияние цинковых и медных удобрений на баланс макроэлементов в лугово-черноземной почве

В задачу исследований входило установить влияние внесенных микроудобрений под лекарственные растения на баланс не только микро-, но макроэлементов в почве. В Приложениях 19-24 представлены данные по содержанию нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в лугово-черноземной почве в слое 0-30 см при внесении возрастающих доз цинка и меди.

Внесение в почву цинковых и медных удобрений на фоне макроэлементов ($N_{135}P_{45}K_{45}$ и N_{125}) в среднем за годы исследований повышало содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в лугово-черноземной почве. А. Х. Шеуджен и др. (2019) в своих исследованиях тоже отмечают, что применение микроудобрений совместно с азотно-фосфорно-калийными, усиливает их позитивное действие на содержание в почве доступных для растений форм соединений азота, фосфора и калия. Авторы, объясняют это тем, что воздействие микроэлементов на содержание в почве нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия обусловлено их влиянием на развитие и жизнедеятельность почвенной микрофлоры и, следовательно, микробиологическую активность почвы. В результате минерализации органического вещества почва обогащается данными элементами (Шеуджен, 2018). По воздействию на содержание нитратного азота в их исследованиях в большей степени оказали влияния именно медные и цинковые удобрения, в сравнении с молибденовыми, кобальтовыми, марганцевыми и борными. Концентрация обменного калия в большей степени зависела от внесения в почву цинковых и молибденовых удобрений, воздействие других элементов было выражено в меньшей степени. Дополнительное внесение медных удобрений повышало содержание подвижного фосфора только в начале онтогенеза (Шеуджен и др., 2019). К. Акиров (1969) отмечает, что в условиях Чуйской долины Киргизской ССР внесение медных удобрений способствовало

увеличению содержания подвижных форм основных питательных веществ (N-NO_3 , P_2O_5 , K_2O) в сероземно-луговых почвах.

С помощью корреляционно-регрессионного анализа нами были получены математические уравнения, характеризующие связи между дозами вносимых Zn и Cu удобрений и содержанием нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве в фазу отрастания по годам жизни лекарственных культур (таблицы 37-39).

Из уравнений (135-218) следует, что действие и последствие цинковых и медных удобрений на химический состав почвы зависит от года использования культуры. Так, в годы последствия содержание N-NO_3 и P_2O_5 в почве снизилось по сравнению с годом действия. В полевом опыте с тысячелистником обыкновенным разовое внесение цинковых удобрений приводило к снижению содержания фосфора в почве ($b = -0,26$; $r = 0,92$) в 2015 гг. (уравнения 143, 149). Сходные результаты были получены и в исследованиях А. Х. Шеуджена и др. (2019). Использование ими цинковых удобрений снижало количество подвижного фосфора в почве, что связано с переходом фосфора в труднорастворимые соединения с цинком. В исследованиях с тысячелистником и пижмой обыкновенной содержание обменного калия в годы последствия (2013-2015 гг.) возросло по сравнению с годом действия в 1,5-2,0 раза. При выращивании эхинацеи пурпурной наблюдалась обратная ситуация – концентрация калия в почве в 2017-2018 гг. снизилась по сравнению с 2016 г., что связано с отсутствием внесения калийных удобрений.

В среднем за годы исследований коэффициенты корреляции между содержанием азота, фосфора и калия в почве под лекарственными растениями и дозами применяемых микроудобрений были высокие и составляли от 0,87 до 0,99, кроме связи между содержанием фосфора в почве и внесёнными дозами цинковых удобрений в опыте с тысячелистником обыкновенным (уравнения 159-164; 189-194; 213-218). При внесении каждого кг цинковых удобрений коэффициенты интенсивности действия цинка удобрений (b_{Zn}) на содержание

N-NO₃ в слое почвы 0-30 см в среднем за годы исследований составили 0,05 (тысячелистник), 0,07 (пижма) и 0,29 (эхинацея) мг/кг почвы (уравнения 159, 189, 213). Каждый кг разово внесенных медных удобрений повышал содержание азота в почве на 0,52-0,57 (эхинацея и пижма) и 0,37 (тысячелистник) мг/кг почвы (уравнения 160, 190, 214).

Таблица 37 – Зависимость содержания макроэлементов в почве (фаза отрастания) от разового внесения расчётных доз микроудобрений при возделывании тысячелистника обыкновенного

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	r, η
1-й (2012 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,03 Zn + 11,6$ (135)	0,03	r = 0,77
	$Y_{N-NO_3} = 0,54 Cu + 10,59$ (136)	0,54	r = 0,90
	$Y_{P_2O_5} = 0,21 Zn + 81,2$ (137)	0,21	r = 0,68
	$Y_{P_2O_5} = 4,87 Cu + 82,82$ (138)	4,87	r = 0,93
	$Y_{K_2O} = -0,15 Zn + 142,0$ (139)	-0,15	r = 0,45
	$Y_{K_2O} = 0,37 Cu^2 - 3,53Cu + 143,2$ (140)	-	η = 0,49
2-й (2013 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,11 Zn + 7,2$ (141)	0,11	r = 0,98
	$Y_{N-NO_3} = 0,33 Cu + 6,81$ (142)	0,33	r = 0,83
	$Y_{P_2O_5} = 0,24 Zn + 85,7$ (143)	0,24	r = 0,95
	$Y_{P_2O_5} = 5,78 Cu + 79,02$ (144)	5,78	r = 0,97
	$Y_{K_2O} = 1,07 Zn + 189,4$ (145)	1,07	r = 0,83
	$Y_{K_2O} = 5,62 Cu + 190,81$ (146)	5,62	r = 0,82
3-й (2014 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,02 Zn + 6,80$ (147)	0,02	r = 0,77
	$Y_{N-NO_3} = 0,29 Cu + 6,60$ (148)	0,29	r = 0,91
	$Y_{P_2O_5} = 0,12 Zn + 84,3$ (149)	0,12	r = 0,99
	$Y_{P_2O_5} = 3,44 Cu + 83,17$ (150)	3,44	r = 0,94
	$Y_{K_2O} = 0,83 Zn + 97,6$ (151)	0,83	r = 0,90
	$Y_{K_2O} = 3,72 Cu + 94,41$ (152)	3,72	r = 0,81
4-й (2015 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,02 Zn + 3,3$ (153)	0,02	r = 0,77
	$Y_{N-NO_3} = 0,12 Cu + 3,80$ (154)	0,12	r = 0,86
	$Y_{P_2O_5} = -0,26 Zn + 60,3$ (155)	-0,26	r = 0,92
	$Y_{P_2O_5} = 2,98 Cu + 47,00$ (156)	2,98	r = 0,63
	$Y_{K_2O} = 0,69 Zn + 90,7$ (157)	0,69	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 2,86 Cu + 87,75$ (158)	2,86	r = 0,96
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{N-NO_3} = 0,05 Zn + 7,40$ (159)	0,05	r = 0,92
	$Y_{N-NO_3} = 0,37 Cu + 6,80$ (160)	0,37	r = 0,94
	$Y_{P_2O_5} = 0,07 Zn + 77,9$ (161)	0,07	r = 0,74
	$Y_{P_2O_5} = 4,30 Cu + 72,80$ (162)	4,30	r = 0,93
	$Y_{K_2O} = 0,62 Zn + 129,8$ (163)	0,42	r = 0,97
	$Y_{K_2O} = 3,11 Cu + 127,77$ (164)	3,11	r = 0,95

Таблица 38 – Зависимость содержания макроэлементов в почве (фаза отрастания) от разового внесения расчётных доз микроудобрений при возделывании пижмы обыкновенной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2012 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,08 Zn + 11,40$ (165)	0,08	r = 0,89
	$Y_{N-NO_3} = 0,42 Cu + 9,53$ (166)	0,42	r = 0,75
	$Y_{P_2O_5} = 0,25 Zn + 79,43$ (167)	0,25	r = 0,98
	$Y_{P_2O_5} = 3,36 Cu + 77,17$ (168)	3,36	r = 0,94
	$Y_{K_2O} = 0,41 Zn + 98,17$ (169)	0,41	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 4,59 Cu + 94,93$ (170)	4,59	r = 0,91
2-й (2013 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,10 Zn + 17,9$ (171)	0,10	r = 0,98
	$Y_{N-NO_3} = 0,99 Cu + 17,39$ (172)	0,99	r = 0,98
	$Y_{P_2O_5} = 0,52 Zn + 102,3$ (173)	0,52	r = 0,95
	$Y_{P_2O_5} = 4,70 Cu + 108,21$ (174)	4,70	r = 0,80
	$Y_{K_2O} = 1,33 Zn + 176,5$ (175)	1,33	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 7,94 Cu + 187,45$ (176)	7,94	r = 0,80
3-й (2014 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,06 Zn + 6,2$ (177)	0,06	r = 0,77
	$Y_{N-NO_3} = 0,62 Cu + 6,51$ (178)	0,62	r = 0,87
	$Y_{P_2O_5} = 0,22 Zn + 88,9$ (179)	0,22	r = 0,88
	$Y_{P_2O_5} = 2,94 Cu + 91,09$ (180)	2,94	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 1,20 Zn + 164,0$ (181)	1,20	r = 0,96
	$Y_{K_2O} = 8,06 Cu + 167,79$ (182)	8,06	r = 0,88
4-й (2015 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,03 Zn + 3,64$ (183)	0,03	r = 0,77
	$Y_{N-NO_3} = 0,09 Cu + 3,52$ (184)	0,09	r = 0,78
	$Y_{P_2O_5} = 0,82 Zn + 46,4$ (185)	0,22	r = 0,99
	$Y_{P_2O_5} = 1,62 Cu + 47,88$ (186)	1,62	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 0,74 Zn + 106,47$ (187)	0,74	r = 0,93
	$Y_{K_2O} = 5,19 Cu + 104,10$ (188)	5,19	r = 0,99
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{N-NO_3} = 0,07 Zn + 9,75$ (189)	0,07	r = 0,99
	$Y_{N-NO_3} = 0,57 Cu + 9,07$ (190)	0,57	r = 0,94
	$Y_{P_2O_5} = 0,45 Zn + 79,30$ (191)	0,45	r = 0,99
	$Y_{P_2O_5} = 3,16 Cu + 81,05$ (192)	3,16	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 0,93 Zn + 136,1$ (193)	0,93	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 6,48 Cu + 138,53$ (194)	6,48	r = 0,93

Таблица 39 – Зависимость содержания макроэлементов в почве (фаза отрастания) от разового внесения расчётных доз микроудобрений при возделывании эхинацеи пурпурной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2016 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,46 Zn + 12,20$ (195)	0,46	r = 0,89
	$Y_{N-NO_3} = 0,40 Cu + 12,66$ (196)	0,40	r = 0,75
	$Y_{P_2O_5} = 0,79 Zn + 97,83$ (197)	0,79	r = 0,98
	$Y_{P_2O_5} = 6,29 Cu + 100,28$ (198)	6,29	r = 0,94
	$Y_{K_2O} = 2,25 Zn + 140,21$ (199)	2,25	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 6,85 Cu + 143,57$ (200)	6,85	r = 0,91
2-й (2017 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,29 Zn + 22,33$ (201)	0,29	r = 0,98
	$Y_{N-NO_3} = 1,04 Cu + 22,63$ (202)	1,04	r = 0,98
	$Y_{P_2O_5} = 1,25 Zn + 54,89$ (203)	1,25	r = 0,96
	$Y_{P_2O_5} = 1,75 Cu + 51,50$ (204)	1,75	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 2,13 Zn + 126,85$ (205)	2,13	r = 0,97
	$Y_{K_2O} = 9,97 Cu + 161,83$ (206)	9,97	r = 0,67
3-й (2018 г.)	$Y_{N-NO_3} = 0,12 Zn + 10,42$ (207)	0,12	r = 0,99
	$Y_{N-NO_3} = 0,12 Cu + 9,74$ (208)	0,12	r = 0,70
	$Y_{P_2O_5} = 0,21 Zn + 28,23$ (209)	0,21	r = 0,96
	$Y_{P_2O_5} = 2,47 Cu + 30,38$ (210)	2,47	r = 0,96
	$Y_{K_2O} = 1,11 Zn + 98,69$ (211)	1,11	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 4,53 Cu + 90,04$ (212)	4,53	r = 0,91
средние данные (2016-2018 гг.)	$Y_{N-NO_3} = 0,29 Zn + 14,98$ (213)	0,29	r = 0,99
	$Y_{N-NO_3} = 0,52 Cu + 15,01$ (214)	0,52	r = 0,99
	$Y_{P_2O_5} = 0,75 Zn + 60,32$ (215)	0,75	r = 0,99
	$Y_{P_2O_5} = 3,50 Cu + 60,72$ (216)	3,50	r = 0,98
	$Y_{K_2O} = 1,83 Zn + 121,92$ (217)	1,83	r = 0,99
	$Y_{K_2O} = 5,53 Cu + 135,32$ (218)	5,53	r = 0,87

Также было установлено влияние расчетных доз цинковых и медных удобрений на содержание подвижных форм фосфора и калия в почве. Так, разовое внесение ацетата цинка увеличивало содержание фосфора на 0,07 (тысячелистник), 0,45 (пижма), 0,75 (эхинацея) мг/кг (уравнения 161, 191, 215); внесение медных удобрений повышало концентрацию подвижного фосфора на 4,30 (тысячелистник), 3,16 (пижма), 3,50 (эхинацея) мг/кг (уравнения 162, 192, 216). Разовое применение каждого килограмма цинковых и медных удобрений повышает содержание в почве K_2O в среднем за годы исследований в зависимости от выращиваемой лекарственной культуры соответственно на 0,62 и 3,11

(тысячелистник, уравнения 163-164), 0,93 и 6,48 (пижма, уравнения 193-194), 1,83 и 5,53 (эхинацея, уравнения 217-218) мг/кг почвы.

Уравнения (159-164) (тысячелистник обыкновенный), (189-194) (пижма обыкновенная), (213-218) (эхинацея пурпурная) и коэффициенты интенсивности действия Zn и Cu в системе «почва – удобрение» позволяют проверить достоверность прогноза содержания макроэлементов в почве при использовании оптимальных доз цинковых и медных удобрений. Подставив лучшие дозы микроудобрений, по результатам полевых опытов, в данные математические уравнения (159-164; 189-194; 213-218), получим прогнозируемое содержание макроэлементов в лугово-чернозёмной почве (таблица 40).

Таблица 40 – Математические модели прогноза содержания макроэлементов в почве в фазу отрастания под лекарственными растениями при внесении оптимальных доз цинковых и медных удобрений в лугово-черноземную почву (средние данные)

Показатель	Влияние цинковых удобрений			Влияние медных удобрений		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Тысячелистник						
Фактическое содержание, мг/кг	10	81	166	11	122	161
Прогнозируемое содержание, мг/кг	10	82	167	10	115	158
Уравнение прогноза	159	161	163	160	162	164
Ошибка прогноза, %	-	+1,2	-0,6	-9,1	-5,7	-1,9
Пижма						
Фактическое содержание, мг/кг	14	107	189	14	103	181
Прогнозируемое содержание, мг/кг	14	106	192	13	104	185
Уравнение прогноза	189	191	193	190	192	194
Ошибка прогноза, %	-	-0,9	+1,6	-7,1	+1,0	+2,2
Эхинацея						
Фактическое содержание, мг/кг	21	76	161	20	92	178
Прогнозируемое содержание, мг/кг	21	76	161	20	94	187
Уравнение прогноза	213	215	217	214	216	218
Ошибка прогноза, %	-	-	-	-	+2,2	+5,1

На основе установленных оптимальных доз цинковых (60, 60 и 21,4 кг д.в./га) и медных (9,7, 7,2, 9,4 кг д.в./га) удобрений были определены оптимальные уровни содержания азота, фосфора и калия в почве в зависимости от года жизни лекарственных растений (таблицы 41-43).

Таблица 41 – Оптимальные уровни содержания N-NO₃, P₂O₅, K₂O в слое почвы 0-30 см под растениями тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания, мг/кг

Год жизни культуры	Содержание, мг/кг					
	цинковое питание			медное питание		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 год (2012 г.)	13	89	130	17	135	145
2 год (2013 г.)	14	98	264	10	140	261
3 год (2014 г.)	8	91	140	10	122	118
4 год (2015 г.)	4	47	128	5	90	118
в среднем за 2012-2015 гг.	10	81	166	11	122	161

Таблица 42 – Оптимальные уровни содержания нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в слое почвы 0-30 см под растениями пижмы обыкновенной в фазу отрастания, мг/кг

Год жизни культуры	Содержание, мг/кг					
	цинковое питание			медное питание		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 год (2012 г.)	15	95	123	13	105	134
2 год (2013 г.)	24	130	250	25	135	233
3 год (2014 г.)	11	105	230	12	113	218
4 год (2015 г.)	5	98	152	4	59	140
в среднем за 2012-2015 гг.	14	107	189	14	103	181

Таблица 43 – Оптимальные уровни содержания нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в слое почвы 0-30 см под растениями эхинацеи пурпурной в фазу отрастания, мг/кг

Год жизни культуры	Содержание, мг/кг					
	цинковое питание			медное питание		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 год (2016 г.)	22	116	184	16	157	199
2 год (2017 г.)	28	79	176	32	69	200
3 год (2018 г.)	13	32	122	11	52	134
в среднем за 2016-2018 гг.	21	76	161	20	92	178

Согласно ранее проведенным исследованиям 2007-2010 гг. оптимальное содержание азота, фосфора и калия в почве под растениями тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания составляло соответственно 45, 70 и 153 мг/кг (Тищенко, 2010). На основе данных таблицы 41 оптимальное содержание $N-NO_3$, P_2O_5 и K_2O в слое почвы 0-30 см при цинковом и медном питании соответственно равно 10-11, 81-122 и 161-166 мг/кг. Таким образом, по фосфору и калию полученное содержание очень близко с установленными ранее уровнями.

Оптимальные уровни содержания по $N-NO_3$ и K_2O в почве под растениями пижмы обыкновенной при цинковом и медном питании (таблица 42) тоже были близки с установленными ранее уровнями: азота – 16, калия – 180 мг/кг. По фосфору оптимальное содержание (103-107 мг/кг, таблица 42) было несколько выше ранее проведенных исследований (71 мг/кг).

На основе данных таблиц 41-43 можно установить оптимальные соотношения между данными элементами в период весеннего отрастания (таблица 44).

Таблица 44 – Оптимальные соотношения элементов питания в почве, мг/кг
(в среднем за годы исследований)

Культура	Цинковое питание	Медное питание
Тысячелистник обыкновенный	$P_2O_5 \approx 8 \text{ } N-NO_3 \approx 0,5 \text{ } K_2O$ (219)	$P_2O_5 \approx 11 \text{ } N-NO_3 \approx 0,8 \text{ } K_2O$ (220)
Пижма обыкновенная	$P_2O_5 \approx 8 \text{ } N-NO_3 \approx 0,6 \text{ } K_2O$ (221)	$P_2O_5 \approx 7 \text{ } N-NO_3 \approx 0,6 \text{ } K_2O$ (222)
Эхинацея пурпурная	$P_2O_5 \approx 4 \text{ } N-NO_3 \approx 0,5 \text{ } K_2O$ (223)	$P_2O_5 \approx 5 \text{ } N-NO_3 \approx 0,5 \text{ } K_2O$ (224)

Оптимальное соотношение $P_2O_5 \approx N-NO_3 \approx K_2O$ в слое почвы 0-30 см показывает, что при внесении цинковых удобрений на одну часть $N-NO_3$ и K_2O должно приходиться в среднем за годы исследований 8 и 0,5-0,6 (тысячелистник и пижма; таблица 44, уравнения 219, 221), 4 и 0,5 (эхинацея; таблица 44, уравнение 223) частей P_2O_5 . При использовании медных удобрений под тысячелистник,

пижму и эхинацею пурпурную на 1 часть $N-NO_3$ и K_2O приходится 5-11 и 0,5-0,8 частей P_2O_5 (таблица 44, уравнения 220, 222, 224).

Также в работе были установлены зависимости содержания нитратного азота, неорганического фосфора и свободного калия в системе «почва – микроудобрения» и в более поздние фазы развития лекарственных растений (Приложения 25-27).

Таким образом, выявленные взаимосвязи в системе «удобрение – почва» позволяют успешно диагностировать питание лекарственных растений макроэлементами и в случае необходимости рассчитать требуемые дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений.

4.4 Математическое моделирование связи в системе «удобрение – почва – растение» при формировании биосинтеза органического вещества урожая

Важной задачей проводимых исследований является прогнозирование урожайности лекарственных растений при внесении микроудобрений в почву в конкретных почвенно-климатических условиях. Увеличение урожайности лекарственных растений от применения удобрений происходит не бесконечно, а до определенного уровня содержания элементов питания в почве и растениях, выше которого урожайность снижается.

В связи с этим возникает необходимость установления оптимальных уровней содержания химических элементов в почве и растениях с учетом конкретных природных условий и величин формирования урожая. Это позволит управлять процессом развития лекарственных культур, формированием величины и качества урожая и эффективным плодородием почвы.

С помощью корреляционно-регрессионного анализа были установлены взаимосвязи между содержанием микроэлементов в почве (таблицы 30, 32, 34) и урожайностью лекарственных растений (таблицы 10, 14, 18). Это позволило объективно оценить экспериментальные данные химического анализа почвы, а

также диагностировать эффективность микроудобрений и прогнозировать урожайность.

На основании проведённых многолетних исследований, используя корреляционно-регрессионный анализ, нами были получены математические уравнения, отображающие зависимость урожайности абсолютно сухого вещества лекарственных растений (Y) от содержания подвижного цинка (Zn) и меди (Cu) в слое почвы 0-30 см в среднем за годы исследований (таблица 45, уравнения 225-230). Данные математические уравнения указывают на тесную корреляционную связь между данными параметрами ($r = 0,84-0,93$).

Таблица 45 – Математические уравнения формирования урожайности лекарственных культур (Y , т/га) в зависимости от содержания подвижных форм цинка и меди в почве (Zn/Cu , мг/кг) (в среднем за годы исследований)

Культура	Уравнение регрессии	r	Урожайность, т/га
Тысячелистник обыкновенный	$Y = 7,86 + 1,89 Zn$ (225)	$r = 0,87$	12,4
	$Y = 2,04 + 75,16 Cu$ (226)	$r = 0,84$	13,4
Пижма обыкновенная	$Y = 14,00 + 0,65 Zn$ (227)	$r = 0,93$	20,2
	$Y = 7,92 + 44,96 Cu$ (228)	$r = 0,93$	17,8
Эхинацея пурпурная	$Y = 7,76 + 0,24 Zn$ (229)	$r = 0,88$	9,9
	$Y = 2,40 + 27,75 Cu$ (230)	$r = 0,91$	13,2

Полученные на основе многолетних данных связи «почва (Zn , Cu) – урожай (Y , т/га)» свидетельствуют о том, что при увеличении содержания подвижного цинка на 1 мг/кг биосинтез сухого вещества урожая тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной в среднем увеличивается на 1,89, 0,65 и 0,24 т/га соответственно (уравнения 225, 227, 229), а при повышении меди на 1 мг/кг на 75,16, 44,96 и 27,75 т/га (уравнения 226, 228, 230).

Кроме того, математические уравнения (225-230) дают возможность выполнить прогноз урожайности данных лекарственных культур в зависимости от содержания подвижных форм цинка и меди в слое почвы 0-30 см (таблицы 46-47).

Таблица 46 – Прогноз урожайности сухого вещества лекарственных культур в зависимости от содержания цинка в почве (в среднем за годы исследований)

Содержание Zn в почве, мг/кг			Фактическая урожайность, т/га			Прогнозируемая урожайность, т/га					
						Уравнение					
						Y = 7,86 + 1,89 Zn (225)		Y = 14,00 + 0,65 Zn (227)		Y = 7,76 + 0,24 Zn (229)	
Таблица 30	Таблица 32	Таблица 34	Таблица 10	Таблица 14	Таблица 18	тысячелистник		пижма		эхинацея	
тысячелистник	пижма	эхинацея	тысячелистник	пижма	эхинацея	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %
1,3	1,7	6,2	11,0	16,1	8,8	10,4	5,5	15,2	5,6	9,2	5,0
1,9	6,2	7,4	11,9	17,0	9,9	11,5	3,4	18,0	5,9	9,5	4,0
2,5	8,5	9,4	12,4	20,2	7,7	12,7	2,4	19,5	3,5	10,0	30,0
1,7	2,7	12,4	11,3	16,7	7,9	11,1	1,8	15,8	5,4	10,7	35,0
F _{факт} > F _{табл}						6,3 < 10,1		12,3 > 10,1		4,0 < 10,1	
R ²						0,76		0,85		0,80	
Ā						4,75		4,75		2,50	

Таблица 47 – Прогноз урожайности сухого вещества лекарственных культур в зависимости от содержания меди в почве (в среднем за годы исследований)

Содержание Cu в почве, мг/кг			Фактическая урожайность, т/га			Прогнозируемая урожайность, т/га					
						Уравнение					
						Y = 2,04 + 75,16 Cu (226)		Y = 7,92+44,96 Cu (228)		Y = 2,40 + 27,75 Cu (230)	
Таблица 30	Таблица 32	Таблица 34	Таблица 10	Таблица 14	Таблица 18	тысячелистник		пижма		эхинацея	
тысячелистник	пижма	эхинацея	тысячелистник	пижма	эхинацея	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %	т/га	относительная ошибка аппроксимации, %
0,12	0,17	0,25	11,6	14,7	9,7	11,1	4,3	15,6	6,1	9,4	3,0
0,13	0,18	0,29	12,2	16,0	11,1	11,8	3,3	16,0	0	10,5	5,0
0,14	0,21	0,34	13,2	17,8	12,7	12,6	4,5	17,4	2,2	11,9	6,0
0,17	0,23	0,41	13,4	16,0	13,2	14,1	5,0	18,3		13,8	4,5
$F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$						12,8 > 7,7		11,3 > 7,7		14,6 > 7,7	
R^2						0,81		0,85		0,83	
\bar{A}						6,75		2,77		8,1	

Путем сравнения прогнозируемых результатов с фактическими урожайными данными были определены относительная и средняя ошибки аппроксимации (\bar{A}), коэффициент детерминации (R^2) и F-критерий Фишера при уровне значимости 5%.

Поскольку средняя ошибка аппроксимации меньше 15%, предлагаемые регрессионные уравнения можно использовать в качестве прогнозных моделей. Фактическое значение $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ (при уровне значимости 0,05), поэтому предлагаемые прогнозные модели (уравнения 248, 253-254, 260) надежны. Коэффициент детерминации статистически значим ($R^2 = 0,76-0,85$).

Математическая обработка многолетних данных действия и последствий микроудобрений на химический состав почвы (таблицы 31, 33, 35, уравнения 87-126), величину формирования биомассы урожая (таблица 45) тысячелистника, пижмы и эхинацеи пурпурной, позволила определить для конкретных величин урожая в период весеннего отрастания оптимальные уровни содержания цинка и меди (мг/кг) в слое почвы 0-30 см с учетом возраста растений (Приложение 28). Таким образом, разовое внесение цинковых и медных удобрений в почву по-разному влияет на химизм почвы и зависит от года использования культуры.

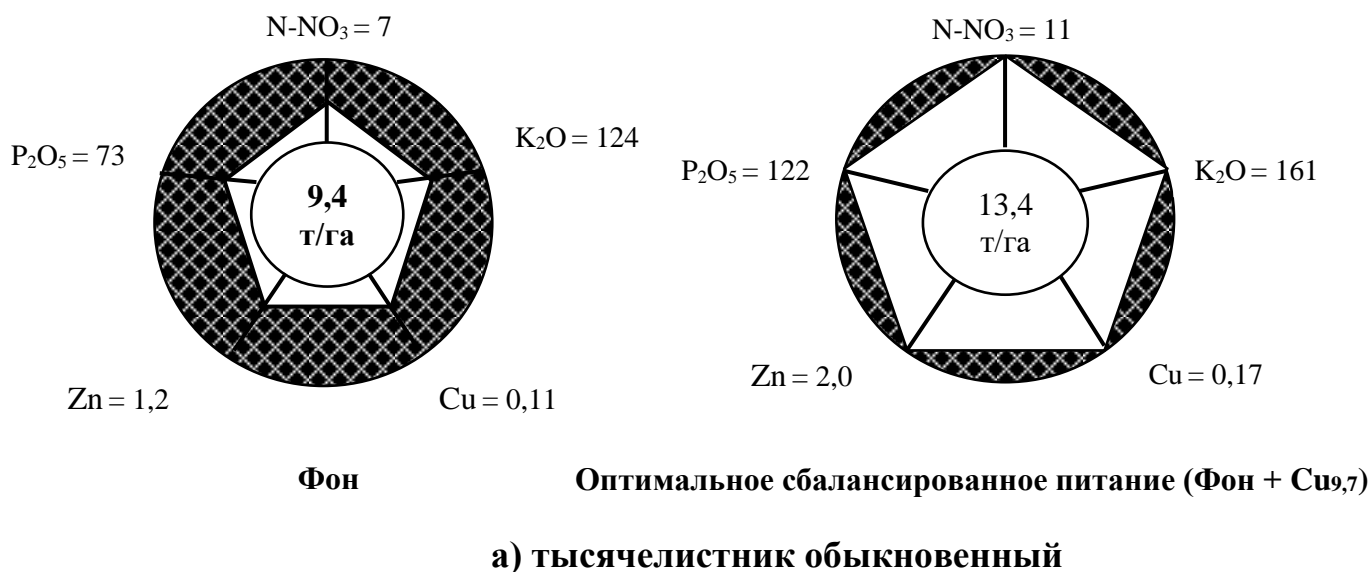
В среднем за годы исследований оптимальное содержание цинка и меди в почве для тысячелистника обыкновенного составляет соответственно 2,5 и 0,14 при Zn_{60} , 2,0 и 0,17 при $Cu_{9,7}$; пижмы – 8,5 и 0,20 при Zn_{60} , 3,8 и 0,21 при $Cu_{7,2}$; эхинацеи – 7,4 и 0,35 при $Zn_{21,4}$, 6,8 и 0,41 при $Cu_{9,4}$ мг/кг (таблица 48).

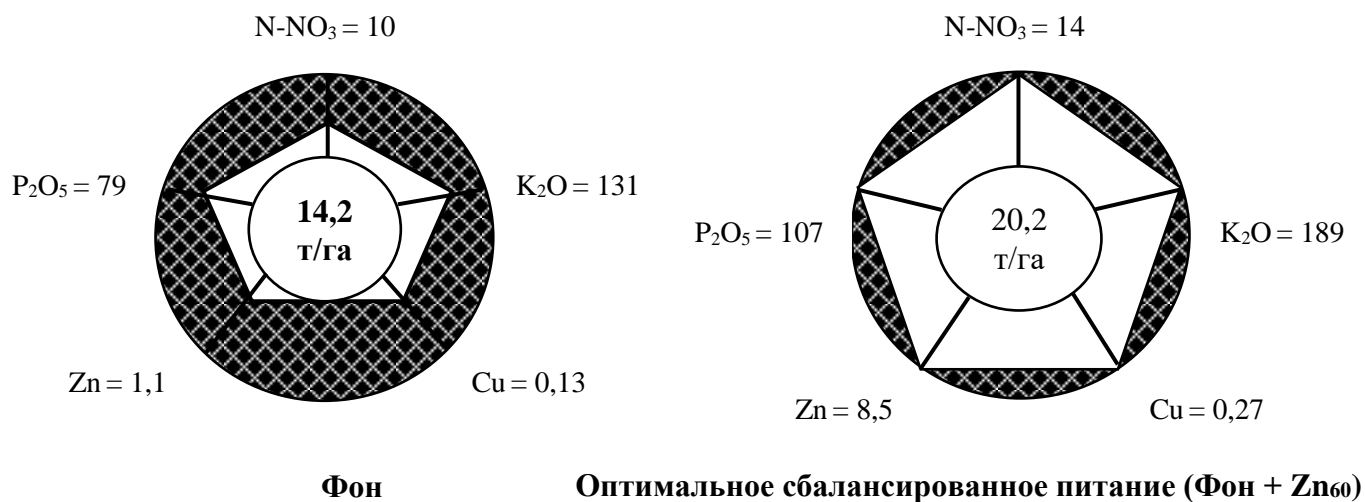
На основании оптимального содержания микроэлементов определены оптимальные соотношения $Zn \leftrightarrow Cu$ под лекарственными растениями в слое почвы 0 – 30 см, которые показывают, что в зависимости от культуры на одну часть цинка должно приходиться в среднем за годы исследований от 12 до 18 (медное питание) и от 18 до 43 (цинковое питание) части подвижной меди (таблица 48, уравнения 231-236).

Таблица 48 – Оптимальные уровни содержания подвижных форм Zn и Cu в слое почвы 0-30 см (в среднем за период исследований)

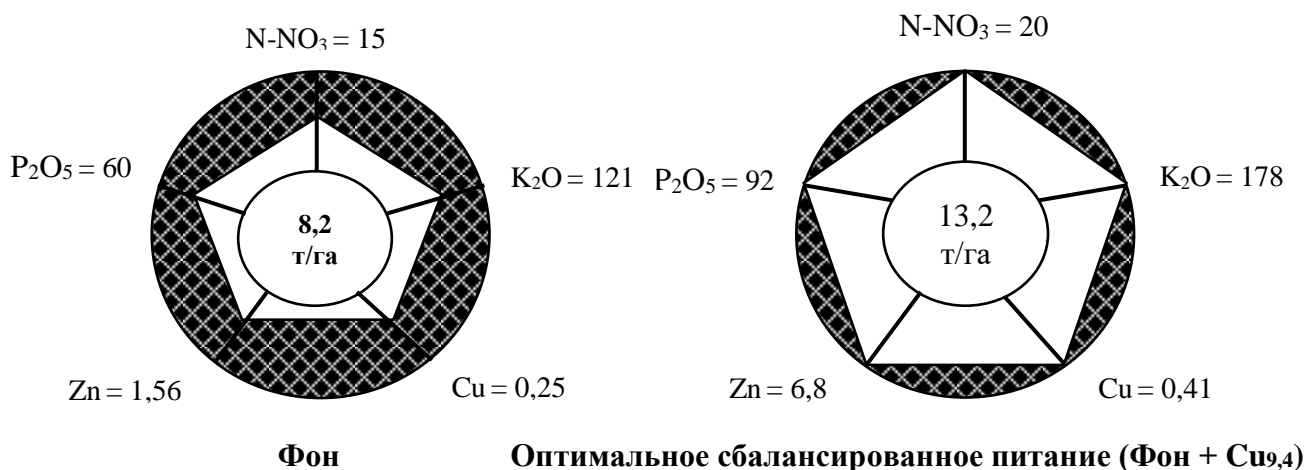
Культура	«b», мг/кг		Оптимальное содержание, мг/кг		Оптимальное соотношение, мг/кг
	Zn	Cu	Zn	Cu	
Тысячелистник обыкновенный	Цинковое питание (Zn ₆₀)				
	0,02	0,0004	2,5	0,14	Zn мг/кг ≈ 18 Cu (231)
	Медное питание (Cu _{9,7})				
	0,08	0,006	2,0	0,17	Zn мг/кг ≈ 12 Cu (232)
Пижма обыкновенная	Цинковое питание (Zn ₆₀)				
	0,13	0,005	8,5	0,20	Zn мг/кг ≈ 43 Cu (233)
	Медное питание (Cu _{7,2})				
	0,34	0,01	3,8	0,21	Zn мг/кг ≈ 18 Cu (234)
Эхинацея пурпурная	Цинковое питание (Zn _{21,4})				
	0,28	0,005	7,4	0,35	Zn мг/кг ≈ 21 Cu (235)
	Медное питание (Cu _{9,4})				
	0,54	0,02	6,8	0,41	Zn мг/кг ≈ 17 Cu (236)

Установленные оптимальные уровни и соотношения Zn и Cu (таблица 48) и N-NO₃, P₂O₅, K₂O (таблицы 41-44) в почве позволяют диагностировать эффективность микроудобрений и нормировать их дозы внесения в почву, с целью оптимизации микроэлементного питания тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной (Рисунок 15).





б) пижма обыкновенная



в) эхинацея пурпурная

Рисунок 15 – Пентагональные диаграммы зависимости урожайности лекарственных растений от содержания элементов питания в почве в фазу отрастания (в среднем за период исследований)

4.5 Физиолого-агрохимические нормативные показатели минерального питания лекарственных растений и эффективности применения удобрений

Агрохимические и физиологические показатели минерального питания и эффективности удобрений почв и растений неустойчивы и колеблются в широких

пределах в зависимости от типа почвы, количества и вида внесенных удобрений, гранулометрического состава, запасов и соотношений подвижных форм макро- и микроэлементов, кислотности, гидротермических условий (осадков, температуры и др.), агротехники, сортовых особенностей культур, соотношения между основной и побочной продукцией и т. д. (Журбицкий, 1963; Левен, 1965; Магницкий, 1972; Прянишников, 1963; Сабинин, 1971; Соколов, 1965; Церлинг, 1978; Шатилов, 1986).

Такой показатель, как вынос элементов минерального питания урожаем является важнейшим физиологическим показателем, применение которого позволяет определять потребности растений в минеральных удобрениях, а также рассчитывать рациональные дозы удобрений с учётом баланса макро- и микроэлементов, тем самым сохраняя плодородие почвы. Вынос элементов минерального питания зависит главным образом от вида растений и условий увлажнения, так как при благоприятном обеспечении влагой происходит усиление роста вегетативной массы растений, при этом повышается потребление и вынос элементов питания из почвы. Также существенное значение на вынос оказывает температурный режим, влияющий на соотношение количества выносимых элементов питания. Так, в условиях засухи вынос азота и калия на единицу урожая резко возрастает, а фосфора уменьшается (Коровин, 1984). Кроме этого, вынос основных элементов питания в значительной степени меняется по годам исследований (Бобренко, 2004; Ермохин, 1983).

Для получения планируемого урожая в практике существует большое количество методов расчета доз минеральных удобрений (Афендулов, Лантухова, 1973; Кочергин, Кольцов, 1981; Михайлов, Книпер, 1971), в основу которых положены нормативные агрохимические показатели: вынос питательных веществ урожаем, коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП) и удобрений (КИУ).

При комплексном подходе к диагностике питания лекарственных растений, на основе метода «ИСПРОД», необходимо определить не только оптимальные

уровни и соотношения основных элементов питания в почве, но и их вынос единицей урожая, коэффициенты использования питательных веществ из удобрений, почвы и другие параметры, которые позволяют в конкретных природно-климатических условиях предложить более точные расчёты доз микроудобрений.

Исследования ряда авторов показывают, что использование цинковых и медных удобрений может существенно увеличивать вынос микроэлементов, как урожаем, так и единицей товарной продукции, способствуя изменению баланса химических элементов в системе «почва – растение», что является довольно значимым фактором в практике применения микроудобрений и охраны окружающей среды. Вынос микроэлементов лекарственными растениями (тысячелистник, пижма, эхинацея) представлен в таблицах 49-51 и Приложениях 29-31.

Таблица 49 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов тысячелистником обыкновенным
(в среднем за годы исследований)

Вариант		Вынос, кг/га		Вынос единицей продукции, кг/т	
		Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,09	0,026	0,0010	0,0027
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		0,11	0,021	0,0011	0,0024
Фон	Zn ₂₀	0,27	0,042	0,022	0,0053
	Zn ₄₀	0,33	0,045	0,026	0,0061
	Zn₆₀	0,38	0,047	0,030	0,0071
	Zn ₈₀	0,38	0,046	0,033	0,0088
	Cu _{2,4}	0,30	0,038	0,023	0,0033
	Cu _{4,9}	0,33	0,057	0,023	0,0046
	Cu _{7,2}	0,39	0,08	0,025	0,0064
	Cu_{9,7}	0,41	0,10	0,026	0,0084

Таблица 50 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов пижмой обыкновенной (в среднем за годы исследований)

Вариант		Вынос, кг/га		Вынос единицей продукции, кг/т	
		Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,24	0,034	0,017	0,0042
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		0,25	0,036	0,017	0,0044
Фон	Zn ₂₀	0,36	0,045	0,026	0,0057
	Zn ₄₀	0,45	0,056	0,028	0,0065
	Zn₆₀	0,60	0,076	0,040	0,0077
	Zn ₈₀	0,57	0,059	0,048	0,0083
	Cu _{2,4}	0,40	0,039	0,025	0,0043
	Cu _{4,9}	0,46	0,047	0,029	0,0045
	Cu_{7,2}	0,55	0,062	0,034	0,0049
Cu _{9,7}		0,54	0,059	0,041	0,0060

Таблица 51 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов эхинацеей пурпурной (в среднем за годы исследований)

Вариант		Вынос, кг/га		Вынос единицей продукции, кг/т	
		Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,03	0,015	0,004	0,0021
N ₁₂₅ (Фон)		0,04	0,016	0,005	0,0021
Фон	Zn _{10,7}	0,11	0,016	0,011	0,0021
	Zn_{21,4}	0,15	0,025	0,013	0,0027
	Zn _{32,4}	0,12	0,022	0,014	0,0035
	Zn _{42,8}	0,14	0,027	0,016	0,0044
	Cu _{2,3}	0,11	0,023	0,010	0,0025
	Cu _{4,7}	0,18	0,032	0,013	0,0028
	Cu _{7,0}	0,22	0,050	0,015	0,0035
	Cu_{9,4}	0,27	0,068	0,017	0,0043

Установлено, что применение расчётных доз микроудобрений оказало существенное воздействие на вынос элементов питания лекарственными растениями (таблицы 49-51). Увеличение доз вносимых микроудобрений способствовало закономерному возрастанию выноса соответствующего элемента с урожаем. Кроме того, увеличивался вынос и другого элемента, то есть возрастающие дозы вносимого цинка повышали вынос меди. Аналогичная закономерность наблюдается и при использовании медных удобрений, как по отдельным годам и культурам, так и в целом за годы исследований.

В проводимых опытах отмечалось повышение выноса микроэлементов из почвы на единицу продукции. Причем по мере возрастания вносимых в почву доз цинковых и медных удобрений увеличивался и вынос из почвы этих элементов (таблицы 49-51).

В исследованиях с тысячелистником и пижмой обыкновенной при однократном внесении 60 кг д.в./га Zn удобрений на фоне макроэлементов отмечался максимальный вынос цинка 0,38 и 0,60 кг/га, что на 245,5 и 140,0 % выше, чем на фоновом варианте соответственно (таблицы 49-50). Наибольший вынос меди составил 0,10 (тысячелистник) и 0,062 (пижма) кг/га при внесении 9,7 и 7,2 кг меди. Более эффективное потребление растениями эхинацеи пурпурной цинка и меди наблюдалось в вариантах $Zn_{21,4}$ – 0,15 кг/га и $Cu_{9,4}$ – 0,068 кг/га, что больше чем на контроле и фоне на 0,11 и 0,052 кг/га соответственно (таблица 51). Во всех вариантах с внесением микроудобрений было отмечено увеличение выноса микроэлементов надземной массой по сравнению с контролем и фоном, что является следствием увеличения урожайности с одной стороны и повышением содержания цинка и меди в растениях с другой. Сравнивая вынос микроэлементов по годам проводимых исследований, следует отметить, что максимальные его значения наблюдались на третий год жизни культур, что обусловлено более интенсивным нарастанием надземной массы к третьему году роста и развития лекарственных растений (Приложения 29-31).

Таким образом, вынос урожаем и единицей продукции цинка и меди во всех опытах был выше при оптимальных дозах внесения микроудобрений.

В ходе исследований нами были получены прямые корреляционные зависимости между выносом цинка и меди ($Y_{Zn/Cu}$, кг/га) тысячелистником (237-238), пижмой (239-240), эхинацеей (241-242) и дозами микроудобрений (X , кг д.в./га):

	$Y_{Zn} = 0,14 + 0,004X;$	$r = 0,97$	(237)
--	---------------------------	------------	-------

тысячелистник	$Y_{Cu} = 0,02 + 0,008X;$	$r = 0,99$	(238)
---------------	---------------------------	------------	-------

пижма	$Y_{Zn} = 0,02 + 0,0004X;$	$r = 0,99$	(239)
-------	----------------------------	------------	-------

эхинацея	$Y_{Cu} = 0,03 + 0,004X;$	$r = 0,95$	(240)
	$Y_{Zn} = 0,05 + 0,005X;$	$r = 0,99$	(241)
	$Y_{Cu} = 0,01 + 0,006X;$	$r = 0,98$	(242)

Каждый кг микроудобрений (Zn и Cu) повышал вынос цинка и меди тысячелистником обыкновенным на 0,004 и 0,008 кг/га; пижмой обыкновенной на 0,0004 и 0,004 кг/га; эхинацеей пурпурной на 0,005 и 0,006 кг/га (уравнения 237-242).

С увеличением урожая общий вынос элементов питания возрастает, но даже при больших колебаниях урожайности лекарственных растений расход питательных веществ на единицу продукции является величиной довольно стабильной, и этим показателем считается возможным пользоваться при корректировке доз удобрений на планируемую прибавку урожая.

Обобщив данные проводимых полевых опытов, установлено, что в среднем на создание 1 т урожая сухого вещества тысячелистника обыкновенного требуется 26,0 г Zn и 8,4 г Cu; пижмы обыкновенной – 40,0 г Zn и 7,7 г Cu; эхинацеи пурпурной – 17,0 г Zn и 4,3 г Cu (таблицы 49-51).

Между выносом Zn и Cu единицей урожая изучаемых лекарственных растений (Y_{Cu} и Y_{Zn} , кг/т) и дозами микроудобрений (Zn и Cu, кг д.в./га) получена прямая корреляционная зависимость (уравнения 243-248).

Тысячелистник	$Y_{Zn} \text{ кг/т} = 0,0003Zn + 0,01$	$r = 0,96$	(243)
	$Y_{Cu} \text{ кг/т} = 0,0006Cu + 0,002$	$r = 0,99$	(244)
Пижма	$Y_{Zn} \text{ кг/т} = 0,0004Zn + 0,02$	$r = 0,97$	(245)
	$Y_{Cu} \text{ кг/т} = 0,000007Cu + 0,004$	$r = 0,83$	(246)
Эхинацея	$Y_{Zn} \text{ кг/т} = 0,0004Zn + 0,005$	$r = 0,94$	(247)
	$Y_{Cu} \text{ кг/т} = 0,0002Cu + 0,002$	$r = 0,98$	(248)

Уравнения (243-248) дают возможность выполнить прогноз выноса цинка и меди единицей урожая тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и

эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроэлементов (таблицы 52-53). Путем сравнения прогнозируемых результатов с фактическими данными, определены ошибки прогноза.

Таблица 52 – Прогноз выноса цинка единицей продукции лекарственных растений в зависимости от дозы цинка

Доза Zn, кг д.в./га	Фактический вынос Zn, кг/т	Прогноз выноса цинка по формулам (243, 245, 247)	
		кг/т	ошибка, %
Тысячелистник обыкновенный (в среднем за 2012-2014 гг.)			
20	0,011	0,016	+29,1
40	0,022	0,022	-
60	0,026	0,028	+7,7
Пижма обыкновенная (в среднем за 2012-2014 гг.)			
20	0,026	0,028	+7,7
40	0,028	0,036	+28,6
60	0,040	0,044	+10,0
Эхинацея пурпурная (в среднем за 2016-2018 гг.)			
10,7	0,011	0,009	-18,2
21,4	0,013	0,014	+7,7

Таблица 53 – Прогноз выноса меди единицей продукции лекарственных растений в зависимости от дозы меди

Доза Cu, кг д.в./га	Фактический вынос Cu, кг/т	Прогноз выноса меди по формуле (244, 246, 248)	
		кг/т	ошибка, %
Тысячелистник обыкновенный (в среднем за 2012-2014 гг.)			
2,4	0,0033	0,0034	+3,0
4,9	0,0046	0,0049	+6,5
7,2	0,0064	0,0063	-1,6
9,7	0,0084	0,0078	-7,1
Пижма обыкновенная (в среднем за 2012-2014 гг.)			
2,4	0,0043	0,0043	-
4,9	0,0045	0,0043	-4,4
7,2	0,0049	0,0044	-10,2
Эхинацея пурпурная (в среднем за 2016-2018 гг.)			
2,3	0,0025	0,0025	-
4,7	0,0028	0,0029	+3,6
7,0	0,0035	0,0034	-2,9
9,4	0,0043	0,0039	-9,3

В опытах проводили также учёт выноса из почвы макроэлементов (азота, фосфора и калия) урожаем лекарственных растений (таблицы 54-56, Приложения 32-34).

Таблица 54 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов тысячелистником обыкновенным (в среднем за 2012-2014 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га			Вынос единиц продукции, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	294,2	49,0	196,3	23,8	8,9	18,6
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	372,6	70,5	218,4	29,1	10,6	20,4
Фон	Zn ₂₀	376,1	64,0	27,3	8,8	21,1
	Zn ₄₀	466,1	73,0	33,5	9,9	23,0
	Zn₆₀	485,9	80,6	35,0	11,4	24,3
	Zn ₈₀	419,7	70,0	30,7	10,0	22,4
	Cu _{2,4}	445,7	67,5	31,3	9,7	20,5
	Cu _{4,9}	476,4	72,8	32,1	10,0	21,2
	Cu _{7,2}	515,7	82,6	33,0	10,4	22,5
	Cu_{9,7}	536,9	101,4	34,3	11,5	22,2

Таблица 55 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов пижмой обыкновенной (в среднем за 2012-2014 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га			Вынос единиц продукции, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	323,8	60,8	290,4	25,33	6,17	32,77
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	350,3	70,8	324,0	26,43	6,70	38,27
Фон	Zn ₂₀	431,3	90,8	27,33	6,97	40,73
	Zn ₄₀	485,2	101,4	28,50	7,23	42,33
	Zn₆₀	581,0	127,5	30,13	7,87	46,13
	Zn ₈₀	443,4	86,5	28,20	7,17	41,23
	Cu _{2,4}	443,6	87,6	27,63	7,10	38,37
	Cu _{4,9}	476,8	100,7	29,20	7,50	39,87
	Cu_{7,2}	549,2	109,2	30,93	7,53	42,10
	Cu _{9,7}	470,5	83,7	31,57	6,97	42,07

Таблица 56 – Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов эхинацей пурпурной (в среднем за 2016-2018 гг.)

Вариант		Вынос, кг/га			Вынос единицей продукции, кг/т		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		144,6	25,0	193,6	23,8	3,3	36,0
N ₁₂₅ (Фон)		166,0	27,5	214,4	24,9	3,4	37,4
Фон	Zn _{10,7}	181,4	32,5	239,1	25,5	3,6	40,3
	Zn_{21,4}	200,7	40,4	281,4	25,3	3,9	41,4
	Zn _{32,4}	176,6	31,3	230,3	27,0	4,1	42,4
	Zn _{42,8}	161,5	35,4	213,4	24,8	4,2	40,5
	Cu _{2,3}	188,0	36,1	257,4	25,3	3,8	40,2
	Cu _{4,7}	219,0	43,6	306,4	26,0	4,0	40,7
	Cu _{7,0}	267,2	52,0	370,4	27,0	4,2	42,1
	Cu_{9,4}	252,1	59,3	406,1	27,6	4,6	44,2

На основании полученных данных следует отметить, что вынос макроэлементов по годам проводимых исследований происходит неравномерно. В первый год жизни при внесении в почву цинковых и медных удобрений лекарственные растения больше нуждались в азоте и калии. При этом вынос был невысоким за счет медленно растущей надземной массы. Во второй и последующие годы, когда корневая система прочно сформировалась, урожайность надземной массы увеличилась, соответственно увеличился и вынос элементов питания из почвы (Приложения 32-34).

В опыте с тысячелистником обыкновенным в среднем за годы исследований в варианте с максимальной урожайностью Cu_{9,7} вынос составил: N – 536,9, P₂O₅ – 101,4 и K₂O – 293,9 в соотношении N:P:K – 5,3:1,0:3,9 (таблица 54). Наибольшее количество азота, фосфора и калия растения пижмы обыкновенной в среднем за 2012-2014 гг. вынесли в варианте с максимальной урожайностью Zn₆₀, вынос составил: N – 581,0, P₂O₅ – 127,5 и K₂O – 556,2 кг/га в соотношении N:P:K – 4,6:1,0:4,4 (таблица 55). Из чего можно сделать вывод, что растения тысячелистника и пижмы обыкновенной использовали больше азота и калия нежели фосфора.

Анализ данных, представленных в таблице 56, показал, что в среднем за три года исследований растениями эхинацей пурпурной при внесении 21,4 кг Zn/га

азота, фосфора и калия выносятся соответственно 200,7, 40,4, 281,4 кг/га. В вариантах с медными удобрениями вынос фосфора и калия закономерно повышался при увеличении вносимой в почву меди и составил: P_2O_5 – 36,1-59,3 кг/га и K_2O – 257,4-406,1 кг/га. Вынос азота урожаем увеличивался до дозы внесения меди – 7,0 кг/га и изменялся от 188,0 до 267,2 кг/га.

Вынос урожаем и единицей продукции макроэлементов в опытах с лекарственными культурами был выше при внесении оптимальных доз цинковых и медных удобрений, выше которых данные показатели снижались.

Неодинаковая количественная потребность и интенсивность поглощения лекарственными растениями отдельных элементов минерального питания должны учитываться при разработке системы применения удобрений. Особенно важно обеспечить благоприятные условия питания растений в начале вегетации и в периоды максимального поглощения.

Лекарственные растения в течение вегетации потребляют определенное количество подвижных форм микро- и макроэлементов из почвы и внесенных микроудобрений. Усвояемые растениями в течение вегетации питательные вещества вычисляют в процентах по отношению к общему их содержанию в почве и называют коэффициентом использования питательных веществ (КИП). Коэффициент показывает, какое количество подвижных форм питательных элементов усваивается данной культурой, произрастающей на определённом типе почвы.

В ходе проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП, %) и удобрений (КИУ, %) тысячелистником обыкновенным, пижмой обыкновенной и эхинацеей пурпурной (Приложения 35-37).

Коэффициент использования цинка, меди, фосфора и калия из почвы (КИП) рассчитывали по формуле (249), азота (250):

$$\text{КИП, \%} = \frac{B_y}{C} \cdot 100 \%, \quad (249)$$

где B_y – вынос элемента биомассой, кг/га;

C – содержание элемента питания в почве, кг/га.

КИП по азоту рассчитывали с учетом биологического азота, т.к. по мнению Ю. И. Ермохина (1995), при определении КИП по азоту необходимо учитывать количество нитратов, образующихся в почве в период вегетации растений и накопленного в нижних слоях почвы.

$$\text{КИП}_N = \frac{B_y}{B_y + N_2} \quad \text{или} \quad \text{КИП}_N = \frac{B_y}{N_1 + N_6} \quad (250)$$

Обогащение почвы биологическим азотом (N_6) определяли по формуле:

$$N_6 = N_2 + B - N_1 \quad (251)$$

где N_1 и N_2 – содержание нитратного азота в слое почвы 0 - 30 см до посадки и в период уборки, кг/га;

B – вынос азота растением, кг/га.

Расчёт коэффициентов использования питательных веществ из почвы показал, что за три года исследований в опыте с тысячелистником и пижмой КИП азота в варианте Фон + Zn_{60} составил 91,0 и 91,6, фосфора – 24,4 и 33,1, калия – 68,0 и 78,1 и цинка – 4,2 и 2,0 % соответственно. На лучших по урожайности вариантах с медными удобрениями в опыте с тысячелистником обыкновенным (Фон + $Cu_{9,7}$) и пижмой обыкновенной (Фон + $Cu_{7,2}$) коэффициент использования азота был равен 91,8 и 88,2 %; фосфора – 28,6 и 28,8 %; калия – 66,2 и 74,1 % и меди – 16,9 и 7,2 % соответственно (таблицы 57-58). В опыте с эхинацеей пурпурной в варианте Фон+ $Zn_{21,4}$ коэффициент использования N – 69,8, P_2O_5 – 9,4; K_2O – 54,7; Zn – 0,57 и Cu – 2,0 %; в варианте Фон + $Cu_{9,4}$ коэффициент

использования N – 75,0, P₂O₅ – 14,7; K₂O – 58,0; Zn – 1,1 и Cu – 4,57 % (таблица 59).

Таблица 57 – Коэффициенты использования питательных элементов тысячелистником обыкновенным из почвы (средние данные)

Вариант опыта		КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
Контроль		88,8	18,1	59,5	2,3	7,9
Фон		90,1	24,9	58,9	2,4	5,2
Фон	Zn ₂₀	89,0	21,4	62,0	5,6	10,6
	Zn ₄₀	90,9	24,0	64,9	4,8	10,4
	Zn₆₀	91,0	24,4	68,0	4,2	10,0
	Zn ₈₀	87,5	22,8	61,1	6,2	8,5
	Cu _{2,4}	91,8	22,2	65,3	5,3	8,9
	Cu _{4,9}	91,5	22,3	65,8	4,9	12,2
	Cu _{7,2}	91,7	23,2	70,2	5,1	16,6
		91,8	28,6	66,2	4,2	16,9

Таблица 58 – Коэффициенты использования питательных элементов пижмой обыкновенной из почвы (средние данные)

Вариант опыта		КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
Контроль		90,6	21,0	66,0	6,4	7,9
Фон		89,1	23,2	66,0	6,5	7,7
Фон	Zn ₂₀	89,1	27,6	67,0	5,8	7,0
	Zn ₄₀	90,9	28,9	70,3	2,1	6,6
	Zn₆₀	91,6	33,1	78,1	2,0	7,8
	Zn ₈₀	90,6	23,9	64,0	5,9	7,5
	Cu _{2,4}	88,3	26,5	65,0	5,6	6,4
	Cu _{4,9}	87,5	27,1	68,3	4,3	7,2
	Cu_{7,2}	88,2	28,8	74,1	3,0	8,1
		89,3	21,7	64,6	2,7	7,2

Таблица 59 – Коэффициенты использования питательных элементов эхинацеей пурпурной из почвы (средние данные)

Вариант опыта		КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
1		2	3	4	5	6
Контроль		80,8	13,4	56,6	0,53	1,95
Фон		78,0	12,2	58,5	0,76	1,8
Фон	Zn _{10,7}	74,2	9,0	53,1	0,50	1,4
	Zn_{21,4}	69,8	9,4	54,7	0,57	2,0

Продолжение таблицы 59

1	2	3	4	5	6
Zn _{32,4}	70,1	7,5	40,6	0,36	2,0
Zn _{42,8}	72,4	7,9	33,2	0,31	2,5
Cu _{2,3}	78,6	12,4	50,7	1,00	2,5
Cu _{4,7}	78,4	13,8	51,5	1,22	3,0
Cu _{7,0}	79,0	13,4	57,5	1,16	4,1
Cu_{9,4}	75,0	14,7	58,0	1,10	4,6

Исходя из значений коэффициентов использования питательных элементов из почвы тысячелистником, пижмой и эхинацеей пурпурной (таблицы 57-59), следует отметить их различия. Так, КИП азота, меди и цинка выше в опытах с тысячелистником и пижмой обыкновенной, что вероятно связано с вносимыми дозами микроудобрений, а также биологическими особенностями выращиваемых культур. Таким образом, коэффициент использования лекарственными растениями элементов питания из почвы зависит от культуры и применяемых удобрений.

Известно, что удобрения являются мощным фактором, влияющим на доступность растениями питательных веществ из почвы (Кореньков, 1985; Сдобникова, 1985). В связи с этим очень важно определить коэффициент использования питательных веществ из удобрений (КИУ), который показывает долю потребления элементов питания растениями от общего количества вносимого элемента на создание прибавки урожая.

Коэффициенты использования питательных веществ из удобрений определяют разностным методом по формуле:

$$КИУ, \% = \frac{B_y - B_k}{D} \cdot 100, \quad (252)$$

где B_y – вынос элемента с урожаем в удобренном варианте, кг/га;

B_k – вынос элемента с урожаем на контроле (без удобрений), кг/га;

D – доза удобрений, кг/га д.в.

Ю. И. Ермохин (1995) предлагает использовать в качестве нормативной оценки эффективности внесенного удобрения показатель эффективности удобрения (ПЭУ), который определяется по формуле:

$$\text{ПЭУ} = \frac{B \cdot П}{У \cdot Д}, \quad (253)$$

где B – вынос питательного вещества биомассой растений в варианте с применением удобрений, кг/га;

$П$ – прибавка урожая, т/га;

$У$ – урожай в варианте с применением удобрений, т/га;

$Д$ – доза питательного вещества в удобрении, кг д.в./га.

На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты использования питательных веществ из удобрений (КИУ) и показатели эффективности удобрений (ПЭУ) для микроэлементов (по Zn и Cu определялись относительно фона) (таблицы 60-62).

Таблица 60 – Коэффициенты использования питательных элементов тысячелистником обыкновенным из удобрений и показатель эффективности удобрений (в среднем за период исследований)

Вариант опыта		КИУ, %		ПЭУ, %	
		Zn	Cu	Zn	Cu
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		-	-	-	-
Фон	Zn ₂₀	0,79	0,11	0,22	0,03
	Zn ₄₀	0,56	0,06	0,18	0,03
	Zn₆₀	0,46	0,04	0,16	0,02
	Zn ₈₀	0,35	0,03	0,09	0,01
	Cu _{2,4}	8,22	0,74	2,63	0,33
	Cu _{4,9}	4,59	0,75	1,66	0,29
	Cu _{7,2}	3,96	0,88	1,65	0,35
	Cu_{9,7}	3,08	0,85	1,32	0,34

Таблица 61 – Коэффициенты использования питательных элементов пижмой обыкновенной из удобрений и показатель эффективности удобрений (в среднем за период исследований)

Вариант опыта		КИУ, %		ПЭУ, %	
		Zn	Cu	Zn	Cu
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		-	-	-	-
Фон	Zn ₂₀	0,56	0,05	0,28	0,036
	Zn ₄₀	0,52	0,05	0,23	0,029
	Zn₆₀	0,59	0,07	0,29	0,037
	Zn ₈₀	0,40	0,03	0,07	0,007
	Cu _{2,4}	6,42	0,13	1,95	0,189
	Cu _{4,9}	1,92	0,22	1,08	0,146
	Cu_{7,2}	2,32	0,36	1,25	0,186
	Cu _{9,7}	1,62	0,24	0,28	0,041

Таблица 62 – Коэффициенты использования питательных элементов эхинацей пурпурной из удобрений и показатель эффективности удобрений (в среднем за период исследований)

Вариант опыта		КИУ, %			ПЭУ, %		
		N	Zn	Cu	N	Zn	Cu
N ₁₂₅ (Фон)		17,2	-	-	11,3	-	-
Фон	Zn _{10,7}	29,5	0,65	-	21,4	0,07	0,01
	Zn_{21,4}	44,9	0,51	0,04	38,9	0,12	0,02
	Zn _{32,4}	25,6	0,25	0,02	3,7	-	-
	Zn _{42,8}	13,5	0,23	0,03	6,54	-	-
	Cu _{2,3}	34,8	3,04	0,30	34,1	0,74	0,16
	Cu _{4,7}	59,5	2,98	0,34	56,8	1,00	0,18
	Cu _{7,0}	98,1	2,57	0,49	87,5	1,11	0,25
	Cu_{9,4}	86,0	2,45	0,55	87,1	1,09	0,27

Наиболее благоприятные условия для произрастания культур, создания высокого урожая и потребления элементов питания из удобрений в среднем за годы исследований сложились в вариантах Cu_{9,7} (тысячелистник обыкновенный), Zn₆₀ (пижма обыкновенная), Cu_{9,4} (эхинацея пурпурная), поэтому для расчета оптимальных доз удобрений под изучаемые лекарственные растения необходимо использовать нормативные данные, представленные в таблице 63.

Таблица 63 – Нормативные физиолого-агрохимические показатели
минерального питания лекарственных культур

Культура	Показатель, %	Оптимальная доза	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
<i>Тысячелистник обыкновенный</i>	КИП	Cu _{9,7}	91,8	28,6	66,2	4,2	16,9
	КИУ		-	-	-	3,1	0,85
	ПЭУ		-	-	-	1,3	0,34
<i>Пижма обыкновенная</i>	КИП	Zn ₆₀	91,6	33,1	78,1	2,0	7,8
	КИУ		-	-	-	0,59	0,07
	ПЭУ		-	-	-	0,29	0,037
<i>Эхинацея пурпурная</i>	КИП	Cu _{9,4}	75,0	14,7	58,0	1,1	4,6
	КИУ		86,0	-	-	2,5	0,55
	ПЭУ		87,1	-	-	1,1	0,27

Результаты таблицы наглядно свидетельствуют, что предложенный новый подход позволяет более точно установить величину питательных веществ, используемых из удобрений, а найденные агрохимические показатели являются основой экспериментальной почвенной диагностики изучаемых лекарственных культур.

Таким образом, по мнению Ю. И. Ермохина (1995), учитывая потребности растений и их способности к усвоению этих веществ, а также способности почв удовлетворять потребность растений питательными веществами появляется возможность разработать динамическую систему применения удобрений – один из главных путей в повышении урожайности и качества в данном случае тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной с одновременным балансом ионного равновесия элементов питания в почве и повышением почвенного плодородия за счет рационального применения удобрений.

4.6 Влияние цинковых и медных удобрений на накопление доступного азота в почве под лекарственными растениями

Дефицит азота представляет научный и практический интерес для агрохимии, изучающей трансформацию азота в системе «почва – удобрение – растение» с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур высокого качества в биологическом отношении (Ермохин, 2008).

В свое время изучением вопросов агрохимии азота удобрений занимались такие ученые, как Д. А. Кореньков (1976), В. Н. Кудеяров, В. Н. Башкин (1976), А. Е. Кочергин (1979), В. И. Никитишен (1984), Г. П. Гамзиков и др. (1985), В. Н. Башкин (1987), Ю. И. Ермохин (1995, 1999) и другие.

Сейчас особый интерес представляет проблема диагностики азотного питания и эффективности применения удобрений для конкретных культур.

Среди отечественного опыта диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур, начиная с пятидесятых годов, уделяется должное внимание сибирским исследованиям, в первых рядах которых стоит профессор А. Е. Кочергин и его школа.

Разработанная Ю. И. Ермохиным система «ИСПРОД», базируется на концепции единства почвы и растений, и считает, что азотное питание тесно связано с фосфорно-калийным питанием. Данная система основана на трех главных принципах:

1) способности почвы удовлетворить потребность растений питательными веществами (нитратным азотом, подвижным фосфором, обменным калием, микроэлементами);

2) потребности растений и их способности к усвоению этих веществ в конкретных условиях сельскохозяйственного производства (*ПЭУ*, *КИП*, накоплением доступного азота под растением – N_m , вынос элементов питания в различные фазы роста и т.д.);

3) состояние питания растений и расчет доз удобрений в период роста и развития (оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов в листьях и целых растениях по фазам роста и развития, K_n – коэффициента потребности в питательных веществах, « b » – коэффициента интенсивности действия внесенного удобрения на его химический состав и т. д.).

Решение этих трех принципов производится по результатам экстрагирования элементов питания из почвы и растений (неорганические формы) 2%-ной уксуснокислой вытяжкой. Данный метод достаточно чувствителен, быстр, хорошо зарекомендовал себя в условиях Сибири с большим набором выращивания зерновых, кормовых, овощных культур и картофеля.

В данном подразделе рассматривается динамика накопления доступного азота почвы под лекарственными растениями, в зависимости от действия природных факторов, способствующих обогащению верхнего горизонта почвы азотом с учетом биологии изучаемых культур.

Установление оптимальных параметров содержания доступного азота почвы для лекарственных растений позволит определить их потребность в азотных удобрениях методом элементарного баланса:

а) учитывают вынос азота лекарственными растениями в фазу цветения – N_6 , кг/га;

б) наличие весной в почве минерального азота ($N-NO_3$ в слое 0-30 или 0-40 см) $-N_n$, кг/га;

в) остаток минерального ($N-NO_3$) азота в почве под растением в конкретные фазы развития культуры – N_o , кг/га.

Наряду с симбиотической фиксацией молекулярного азота несимбиотическое связывание азота атмосферы – один из основных потоков азота в биосферу. Агрогеохимическая роль данного источника поступления азота весьма велика. Необходимо отметить обнаружение повышенной активности азотфиксации в фитоплане (ризосфере и филлосфере) небобовых растений. Это явление получило название ассоциативной азотфиксации (Башкин, 1987). М. М.

Умаров с соавторами (1985) представили данные по активности несимбиотической азотфиксации в ризосфере различных растений.

Л. Ф. Васюк (1989) отмечает, что в природе существует около 12 тысяч растений различных семейств, способных к ассоциативной азотфиксации с почвенными микроорганизмами. Фиксация атмосферного азота обнаружена у представителей семейств злаков, крестоцветных, гречишных, бурачниковых и др. (Емцев, Ницэ, 1985; Venkatazaman, 1982). Установлено, что не только в тропических зонах, но и в условиях умеренного климата многие растения стимулируют развитие азотфиксирующих микроорганизмов в зоне корня.

Размеры фиксации азотфиксирующих микроорганизмов в ассоциациях корней небобовых с диазотрофами очень различны и, согласно литературным данным в зависимости от вида растений и климатических зон колеблются в пределах от 3 до 170 кг/га в год (Vose, 1983).

В. Н. Башкин (1987) также отмечает, что несимбиотическая фиксация азота в ризосфере может достигать значительных величин (50-150 кг/га). Связанный микроорганизмами азот атмосферы может активно участвовать в процессах внутрипочвенного азотного цикла и воздействовать на азотное питание растений. Согласно данным В. Т. Емцева и др. (1985) несимбиотическая активность фиксации азота возрастала в ряду «овес < ячмень < кукуруза».

Содержание в почве минерального азота, внесенного в виде минеральных азотных удобрений или образовавшегося вследствие протекания процесса азотминерализации, является важнейшим агрогеохимическим фактором, определяющим активность азотфиксации (Башкин, 1987). Внесение азота в дозах 50-100 кг/га или навоза (20-30 т/га) в определенных условиях не только не угнетает азотфиксацию, но способствует ее интенсификации (Покровский, 1979; Charuylu, Rao, 1981; Knowles, 1977).

К настоящему времени накоплено достаточно сведений о большой практической значимости процесса ассоциативной азотфиксации. Разработаны методы определения активности усвоения атмосферного азота. Можно высказать

предположение о заметной роли этого вида азотфиксации в азотном балансе почв (Васюк, 1989).

В литературе не уделялось внимание несимбиотической фиксации азота в ризосфере лекарственных растений за счет свободноживущих азотфиксаторов. Предложенная нами методика накопления доступного азота почвы под растением (N_m , кг/га) в период роста и развития суммарно опосредована такими величинами, как: вынос азота растением (N_v , кг/га), остаток минерального азота ($N-NO_3$) в почве под растением (N_o , кг/га) и размер минерализации органического вещества почвы – текущая нитрификация (Ермохин, 2008; Ермохин и др., 2008).

В таблицах 64-66 показана динамика накопления доступного минерального азота почвы под растениями тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной, рассчитанная по формуле (254):

$$N_m = N_v + N_o - N_n, \text{ кг/га}; \quad (254)$$

где N_m – накопление доступного минерального азота почвы под растениями в зависимости от биологии развития культуры, кг/га;

N_v – потребности лекарственных растений и их способности к усвоению азота в конкретных условиях (вынос азота растениями, кг/га с учетом коэффициента использования азота из почвы (КИП, %);

N_o – остаток минерального ($N-NO_3$) азота в почве под растением, приуроченный к определенным фазам онтогенеза, кг/га;

N_n – содержание нитратного азота в почве до посадки растений, кг/га.

Таблица 64 – Динамика доступного азота в лугово-черноземной почве под тысячелистником обыкновенным (в среднем за 2012-2014 гг.)

Вариант	Содержание $N-NO_3$ в почве, кг/га		Вынос азота урожаем (N_v), кг/га	Баланс азота (B_N), кг/га	N_m , кг/га	КИП азота
	до посадки (N_n)	остаток под растением (N_o)				
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение таблицы 64

1	2	3	4	5	6	7
Контроль	24,1	36,4	294,2	330,6	306,5	0,89
Фон	29,5	40,3	372,6	412,9	383,4	0,90
Zn ₆₀	41,3	48,6	485,9	534,5	493,2	0,91
Cu _{9,7}	45,3	48,3	536,9	585,2	539,9	0,92

Таблица 65 – Динамика доступного азота в лугово-черноземной почве под пижмой обыкновенной (в среднем за 2012-2014 гг.)

Вариант	Содержание N-NO ₃ в почве, кг/га		Вынос азота урожаем (N _в), кг/га	Баланс азота (B _N), кг/га	N _м , кг/га	КИП азота
	до посадки (N _н)	остаток под растением (N _о)				
Контроль	27,5	33,6	323,8	357,4	329,9	0,91
Фон	42,3	42,9	350,3	393,2	350,9	0,89
Zn ₆₀	60,2	53,6	581,0	634,6	574,4	0,92
Cu _{7,2}	60,4	73,8	549,2	623,0	562,6	0,89

Таблица 66 – Динамика доступного азота в лугово-черноземной почве под эхинацеей пурпурной (в среднем за 2016-2018 гг.)

Вариант	Содержание N-NO ₃ в почве, кг/га		Вынос азота урожаем (N _в), кг/га	Баланс азота (B _N), кг/га	N _м , кг/га	КИП азота
	до посадки (N _н)	остаток под растением (N _о)				
Контроль	39,3	34,3	144,6	178,9	139,6	0,81
Фон	53,4	46,8	166,0	212,8	159,4	0,78
Zn _{21,4}	75,6	86,7	200,7	287,4	211,8	0,70
Cu _{9,4}	70,7	84,0	252,1	336,1	265,4	0,75

Таким образом, согласно первому пункту «ИСПРОД» – способности почв удовлетворять потребность лекарственных растений в азоте можно сделать вывод, что для формирования на лучших вариантах опыта урожаев сухого вещества тысячелистника обыкновенного 13,4 т/га (Cu_{9,7}), пижмы обыкновенной – 20,2 т/га (Zn₆₀), эхинацеи пурпурной – 13,2 т/га (Cu_{9,4}) накопление доступного азота почвы (N-NO₃, кг/га) под растениями к периоду уборки составляет:

тысячелистник обыкновенный $N_m = 536,9 + 48,3 - 45,3 = 539,9$ кг/га;

пижма обыкновенная $N_m = 581,0 + 53,6 - 60,2 = 574,4$ кг/га;

эхинацея пурпурная $N_m = 252,1 + 84,0 - 70,7 = 265,4$ кг/га.

При учете уровня содержания $N-NO_3$ в слое почвы 0-30 см до посадки (N_n) лекарственных культур на лучших по урожайности вариантах опыта и накопления доступного азота в почве под растениями (N_m , кг/га) в период уборки (таблицы 64-66) баланс минерального азота почвы в виде B_{N-NO_3} можно рассчитать по формулам (255-256):

$$B_{N-NO_3} = N_n + N_m, \text{ кг/га} \quad (255)$$

или
$$B_{N-NO_3} = \frac{N_e}{КИП}, \text{ кг/га} \quad (256)$$

Приведем расчёты баланса азота для лекарственных растений:

Тысячелистник обыкновенный:

$$B_{N-NO_3} = 45,3 \text{ кг} + 539,9 \text{ кг} = 585,2 \text{ кг/га};$$

$$B_{N-NO_3} = 536,9 / 0,92 = 583,6 \text{ кг/га}.$$

Пижма обыкновенная:

$$B_{N-NO_3} = 60,2 \text{ кг} + 574,4 \text{ кг} = 634,6 \text{ кг/га};$$

$$B_{N-NO_3} = 581,0 / 0,92 = 631,5 \text{ кг/га}.$$

Эхинацея пурпурная:

$$B_{N-NO_3} = 70,7 \text{ кг} + 265,4 \text{ кг} = 336,1 \text{ кг/га};$$

$$B_{N-NO_3} = 252,1 / 0,75 = 336,1 \text{ кг/га}.$$

Из данных таблиц 64-66 можно сделать вывод, что фактический баланс азота в почве, рассчитанный по формуле (255) и установленный с учетом потребности культур в азоте, их способности к усвоению азота из почвы (формула 256) хорошо согласуются между собой.

Если полученные в процессе исследования величины накопления доступного минерального азота в почве (N_m) под растениями и способности растений к усвоению азота из почвы ($КИП$) считать в качестве «нормативных» количественных характеристик, то их можно использовать в практическом земледелии при диагностировании азотного питания, прогнозировании величины урожая и расчёта доз удобрений для конкретных культур (в данном случае тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной).

Таким образом, установлено, что для получения урожая сухого вещества тысячелистника обыкновенного до 13,4 т/га, пижмы обыкновенной до 20,2 т/га и эхинацеи пурпурной до 13,2 т/га оптимальное количество содержания минерального азота ($N-NO_3$) в слое почвы 0-30 см должно быть 45,3, 60,2 и 70,7 кг/га соответственно.

Данный уровень содержания $N-NO_3$ в почве (кг/га), как оптимальная величина подтверждается и балансовым методом расчета по формуле (257):

$$N - NO_3 = \frac{B}{КИП} - N_m \quad (257)$$

где $N-NO_3$ – количество азота почвы, способное удовлетворить потребность растений в конкретную фазу роста, кг/га;

B – потребность растений в азоте в конкретную фазу роста и развития, кг/га;

$КИП$ – способности растений к усвоению минерального азота почвы в основные фазы развития, кг/га;

N_m – величина мобилизационного минерального азота в почве под растением, кг/га.

В качестве примера сделаем расчеты по определению $N-NO_3$, кг/га:

Тысячелистник обыкновенный, фаза цветения

$B - 536,9$ кг/га

$КИП - 0,92$

$N_m - 539,9$ кг/га

$N-NO_3$, кг/га?

$$N-NO_3 = \frac{N_B}{0,92} - N_m = \frac{536,9}{0,92} - 539,9 = 43,7 \text{ кг/га}$$

или 12,0 мг/кг

Пижма обыкновенная, фаза цветения

$B - 581,0$ кг/га

$КИП - 0,92$

$N_m - 574,4$ кг/га

$N-NO_3$, кг/га?

$$N-NO_3 = \frac{N_B}{0,92} - N_m = \frac{581,0}{0,92} - 574,4 = 57,1 \text{ кг/га}$$

или 15,9 мг/кг

Эхинацея пурпурная, фаза цветения

 $B - 252,1$ кг/га $KИП - 0,75$ $N_M - 265,4$ кг/га $N-NO_3$, кг/га?

$$N-NO_3 = \frac{N_B}{0,75} - N_M = \frac{252,1}{0,75} - 265,4 = 70,7 \text{ кг/га}$$

или 19,6 мг/кг

Таким образом, определение оптимальных параметров накопления доступного (минерализованного) азота почвы под растением и других агрохимических и физиологических характеристик, в рамках концепции единства почвы и растения позволило на лугово-черноземной почве Западной Сибири разработать оптимальные уровни содержания $N-NO_3$ в почве слоя 0 – 30 см в пределах 44-45,0 кг/га для получения урожая сухого вещества тысячелистника обыкновенного – 13,4 т/га; 57-60,0 кг/га для получения урожая сухого вещества пижмы обыкновенной – 20,2 т/га; 71,0 кг/га для получения урожая сухого вещества эхинацеи пурпурной – 13,2 т/га.

Математическая обработка, представленных выше данных, позволила выявить зависимость накопления мобилизационного азота в почве под растениями от уровня содержания $N-NO_3$ в почве до посадки лекарственных культур (уравнения 258-263).

тысячелистник	$Y_{Zn} = 9,80 x + 79,16$	$r = 0,82$	(258)
---------------	---------------------------	------------	-------

	$Y_{Cu} = 8,72 x + 169,51$	$r = 0,84$	(259)
--	----------------------------	------------	-------

пижма	$Y_{Zn} = 12,30 x - 169,5$	$r = 0,99$	(260)
-------	----------------------------	------------	-------

	$Y_{Cu} = 8,90 x + 32,43$	$r = 0,86$	(261)
--	---------------------------	------------	-------

эхинацея	$Y_{Zn} = 2,83 x + 43,3$	$r = 0,97$	(262)
----------	--------------------------	------------	-------

	$Y_{Cu} = 8,10 x - 232,5$	$r = 0,96$	(263)
--	---------------------------	------------	-------

Таким образом, внесение Zn и Cu удобрений на фоне NPK повышало содержание нитратного азота в слое почвы 0-30 см, что в свою очередь увеличивало мобилизацию доступного азота под растениями (N_M , кг/га). Так, в

вариантах с цинковыми удобрениями, 1 кг/га нитратного азота увеличивал азот мобилизации на 9,80 (тысячелистник, уравнение 258), 12,30 (пижма, уравнение 260) и 2,83 (эхинацея, уравнение 262) кг/га. При использовании медных удобрений, каждый кг N-NO₃ повышал Nm на 8,10 (эхинацея, уравнение 263), 8,72 (тысячелистник, уравнение 259) и 8,90 (пижма, уравнение 261) кг/га.

Выводы

1. Содержание кислоторастворимых форм цинка и меди в лугово-черноземной почве заметно повышалось при внесении в почву микроудобрений и было близко к их региональному фоновому валовому содержанию в черноземах юга Западной Сибири. Превышения ОДК цинка и меди в исследуемых вариантах опыта не отмечается.

2. Содержание подвижных форм цинка и меди при внесении различных доз микроудобрений находится в пределах агрохимической, биогеохимической и гигиенических норм и не превышает ПДК. Подвижность данных форм микроэлементов в почвах очень низка, из-за чего отмечается их недостаток в почве.

3. На основе выявленных математических уравнений установлены количественные параметры взаимосвязей содержания подвижных форм макро- и микроэлементов от доз вносимых в почву микроудобрений – коэффициенты интенсивности действия поступившего элемента на химический состав почвы «*b*» (уравнения 87-126; 135-218), с использованием которых предложены формулы для расчета доз микроудобрений (уравнения 129-134). Предложены уравнения регрессии, позволяющие прогнозировать содержание подвижных форм микроэлементов в почве.

4. Установлена высокая зависимость урожайности лекарственных растений от содержания подвижных форм цинка и меди в слое почвы 0-30 см (таблица 45), что создало предпосылки к разработке оптимальных уровней содержания и

соотношения Zn и Cu, в почве для конкретных величин урожая изучаемых культур с учетом возрастных изменений растительного организма.

5. На основании многолетних полевых опытов определены оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов ($N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O , Zn и Cu) в лугово-черноземной почве, которые позволяют диагностировать эффективность микроудобрений и нормировать их дозы внесения в почву, с целью оптимизации микроэлементного питания тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной (таблицы 41-44; 48).

6. Определены нормативные агрохимические показатели (вынос N, P_2O_5 , K_2O , Zn и Cu, КИП, КИУ, ПЭУ, N_m) эффективности применения цинковых и медных удобрений под лекарственные растения – тысячелистник обыкновенный, пижму обыкновенную, эхинацею пурпурную на лугово-черноземной почве, необходимые для расчета потребности лекарственных культур в элементах минерального питания (таблицы 49-51, 54-66).

Использование данных характеристик позволяет научно прогнозировать действие удобрений на химический состав растений и проводить необходимые подкормки, используя формулу листового анализа (406).

ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ

Использование каждого в отдельности из существующих сегодня методов (полевой опыт, визуальный, почвенный, растительный) не может дать исчерпывающей информации о режиме питания растений, поэтому в последнее время большой интерес представляет комплексный подход, который объединяет все перечисленные выше методы и позволяет определять потребности растений в удобрениях, устанавливать оптимальные дозы и соотношения питательных веществ, сроки и способы их внесения под определённую культуру в конкретных почвенно-климатических условиях (Ермохин, 1995, 2021). В основу комплексного подхода положен метод обратной связи в системе «удобрение – почва – растение» – идентификация ответной реакции почвы и развивающихся на этой почве растений.

Недостаточное или избыточное содержание макро- и микроэлементов в почве и растениях, нарушение ионного соотношения между элементами приводит к снижению продуктивности и качества растениеводческой продукции. Химический состав растений отражает изменения, происходящие в почвенной среде, в связи с применением удобрений, и находится в определенной взаимосвязи с конечным урожаем. При этом, не всегда наивысшему урожаю соответствует наибольшая концентрация элементов в растении (Ермохин, Складорова, 2007). Разные виды растений, произрастающие в одной и той же местности на одной и той же почве, предъявляют неодинаковые требования к содержанию элементов питания в почве. В определённые фазы развития и в зависимости от внешних условий, количество доступных питательных веществ для разных культур будет отличаться. В связи с этим большое значение имеет изучение химического состава растений в условиях применения макро- и микроудобрений.

В данной главе нами дана эколого-агрохимическая оценка макро- и микроэлементного состава лекарственных растений при внесении в почву

цинковых и медных удобрений. Установлены оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов, особенности биологического накопления микроэлементов растениями.

5.1 Содержание валовых макроэлементов в лекарственных растениях в условиях обогащения цинком и медью

Для диагностики условий питания растений по их химическому составу, необходимо знать, как меняется концентрация минеральных элементов в растениях в зависимости от возраста и фазы развития. Располагая этими сведениями, можно правильно определить какая именно концентрация соответствует недостатку, обеспеченности и избытку элементов питания. Ведь несбалансированное минеральное питание может не только не увеличить продуктивность культур, но снизить качество в результате повышенного или пониженного поступления элементов в растения (Ермохин, 1983, 1995).

Применение химического анализа растений в целях диагностики основывается главным образом на том, что между содержанием какого-либо элемента в почве корневой зоны и количеством его в растениях существует положительная зависимость. Растения при взаимодействии корневой системы с растворенными в почве удобрениями поглощают их составные части, и прочно фиксируют их в клетках и тканях. Поступившие в растения питательные элементы положительно влияют на рост и развитие, а, следовательно, и на урожайность сельскохозяйственных культур.

В отличие от почвенного анализа метод растительной диагностики, отражает поступление и накопление макро- и микроэлементов в растениях в основные периоды их роста и развития, позволяет определить потребность культур в элементах питания. Используя результаты химического анализа растений, можно получить сведения об их уровне минерального питания и

использовать эти данные для уточнения анализа почв, доз удобрений с целью повышения эффективности их использования (Ермохин, 1995).

Внесение в почву различных доз цинковых и медных микроудобрений под лекарственные растения позволило установить взаимозависимости поступления макроэлементов (N, P, K) в растения в течение всего вегетационного периода.

Согласно приложениям 38-39, общее содержание азота, фосфора и калия (%) в растениях **тысячелистника обыкновенного** изменяется в широких пределах, и зависит как от фазы онтогенеза, так и от года действия и последствий различных доз микроудобрений.

В таблице 67 представлены средние данные содержания N, P, K в растениях тысячелистника обыкновенного в фазы отрастания и цветения.

Таблица 67 – Содержание общего азота, фосфора, калия в растениях тысячелистника обыкновенного в зависимости от доз микроудобрений (средние данные за 2012-2014 гг.)

		В %					
Вариант		Фаза отрастания			Фаза цветения		
		N	P	K	N	P	K
Контроль		3,5	0,44	2,8	2,4	0,39	1,6
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		3,8	0,53	3,0	2,9	0,46	1,7
Фон	Zn ₂₀	3,9	0,45	3,1	2,7	0,39	1,8
	Zn ₄₀	4,4	0,53	3,5	3,4	0,43	1,9
	Zn₆₀	4,5	0,57	3,7	3,5	0,50	2,0
	Zn ₈₀	4,3	0,53	3,2	3,1	0,44	1,9
	Cu _{2,4}	3,9	0,50	2,9	3,1	0,42	1,7
	Cu _{4,9}	4,2	0,53	3,4	3,2	0,44	1,8
	Cu _{7,2}	4,5	0,55	3,6	3,3	0,45	1,9
	Cu_{9,7}	4,6	0,55	3,5	3,4	0,50	1,8

Внесение возрастающих доз цинка от низких Zn₂₀ (0,25 ПДК Zn) до оптимальных Zn₆₀ (0,75 ПДК Zn) кг д.в./га способствовало достоверному увеличению валового азота и калия в растениях, как в фазу отрастания, так и цветения (таблица 67). При этом наши данные согласуются с многочисленными исследованиями ряда авторов (Аштаб, 1994; Ермохин, Синдирева, 2011; Серегина, 2000, 2006, 2018 и др.), в которых показано, что между цинком и азотом отмечаются синергетические

взаимодействия, что, вероятно, связано с участием цинка в азотном обмене. Содержание фосфора в растениях тысячелистника в вариантах Zn_{20-60} изменялось от 0,45 до 0,57 % (фаза отрастания) и от 0,39 до 0,50 % (фаза цветения), но было на уровне или ниже значений фонового варианта (таблица 67). В литературе имеются сведения, что при внесении цинка в почву содержание фосфора в тканях растений снижается, т.е. между цинком и фосфором проявляются антагонистические отношения (Диброва, 1966; Ермохин, Синдирева, 2011; Сладкова, 2016; Krempner R. et al., 2010 и др.). По мнению Т. А. Парибок, Н. В. Алексеевой-Поповой (1965), при недостатке цинка фосфоорганические соединения быстро гидролизуются, что приводит к ускорению цикла превращения неорганического фосфора и в конечном счете ведет к усиленному его поглощению растениями. Соответственно, при внесении цинковых удобрений, наблюдается обратная ситуация.

Внесение в почву медных удобрений и в фазу отрастания, и в фазу цветения повышали содержание азота и калия в растениях тысячелистника. Содержание фосфора, также, как и при внесении цинковых удобрений было ниже или на уровне фонового варианта (таблица 67). И. А. Булдыкова, А. Ю. Проказина (2020) в своих исследованиях тоже отмечают положительное влияние медных удобрений на метаболизм азота и калия в растениях люцерны. Так, при применении медного удобрения ими был отмечен наибольший эффект: содержание азота и калия в растениях по сравнению с фоновым вариантом увеличилось на 0,11 и 0,08 % соответственно. Повышение содержания N, P_2O_5 и K_2O в растениях проса при применении медных удобрений обнаружено в исследованиях Т. Ф. Персиковой и Ю. В. Коготько (2020).

На основании экспериментальных данных системы «микроудобрения – растение» с помощью статистического метода анализа были получены математические уравнения влияния Zn и Cu на содержание элементов питания (N, P, K) в растениях тысячелистника (таблица 68, уравнения 264-275).

Внесение в почву 1 кг д.в./га цинка повышало содержание в растениях азота и калия и в фазу отрастания, и в фазу цветения на 0,01 % (уравнения 264, 268, 270, 274).

Коэффициенты интенсивности действия, исходя из уравнений (265, 267, 269) показывают, что при внесении в почву 1 кг медных удобрений содержание азота, фосфора и калия в фазу отрастания увеличится соответственно на 0,08, 0,004 и 0,07 %, в фазу цветения N повысится на 0,05 %, калий на 0,02 % (уравнения 271, 275). Не выявлено прямых зависимостей между содержанием фосфора в растениях и дозами цинковых и медных удобрений (уравнения 266, 272-273).

Таблица 68 – Математические зависимости содержания макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного (%) от разового внесения в почву цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га) (средние данные за 2012-2014 гг.)

Фаза отбора	Уравнение зависимости	r, η
Отрастание	$Y_N = 0,01 Zn + 3,74$ (264)	r = 0,96
	$Y_N = 0,08 Cu + 3,78$ (265)	r = 0,98
	$Y_P = 7E-05 Zn^2 - 0,004 Zn + 0,52$ (266)	η = 0,86
	$Y_P = 0,004 Cu + 0,51$ (267)	r = 0,69
	$Y_K = 0,01 Zn + 2,92$ (268)	r = 0,97
	$Y_K = 0,07 Cu + 2,94$ (269)	r = 0,86
Цветение	$Y_N = 0,01 Zn + 2,76$ (270)	r = 0,85
	$Y_N = 0,05 Cu + 2,95$ (271)	r = 0,98
	$Y_P = 9E-05 Zn^2 - 0,005 Zn + 0,46$ (272)	η = 0,98
	$Y_P = 0,002 Cu^2 - 0,02 Cu + 0,46$ (273)	η = 0,97
	$Y_K = 0,01 Zn + 1,67$ (274)	r = 0,99
	$Y_K = 0,02 Cu + 1,68$ (275)	r = 0,91

В приложениях 40-41 и таблице 69 представлено содержание основных питательных элементов (N, P, K) в растениях **пижмы обыкновенной**.

Таблица 69 – Содержание макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений (средние данные за 2012-2014 гг.)

		В %					
Вариант		Фаза отрастания			Фаза цветения		
		N	P	K	N	P	K
1		2	3	4	5	6	7
Контроль		3,3	0,43	3,3	2,5	0,27	2,7
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		3,5	0,46	3,5	2,6	0,29	3,2
Фон	Zn ₂₀	3,7	0,50	3,5	2,9	0,30	3,4
	Zn ₄₀	3,9	0,52	3,7	2,8	0,31	3,5

Продолжение таблицы 69

1		2	3	4	5	6	7
	Zn₆₀	4,2	0,58	4,0	2,9	0,34	3,8
	Zn ₈₀	3,9	0,52	3,5	2,8	0,32	3,4
	Cu _{2,4}	3,7	0,52	3,5	2,9	0,31	3,4
	Cu _{4,9}	4,0	0,56	3,7	2,9	0,33	3,3
	Cu_{7,2}	4,2	0,58	3,9	3,0	0,33	3,3
	Cu _{9,7}	4,1	0,53	3,9	3,2	0,30	3,5

С увеличением запасов питательных веществ в почве, благодаря возрастающим дозам Zn и Cu удобрений (в пределах оптимальной дозы), внесенных по фону N₁₃₅P₄₅K₄₅, происходит увеличение процентного содержания элементов питания (N, P, K) в растениях пижмы обыкновенной в основные фазы онтогенеза (таблица 69). Установлено, что при оптимальном соотношении элементов в растениях эффект их взаимодействия возрастает в положительном направлении, т.е. наблюдается явление синергизма. При дальнейшем переходе элемента через оптимальный уровень до высоких дозировок эффект взаимодействия элементов в растениях изменяется, принимая часто противоположные направления (Ермохин, Синдирева, 2011). И. А. Булдыкова и др. (2015) в своих исследованиях тоже отмечают, что улучшение обеспеченности подсолнечника микроэлементами положительно сказывается на метаболизме азота, фосфора и калия в растениях. Под их воздействием растения в период активного роста поглощают больше азота, фосфора и калия, чем контрольные, а при созревании семян они полнее аттрагируются в генеративные органы.

Исследования, проведенные нами, дали возможность получить математические модели, отображающие зависимости содержания азота, фосфора и калия в растениях пижмы обыкновенной (%) от разового внесения в почву цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га). В результате были получены эмпирические уравнения регрессионного типа (таблица 70, уравнения 276-287).

С увеличением запаса цинка в почве, в пределах оптимальной дозы (60 кг/га), в среднем за 2012-2014 гг. происходит повышение процентного содержания общего азота, фосфора и калия в растениях в фазу отрастания соответственно на 0,01, 0,002,

0,009 % (таблица 70, уравнения 276, 278, 280). В фазу цветения коэффициенты интенсивности действия («b») одного килограмма цинковых удобрений на содержание N, P, K в растениях составили: «b_N» – 0,004, «b_P» – 0,008, «b_K» – 0,01 % (таблица 70, уравнения 282, 284, 286). Установленные коэффициенты интенсивного действия показывают на сколько изменяется содержание азота, фосфора и калия в растениях пижмы при внесении 1 кг цинкового удобрения.

Таблица 70 – Математические зависимости содержания макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной (%) от разового внесения в почву цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га) (средние данные за 2012-2014 гг.)

Фаза отбора	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Отрастание	$Y_N = 0,01 \text{ Zn} + 3,49$ (276)	$r = 0,99$
	$Y_N = 0,09 \text{ Cu} + 3,50$ (277)	$r = 0,99$
	$Y_P = 0,002 \text{ Zn} + 0,46$ (278)	$r = 0,98$
	$Y_P = 0,02 \text{ Cu} + 0,47$ (279)	$r = 0,98$
	$Y_K = 0,009 \text{ Zn} + 3,39$ (280)	$r = 0,97$
	$Y_K = 0,06 \text{ Cu} + 3,41$ (281)	$r = 0,98$
Цветение	$Y_N = 0,004 \text{ Zn} + 2,69$ (282)	$r = 0,88$
	$Y_N = 0,04 \text{ Cu} + 2,71$ (283)	$r = 0,84$
	$Y_P = 0,008 \text{ Zn} + 0,29$ (284)	$r = 0,96$
	$Y_P = 0,006 \text{ Cu} + 0,29$ (285)	$r = 0,95$
	$Y_K = 0,01 \text{ Zn} + 3,16$ (286)	$r = 0,98$
	$Y_K = 0,02 \text{ Cu} + 3,23$ (287)	$r = 0,69$

Внесение в почву каждого килограмма медных удобрений в среднем за годы исследований увеличивало в растениях пижмы обыкновенной в фазу отрастания и цветения соответственно содержание азота на 0,09 и 0,04 % (уравнения 277, 283), фосфора на 0,02 и 0,006 % (уравнения 279, 285) и калия на 0,06 и 0,02 % (уравнения 281, 287). Таким образом, полученные уравнения указывают на сопряженность содержания макроэлементов в растениях пижмы и доз вносимых медных удобрений.

В таблице 71, Приложениях 42-43 представлены экспериментальные данные содержания общего азота, фосфора и калия в растениях **эхинацеи пурпурной** по фазам роста и развития.

Таблица 71 – Содержание валовых макроэлементов (N, P, K) в растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений

Вариант		Фаза отрастания*			Фаза цветения**			В %
		N	P	K	N	P	K	
Контроль		2,4	0,08	3,6	2,4	0,14	3,0	
N ₁₂₅ (Фон)		2,6	0,08	3,7	2,5	0,14	3,1	
Фон	Zn _{10,7}	2,7	0,09	3,8	2,6	0,15	3,4	
	Zn_{21,4}	2,8	0,09	3,7	2,5	0,17	3,4	
	Zn _{32,4}	2,8	0,10	3,6	2,7	0,18	3,5	
	Zn _{42,8}	2,6	0,09	3,4	2,5	0,18	3,4	
	Cu _{2,3}	2,7	0,08	3,6	2,5	0,16	3,3	
	Cu _{4,7}	2,7	0,09	3,6	2,6	0,17	3,4	
	Cu _{7,0}	2,8	0,09	3,7	2,7	0,18	3,5	
	Cu_{9,4}	2,9	0,10	3,7	2,8	0,20	3,7	

Примечание: *средние данные за 2017-2018 гг.; ** средние данные за 2016-2018 гг.

Так, в период весеннего отрастания с увеличением доз цинковых удобрений до оптимальной 21,4 кг д.в./га содержание %N в растениях эхинацеи пурпурной повышается до 2,8 %, %P и %K остаётся практически на одном уровне (P – 0,09 %, K – 3,7-3,8 %). В фазу цветения в вариантах с цинковыми удобрениями содержание азота и калия незначительно снизилось (N = 2,5-2,6 %; K = 3,5 %), а содержание фосфора возросло (P – 0,15-0,17 %) (таблица 71).

В фазы отрастания и цветения внесение медных удобрений повышало содержание основных элементов питания в растениях эхинацеи пурпурной. Так, в пределах оптимальной дозы меди (9,4 кг д.в./га) в фазу отрастания содержание азота изменялось от 2,7 до 2,9 %, фосфора – 0,08-0,10 % и калия – 3,6-3,7 %. В фазу цветения в вариантах с медными удобрениями содержание N составляло 2,5-2,8 %, фосфора – 0,16-0,20 % и калия – 3,4-3,7 % (таблица 71).

Используя экспериментальные данные таблицы 71, нами получены математические модели, отображающие зависимости содержания азота (%N), фосфора (%P) и калия (%K) в растениях эхинацеи от доз применяемых цинковых и медных удобрений (таблица 72).

Таблица 72 – Математические зависимости содержания макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной (%) от разового внесения цинковых и медных удобрений в почву (Zn, Cu, кг д.в./га)

Фаза отбора	Период исследований	Уравнение регрессии	r, η
Отрастание	в среднем за 2017-2018 гг.	$Y_N = 0,01 Zn + 2,58$ (288)	r = 0,99
		$Y_N = 0,04 Cu + 2,57$ (289)	r = 0,99
		$Y_P = 0,0005 Zn + 0,08$ (290)	r = 0,87
		$Y_P = 0,002 Cu + 0,08$ (291)	r = 0,95
		$Y_K = -0,0004 Zn^2 + 0,01 Zn + 3,72$ (292)	η = 0,99
		$Y_K = 0,005 Cu^2 - 0,04 Cu + 3,69$ (293)	η = 0,75
Цветение	в среднем за 2016-2018 гг.	$Y_N = 0,002 Zn + 2,50$ (294)	r = 0,65
		$Y_N = 0,03 Cu + 2,47$ (295)	r = 0,99
		$Y_P = 0,001 Zn + 0,14$ (296)	r = 0,98
		$Y_P = 0,006 Cu + 0,14$ (297)	r = 0,99
		$Y_K = 0,02 Zn + 3,13$ (298)	r = 0,97
		$Y_K = 0,06 Cu + 3,12$ (299)	r = 0,99

Согласно полученным эмпирическим уравнениям регрессионного типа (таблица 72), каждый килограмм внесенного цинка в пределах 60 кг д.в./га в лугово-черноземную почву под эхинацею пурпурную незначительно повышает в растениях к периоду отрастания и цветения соответственно содержание N – 0,01, P – 0,0005 % и N – 0,002, P – 0,001, K – 0,02 % (уравнения 288, 290, 294, 296, 298).

Идентификация ответной реакции растений эхинацеи пурпурной на внесение каждого килограмма медного удобрения в почву проявляется в виде увеличения содержания NPK в фазу цветения, что соответствует коэффициентам интенсивного действия на химический состав растений: « b_N » – 0,03, « b_P » – 0,006 и « b_K » – 0,06 % (уравнения 295, 297, 299).

5.2 Содержание минеральных форм макроэлементов (Nн, Pн, Kс) в лекарственных растениях в условиях применения цинковых и медных удобрений

С целью диагностики условий питания лекарственных растений (тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной)

по фазам их роста и развития было определено содержание минеральных элементов нитратного азота (N_н), неорганического фосфора (P_н) и свободного калия (K_с) в листьях растений в зависимости от содержания подвижных форм цинка и меди в почве и применяемых расчетных доз микроудобрений (Тищенко, 2011) (Приложения 44-52).

Содержание минеральных форм NPK в растениях **тысячелистника обыкновенного** в основные фазы развития культуры в среднем за годы исследований представлены в таблице 73, по годам жизни тысячелистника обыкновенного в Приложениях 44-46.

Таблица 73 – Содержание макроэлементов (N_н, P_н, K_с) в растениях тысячелистника обыкновенного в основные фазы развития в зависимости от доз микроудобрений (в среднем за период исследований), мг/%

Вариант		Фаза отрастания			Фаза бутонизации			Фаза цветения		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		152,1	16,6	400,9	93,0	14,0	462,0	102,7	17,7	361,0
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		156,7	18,6	408,3	97,9	15,4	473,7	108,9	20,0	370,2
Фон	Zn ₂₀	162,1	19,4	417,9	103,9	16,3	482,8	121,0	21,2	387,3
	Zn ₄₀	166,6	21,0	427,0	109,6	17,4	498,5	125,8	22,4	391,5
	Zn₆₀	188,2	23,5	440,9	134,3	18,6	533,2	139,4	23,2	403,0
	Zn ₈₀	167,3	21,5	443,2	129,2	19,2	490,7	143,4	21,5	393,0
	Cu _{2,4}	162,9	20,5	415,9	114,4	17,3	463,2	137,5	20,8	373,9
	Cu _{4,9}	174,8	21,5	429,1	118,6	18,7	500,2	143,6	23,2	387,8
	Cu _{7,2}	196,5	22,3	439,8	126,2	20,1	512,6	156,9	24,1	395,7
	Cu_{9,7}	206,7	21,6	409,8	137,9	19,9	467,2	132,3	21,3	395,0

Данные таблицы 73 дали возможность получить математические уравнения, отображающие связи различных доз микроудобрений с содержанием азота, фосфора

и калия в растениях тысячелистника обыкновенного в период его роста и развития (таблица 74, уравнения 300-317).

Таблица 74 – Математические зависимости содержания макроэлементов в тысячелистнике обыкновенном (мг/%) от разового внесения цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га) (в среднем за период исследований)

Фаза отбора	Уравнение регрессии	r, η
Отрастание	$Y_{Nн} = 0,50 Zn + 153,55$ (300)	$r = 0,93$
	$Y_{Nн} = 5,51 Cu + 152,84$ (301)	$r = 0,98$
	$Y_{Pн} = 0,08 Zn + 18,18$ (302)	$r = 0,97$
	$Y_{Pн} = 0,32 Cu + 19,34$ (303)	$r = 0,86$
	$Y_{Kс} = 0,53 Zn + 407,49$ (304)	$r = 0,99$
	$Y_{Kс} = -0,95 Cu^2 + 10,30 Cu + 404,12$ (305)	$\eta = 0,84$
Бутонизация	$Y_{Nн} = 0,57 Zn + 94,19$ (306)	$r = 0,93$
	$Y_{Nн} = 3,79 Cu + 100,64$ (307)	$r = 0,98$
	$Y_{Pн} = 0,05 Zn + 15,32$ (308)	$r = 0,99$
	$Y_{Pн} = 0,49 Cu + 15,92$ (309)	$r = 0,95$
	$Y_{Kс} = 0,97 Zn + 467,92$ (310)	$r = 0,96$
	$Y_{Kс} = -1,16 Cu^2 + 12,75 Cu + 462,53$ (311)	$\eta = 0,64$
Цветение	$Y_{Nн} = 0,48 Zn + 109,33$ (312)	$r = 0,99$
	$Y_{Nн} = 2,72 Cu + 122,68$ (313)	$r = 0,59$
	$Y_{Pн} = 0,05 Zn + 20,08$ (314)	$r = 0,99$
	$Y_{Pн} = -0,11 Cu^2 + 1,28 Cu + 19,46$ (315)	$\eta = 0,88$
	$Y_{Kс} = 0,51 Zn + 372,61$ (316)	$r = 0,97$
	$Y_{Kс} = 2,95 Cu + 370,25$ (317)	$r = 0,95$

Полученные уравнения (таблица 74, уравнения 300-317) указывают на тесную связь содержания неорганических форм азота, фосфора и калия в растениях тысячелистника от доз вносимых цинковых и медных удобрений ($r = 0,93-0,99$).

Содержание неорганических форм азота, фосфора и калия (Nн, Pн, Kс) в листьях растений **пижмы обыкновенной** в фазы отрастания, бутонизации и цветения представлено в Приложениях 47-49 и таблице 75.

Таблица 75 – Содержание макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений по фазам роста и развития (в среднем за период исследований), мг/%

Вариант		Фаза отрастания			Фаза бутонизации			Фаза цветения		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		107,3	18,0	638,3	87,9	14,3	564,3	111,7	15,6	431,7
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		110,3	18,2	646,5	90,2	14,9	559,9	115,1	16,2	455,0
Фон	Zn ₂₀	113,5	18,8	642,2	94,5	15,7	584,7	114,8	17,1	461,9
	Zn ₄₀	126,5	19,3	656,7	98,1	17,0	598,3	117,6	18,2	479,3
	Zn₆₀	143,1	21,6	665,8	99,9	17,7	610,5	128,8	19,5	470,8
	Zn ₈₀	106,5	18,9	654,0	90,6	15,1	573,2	129,2	18,8	448,2
	Cu _{2,4}	104,2	18,8	641,1	88,6	15,3	574,1	111,6	17,5	439,2
	Cu _{4,9}	111,6	19,2	679,1	92,8	16,3	595,9	116,6	18,5	464,7
	Cu_{7,2}	119,2	18,4	634,6	102,5	17,5	603,5	131,1	20,6	474,6
	Cu _{9,7}	128,0	17,3	599,0	96,7	16,2	603,8	126,0	19,3	461,1

Экспериментальные данные таблицы 75 были статистически обработаны и оформлены в виде математических моделей связи содержания макроэлементов в растениях по фазам роста и развития от разового внесения в почву цинковых и медных удобрений (таблица 76, уравнения 318-335).

Таблица 76 – Математические зависимости содержания макроэлементов в пижме обыкновенной (мг/%) от разового внесения цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га) (в среднем за период исследований)

Фаза отбора	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r, η)
1	2	3
Отрастание	$Y_{Nн} = 0,56 Zn + 106,64$ (318)	r = 0,96
	$Y_{Nн} = 1,41 Cu + 106,20$ (319)	r = 0,71
	$Y_{Pн} = 0,05 Zn + 17,87$ (320)	r = 0,93
	$Y_{Pн} = -0,06Cu^2 + 0,46Cu + 18,17$ (321)	η = 0,96
	$Y_{Kс} = 0,36 Zn + 641,95$ (322)	r = 0,88
	$Y_{Kс} = -1,67Cu^2 + 12,24Cu + 640,09$ (323)	η = 0,56

Продолжение таблицы 76

1	2	3
Бутонизация	$Y_{Nн} = 0,16 \text{ Zn} + 90,78$ (324)	$r = 0,98$
	$Y_{Nн} = 1,70 \text{ Cu} + 87,38$ (325)	$r = 0,85$
	$Y_{Pн} = 0,05 \text{ Zn} + 14,87$ (326)	$r = 0,99$
	$Y_{Pн} = 0,36 \text{ Cu} + 14,66$ (327)	$r = 0,98$
	$Y_{Kс} = 0,83 \text{ Zn} + 563,55$ (328)	$r = 0,98$
	$Y_{Kс} = 6,34 \text{ Cu} + 560,35$ (329)	$r = 0,99$
Цветение	$Y_{Nн} = 0,22 \text{ Zn} + 112,52$ (330)	$r = 0,86$
	$Y_{Nн} = 2,17 \text{ Cu} + 110,83$ (331)	$r = 0,79$
	$Y_{Pн} = 0,06 \text{ Zn} + 16,04$ (332)	$r = 0,99$
	$Y_{Pн} = 0,59 \text{ Cu} + 16,03$ (333)	$r = 0,99$
	$Y_{Kс} = 0,32 \text{ Zn} + 457,05$ (334)	$r = 0,79$
	$Y_{Kс} = 3,50 \text{ Cu} + 445,7$ (335)	$r = 0,72$

В Приложении 50-52 и в таблице 77 представлены данные содержания минеральных форм NPK в растениях **эхинацеи пурпурной** в фазы отрастания, бутонизации и цветения.

Таблица 77 – Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в основные фазы развития в зависимости от доз микроудобрений (в среднем за период исследований), мг/%

Вариант		Фаза отрастания			Фаза бутонизации			Фаза цветения		
		Nн	Pн	Kс	Nн	Pн	Kс	Nн	Pн	Kс
Контроль		146,6	12,1	363,1	136,5	13,4	346,6	75,0	12,1	240,4
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		201,0	12,4	378,2	140,8	13,9	352,2	85,0	12,6	262,3
Фон	Zn _{10,7}	219,5	14,4	405,3	148,9	14,2	369,2	88,1	16,5	283,1
	Zn_{21,4}	237,5	16,1	440,8	167,9	15,2	389,2	110,1	16,9	293,3
	Zn _{32,4}	248,6	15,7	437,7	198,7	17,4	374,4	109,7	14,4	269,9
	Zn _{42,8}	217,4	18,3	431,0	174,8	18,3	368,0	105,2	14,3	264,7
	Cu _{2,3}	233,8	15,7	403,8	149,3	15,9	387,3	100,2	13,9	267,3
	Cu _{4,7}	254,1	16,0	426,2	164,1	16,7	398,5	103,0	14,2	271,4
	Cu _{7,0}	270,9	17,6	440,1	172,0	18,7	395,3	108,3	14,4	277,2
	Cu_{9,4}	241,4	14,9	437,5	173,8	19,0	409,8	118,6	15,3	273,2

Полученные экспериментальные данные позволили построить связи и получить уравнения регрессионного типа (таблица 78, уравнения 336-353), которые указывают на тесную связь содержания нитратного азота, неорганического фосфора и свободного калия от вносимых доз цинковых и медных удобрений, внесенных под эхинацею пурпурную на лугово-черноземной почве в зональных условиях Западной Сибири.

Таким образом, уравнения (336-353) позволяют сделать заключение о возможности проводить контроль питания растений с помощью химического анализа растений по периодам роста и развития и прогнозировать эффективность удобрений.

Таблица 78 – Математические зависимости содержания макроэлементов в листьях эхинацеи пурпурной (мг/100 г) от разового внесения цинковых и медных удобрений (Zn, Cu, кг д.в./га) (в среднем за период исследований)

Фаза отбора	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r, η)
Отрастание	$Y_{Nn} = 1,71 Zn + 201,08$ (336)	$r = 0,99$
	$Y_{Nn} = 4,99 Cu + 216,85$ (337)	$r = 0,71$
	$Y_{Ph} = 0,17 Zn + 12,47$ (338)	$r = 0,99$
	$Y_{Ph} = 0,29 Cu + 13,97$ (339)	$r = 0,57$
	$Y_{Kc} = 2,92 Zn + 376,79$ (340)	$\eta = 0,99$
	$Y_{Kc} = 6,58 Cu + 386,37$ (341)	$r = 0,94$
Бутонизация	$Y_{Nn} = 1,27 Zn + 138,97$ (342)	$r = 0,97$
	$Y_{Nn} = 3,78 Cu + 142,32$ (343)	$r = 0,97$
	$Y_{Ph} = 0,06 Zn + 13,78$ (344)	$r = 0,94$
	$Y_{Ph} = 0,55 Cu + 14,25$ (345)	$r = 0,98$
	$Y_{Kc} = 1,73 Zn + 351,73$ (346)	$r = 0,99$
	$Y_{Kc} = 5,23 Cu + 3,64,12$ (347)	$r = 0,89$
Цветение	$Y_{Nn} = 1,17 Zn + 81,81$ (348)	$r = 0,92$
	$Y_{Nn} = 3,20 Cu + 88,02$ (349)	$r = 0,97$
	$Y_{Ph} = 0,20 Zn + 13,21$ (350)	$r = 0,91$
	$Y_{Ph} = 0,25 Cu + 12,92$ (351)	$r = 0,95$
	$Y_{Kc} = 1,45 Zn + 264,11$ (352)	$r = 0,98$
	$Y_{Kc} = 1,34 Cu + 264,00$ (353)	$r = 0,88$

5.3 Содержание микроэлементов в лекарственных растениях при применении микроудобрений

Формирование урожая и качество растениеводческой продукции зависят от химического состава растений. При чем интерес представляет изучение влияния тех микроэлементов, которые участвуют в биосинтезе биологически активных веществ, обуславливающих фармакологические эффекты лекарственных растений. В связи с этим важно проведение исследований по влиянию микроудобрений на элементный состав и соотношение микроэлементов в растениях (Ермохин, Синдирева, 2011).

Проведение полевых опытов с различными дозами микроудобрений под лекарственные культуры (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, эхинаcea пурпурная) позволило выявить их влияние на процесс поступления подвижных форм микроэлементов в растения и в итоге формирование урожая и качества.

В Приложении 53 представлены многолетние данные содержания цинка и меди в биомассе сухого вещества **тысячелистника обыкновенного** по годам проводимых исследований в фазу массового цветения.

В среднем за четыре года (2012-2015 гг.) использования тысячелистника обыкновенного при внесении в почву ацетата цинка в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га) содержание *цинка и меди* в растениях повышалось соответственно с 22,3 до 29,8 мг/кг и с 4,8 до 6,4 мг/кг (таблица 79). При внесении в почву медных удобрений в пределах оптимальных доз (2,4-9,7 кг д.в./га) концентрация меди варьировала от 2,9 до 6,8 мг/кг, содержание цинка повышалось с 22,7 до 26,3 мг/кг при фоновой концентрации – 11,3 мг/кг (Zharkova et al., 2020). По данным В.В. Семеновой, З.Г. Магомедалиевой (2009) среднее содержание цинка и меди в надземной части тысячелистника обыкновенного, произрастающего в условиях Дагестана, составляет соответственно 9,9 и 2,4 мг/кг. Эти данные хорошо согласуются с содержанием цинка и меди в траве тысячелистника на контрольном

варианте в наших исследованиях. В исследованиях S. Razic и др. (2008), R. Chizzolla и др. (2003), D. A. Diaconu-Popa и др. (2008) среднее содержание микроэлементов в траве тысячелистника обыкновенного, произрастающего в естественных условиях в европейских странах (Сербия, Австрия, Румыния и др.) варьировало: цинка – 12-28,5 мг/кг, меди – 2,1-9,1 мг/кг.

Исходя из того, что нормальный диапазон содержания меди в растениях составляет от 5 до 20 мг/кг (Kabata-Pendias, 2010), содержание ее в исследуемых растениях практически во всех вариантах с внесением микроудобрений укладывается в эти границы (таблица 79).

Таблица 79 – Содержание микроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу массового цветения, мг/кг (в среднем за 2012–2015 гг.)

Вариант		Цинк	«b», мг/кг	Медь	«b», мг/кг	Желе- зо*	«b», мг/кг	Мар- ганец*	«b», мг/кг
Контроль (без удобрений)		9,9	-	2,5	-	212,5	-	72,7	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		11,3	-	2,2	-	222,5	-	73,0	-
Фон	Zn ₂₀	22,3	0,55	4,8	0,13	229,5	0,35	68,0	-
	Zn ₄₀	26,5	0,38	5,4	0,08	244,0	0,54	71,5	-
	Zn₆₀	29,8	0,31	6,4	0,07	250,0	0,46	74,0	0,02
	Zn ₈₀	32,8	0,27	8,3	0,08	206,3	-	70,0	-
	Cu _{2,4}	22,7	4,8	2,9	0,29	232,5	4,2	70,0	-
	Cu _{4,9}	23,3	2,5	3,9	0,35	275,0	10,7	76,0	0,61
	Cu _{7,2}	25,3	1,9	5,1	0,40	250,0	3,8	78,0	0,69
	Cu_{9,7}	26,3	1,6	6,8	0,47	217,5	-	64,0	-
Оценка содержания									
МДУ (Временный..., 1987)		50	-	30	-	100	-	-	-
Критическое содержание (Baker, 1975)		300		150		750		300	
Фитотоксичное содержание (Verloo, 1982)		> 400		> 20		-		> 500	
Агрохи- мические и биогеохи- мические критерии**	недостаточное	<30		<10		-		<50	
		<20 – 30		<3 – 5		-		<20	
	нормальное	30 – 60		10 – 20		-		50 – 100	
		30 – 60		5 – 12		-		20 – 60	
	избыточное	>60		>20		-		>100	
		>60 – 100		>20 – 40		-		>60 – 70	

Примечание: «b» – коэффициент интенсивности действия дозы микроудобрения на содержание Zn, Cu, Fe, Mn (мг/кг) в растениях; * – содержание железа и марганца приводится в среднем за 2012-2014 гг; ** – над чертой по В. Н. Башкину и др. (1993), под чертой по В. В. Ковальскому (1974).

Избыточного содержания меди даже в вариантах с внесением медных удобрений не отмечалось. А. Л. Ковалевский (1991) относил медь к элементам с барьерным типом поглощения растениями. Это факт нашел подтверждение и в опытах Э. Д. Орловой (1971) установившей, что даже при высоком содержании микроэлемента в почве медь накапливается в растениях в небольших концентрациях. Н. А. Дьякова (2020а) в своих исследованиях тоже отмечает, что тысячелистник обыкновенный способен концентрировать медь и цинк в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при высоком содержании в почвах данных элементов растение физиологически блокирует поступление Zn и Cu в его надземную часть.

Содержание *железа* при внесении цинковых удобрений в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га) возросло с 229,5 до 250,0 мг/кг. При использовании медных удобрений в пределах 9,7 кг д.в./га содержание железа было выше, чем при внесении цинковых удобрений, и изменялось от 217,5 (9,7 кг д.в./га) до 275,0 (4,9 кг д.в./га) мг/кг (таблица 79). По литературным данным среднее содержание железа в растениях составляет 20-80 мг/кг сухой массы (Масленников и др., 2016). Нормой считается содержание железа в надземной фитомассе травянистых растений от 50,0 до 240,0 мг/кг сухого вещества (Аминеева, Бусканова, 2009). ПДК Железа для травянистых растений не установлена, критической концентрацией считается 750 мг/кг сухого вещества (Ильин, Сысо, 2001).

Наши исследования показали, что концентрация железа в образцах растений тысячелистника обыкновенного была достаточно высокой и превышала МДУ в грубых кормах для крупного рогатого скота, но при этом была ниже критической концентрации (750 мг/кг). Высокое содержание железа в растениях тысячелистника было отмечено в работах других ученых (Масленников и др., 2016; Сиромля, 2019; Сысо, Сиромля, 2018). Так, по данным П.В. Масленникова и др. (2016), содержание железа в листьях тысячелистника, произрастающего в зоне рекреации и отдыха, было высоким и составляло 233,0 мг/кг. Т.И. Сиромля (2019)

установила, что в растительных образцах тысячелистника обыкновенного, отобранного в Инюшевском бору г. Новосибирск, содержание железа составляло 190 мг/кг, при этом в аптечном сырье оно было еще выше и достигало 30 мг/кг. По данным В.В. Семеновой (2020), максимальное содержание железа (475-945 мг/кг) наблюдается в листьях растений тысячелистника обыкновенного всех физико-географических зон.

Таким образом, установленное многими исследователями высокое содержание железа в растениях тысячелистника возможно связано с биологическими особенностями данной культуры.

Содержание *марганца* при внесении в почву ацетата цинка повышалось (68-74 мг/кг), но было ниже фоновых значений (73 мг/кг). Медные удобрения, внесенные в почву, изменяли содержание марганца от 64,0 (1,0 ПДК Cu) до 78,0 (0,75 ПДК Cu) мг/кг (таблица 79). По данным П. В. Масленникова и др. (2015), содержание марганца в растениях тысячелистника обыкновенного, произрастающего в наиболее распространенных городских ландшафтах города Калининграда (ландшафт рекреации и отдыха, селитебный и промышленно-коммунальный ландшафт) значительно изменяется. Так, содержание марганца, произрастающего в зоне рекреации и отдыха (фон), составляло 51,2 мг/кг, в селитебной зоне – 126,4 мг/кг и в промышленно-коммунальной зоне – 136,4 мг/кг. В. В. Семеновой (2020) установлено, что содержание марганца в растениях тысячелистника обыкновенного снижается при увеличении высотной зональности. Ею отмечается, что в растениях низменной зоны (0-160 м над уровнем моря) содержание марганца варьировало от 32,0 до 86,4 мг/кг, в предгорной зоне (840-950 м) – 27,5-33,7 мг/кг и в среднегорной зоне (1181-1810 м) – 17,0-61,0 мг/кг.

Для растений симптомы марганцевой недостаточности могут проявляться при концентрациях 20-30 мг/кг сухой массы, дефицит элемента для животных наблюдается при концентрации его в корме менее 50 мг/кг (Биогеохимические...,

1993; Ковальский, 1974). Согласно приведенным критериям содержание марганца в растениях тысячелистника оценивалось как нормальное (таблица 79).

Микроэлементы по среднему содержанию их в растениях тысячелистника обыкновенного можно расположить в следующий ряд в порядке убывания: $Fe > Mn > Zn > Cu$ (таблица 79). Эти данные согласуются с исследованиями В. В. Семеновой (2020).

Тысячелистник обыкновенный, используется в кормопроизводстве и обладает ценными кормовыми качествами, поэтому оценивая элементный химический состав культуры, как источника грубого или сочного корма для сельскохозяйственных животных с позиций минеральной полноценности и экологической безопасности (по МДУ), можно констатировать, что количество микроэлементов в растениях в основном соответствует биогеохимическим нормам, за исключением содержания железа, находящегося в избытке. В то же время содержание Zn , Cu , Fe , Mn в растениях тысячелистника обыкновенного было значительно ниже критических и фитотоксичных их значений, приводимых в работах ряда авторов [385, 615]. Согласно агрохимическим и биогеохимическим критериям оценки, содержание цинка и меди в растениях тысячелистника на контроле и фоне было критически недостаточным для нормального роста и развития культуры (ниже установленных значений). После внесения микроудобрений (0,25 – 1,0 ПДК Zn , Cu) в почву под растения содержание цинка и меди оценивалось, как нормальное (таблица 79).

В Приложении 54 и таблице 80 представлено содержание цинка и меди в биомассе сухого вещества **пижмы обыкновенной** по годам проводимых исследований в фазу массового цветения.

В исследованиях с пижмой обыкновенной максимальные концентрации цинка в растениях отмечались в год действия микроудобрений (2012 г.) и изменялись в вариантах с Zn удобрениями от 35,0 до 55,0 мг/кг сухого вещества (Приложение 45). В годы последействия (2013-2015 гг.) концентрация этого элемента в растениях пижмы обыкновенной снизилась до 22,7-45,7 мг/кг.

Использование медных удобрений также приводило к увеличению концентрации подвижной меди в растениях пижмы обыкновенной как в годы действия, так и последействия (Приложение 45). Снижение концентрации микроэлементов в годы последействия (2013-2015 гг.) обусловлено так называемым ростовым разбавлением, так как пижма обыкновенная многолетнее растение и наибольшая урожайность отмечалась во вторые-третьи годы роста и развития культуры.

Таблица 80 – Содержание цинка и меди в растениях пижмы обыкновенной в фазу массового цветения, мг/кг (в среднем за 2012–2015 гг.)

Вариант опыта		Цинк	«b», мг/кг	Медь	«b», мг/кг	Желе- зо*	«b», мг/кг	Мар- ганец *	«b», мг/кг
Контроль (без удобрений)		17,3	-	4,2	-	295,5	-	129,5	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		17,0	-	4,4	-	212,5	-	128,5	-
Фон	Zn ₂₀	25,8	0,44	5,7	0,07	255,5	5,4	133,5	0,25
	Zn ₄₀	28,3	0,28	6,5	0,05	320,5	1,1	138,5	0,25
	Zn₆₀	39,7	0,38	7,7	0,06	335,0	2,0	150,5	0,37
	Zn ₈₀	48,0	0,39	8,3	0,05	163,5	-	123,5	-
	Cu _{2,4}	25,3	3,5	4,3	-	260,0	45,0	135,0	2,7
	Cu _{4,9}	29,3	2,5	4,5	0,02	282,5	9,7	153,0	5,0
	Cu_{7,2}	33,7	2,3	4,9	0,07	320,5	9,7	156,0	3,8
	Cu _{9,7}	40,7	2,4	6,0	0,16	285,0	7,5	160,5	3,3
МДУ (Временный...,1987)		50		30		100		-	
Критическое содержание (Baker, 1975)		300		150		750		300	
Фитотоксичное содержание (Verloo, 1982)		> 400		> 20		-		> 500	
Агрохими- ческие и биогеохи- мические критерии**	недостаточное	$\frac{<30}{<20-30}$		$\frac{<10}{<3-5}$		-		$\frac{<50}{<20}$	
	нормальное	$\frac{30-60}{30-60}$		$\frac{10-20}{5-12}$		-		$\frac{50-100}{20-60}$	
	избыточное	$\frac{>60}{>60-100}$		$\frac{>20}{>20-40}$		-		$\frac{>100}{>60-70}$	

Примечание: «b» – коэффициент интенсивности действия дозы микроудобрения на содержание Zn, Cu, Fe, Mn (мг/кг) в растениях; * – содержание железа и марганца приводится в среднем за 2012-2014 гг; ** – над чертой по В.Н. Башкину и др. (1993), под чертой по В.В. Ковальскому (1974).

В среднем за годы исследований (2012-2015 гг.) при внесении цинковых удобрений в пределах оптимальной дозы (60 кг д.в./га) содержание *цинка* изменялось – 25,8-39,7 мг/кг, *меди* – 5,7-7,7 мг/кг, *железа* – 255,5-335,0 мг/кг,

марганца – 133,5-150,5 мг/кг. В свою очередь медные удобрения (до оптимальной дозы 7,2 кг д.в./га) повышали содержание *цинка* до 25,3-33,7 мг/кг, *меди* – 4,3-4,9 мг/кг, *железа* – 260,0-320,5 мг/кг, *марганца* – 135,0-156,0 мг/кг (таблица 80). Причем содержание железа и марганца как при внесении цинковых, так и медных удобрений, было примерно на одном уровне.

По данным Н. А. Дьяковой (2020б), в цветках пижмы обыкновенной собранной в местах, испытывающих на себе различное антропогенное влияние (Воронежская область) содержание цинка изменяется соответственно от 18,5 (биосферный заповедник) до 49,0 (вдоль железной дороги) мг/кг, меди – от 3,7 (биосферный заповедник) до 12,8 (вдоль железной дороги и автотрассы) мг/кг.

Согласно исследованиям П. В. Масленникова и др. (2016), содержание железа и марганца в листьях пижмы обыкновенной, произрастающей в зоне рекреации и отдыха, составляло соответственно 317,2 и 77,6 мг/кг, в селитебной зоне – 381,6 и 89,4 мг/кг, в промышленно-коммунальной и транспортной зоне – 438,3 и 111,9 мг/кг. При этом критический уровень, установленный для железа (750 мг/кг), не был превышен.

Концентрация цинка, меди, железа и марганца в растениях пижмы обыкновенной была заметно выше, чем в растениях тысячелистника обыкновенного. Эти данные согласуются с исследованиями Т. В. Бобрик (2006), которой отмечено, что минимальное содержание цинка из семейства астровых было у тысячелистника обыкновенного (8,50 мг/кг сухого веса), максимальное – у пижмы обыкновенной (47,4 мг/кг). Тысячелистник обыкновенный условно был отнесен к видам с низким содержанием цинка (менее 20 мг/кг), а пижма обыкновенная соответственно к высоким (более 40 мг/кг).

В растениях пижмы обыкновенной микроэлементы по среднему содержанию их в растениях можно расположить в следующий ряд в порядке убывания: $Fe > Mn > Zn > Cu$ (таблица 80).

Оценка растений пижмы обыкновенной с экологических позиций во многом сходна с тысячелистником обыкновенным. МДУ_{Zn} и МДУ_{Cu} в среднем за период

исследований 2012-2015 гг. не был превышен, за исключением железа (таблица 80). Единственное незначительное превышение МДУ по содержанию цинка было отмечено в год действия (2012 г.) на варианте с максимальной дозой Zn 80 кг д.в./га и составило 55 мг/кг при максимально-допустимом содержании – 50 мг/кг (Приложение 54). В то же время содержание цинка, меди, железа и марганца в растениях пижмы обыкновенной было значительно ниже критических и фитотоксичных значений. Согласно агрохимическим и биогеохимическим критериям, содержание цинка и меди в растениях пижмы на контрольном и фоновом варианте было критически недостаточным для нормального роста и развития растений (таблица 80). После внесения в почву под растения пижмы обыкновенной расчетных доз цинковых и медных удобрений (0,25 – 1,0 ПДК) содержание данных микроэлементов в растениях стало оцениваться, как нормальное (Zharkova et al., 2020).

В Приложении 55 представлено содержание цинка и меди в биомассе сухого вещества **эхинацеи пурпурной** по годам проводимых исследований в фазу массового цветения.

Дозы цинка от 10,7 до 21,4 кг д.в./га в среднем за 2016-2018 гг. приводили к увеличению накопления Zn в растениях по сравнению с фоном от 11,1 до 12,7 мг/кг, что ниже, чем в растениях тысячелистника и пижмы обыкновенной в 2-3 раза (таблица 81) (Жаркова и др., 2021).

В среднем за 2016-2018 гг. при внесении 1,0 ПДК Cu ($\text{Cu}_{9,4}$) её концентрация в растениях эхинацеи увеличилась до 4,3 мг/кг, или на 104,7 %, в сравнении с фоновым вариантом. Стоит отметить, что в растениях эхинацеи содержание цинка было больше по сравнению с медью. Эти данные согласуются с исследованиями (Razic S. S. et al., 2003), в которых авторы отмечают, что цинк (помимо Fe, Mn и Ca) в растениях эхинацеи присутствует в значительно больших концентрациях, чем медь.

Таблица 81 – Содержание цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной в фазу массового цветения, мг/кг (в среднем за 2016–2018 гг.)

Вариант		Цинк	«b», мг/кг	Медь	«b», мг/кг
Контроль (без удобрений)		4,4	-	2,1	-
Фон (N ₁₂₅)		4,6	-	2,1	-
Фон	Zn _{10,7}	11,1	0,61	2,1	-
	Zn_{21,4}	12,7	0,38	2,7	0,03
	Zn _{32,4}	13,9	0,29	3,5	0,04
	Zn _{42,8}	15,8	0,26	4,4	0,05
	Cu _{2,3}	9,9	2,30	2,6	0,22
	Cu _{4,7}	13,3	1,85	2,8	0,15
	Cu _{7,0}	14,6	1,43	3,5	0,20
	Cu_{9,4}	17,1	1,33	4,3	0,23
МДУ (Временный..., 1987)		50		30	
Критическое содержание (Baker, 1975)		300		150	
Фитотоксичное содержание (Verloo, 1982)		> 400		> 20	
Агрохими- ческие и биогеохи- мические критерии*	недостаточное	$\frac{<30}{<20 - 30}$		$\frac{<10}{<3 - 5}$	
		$\frac{30 - 60}{30 - 60}$		$\frac{10 - 20}{5 - 12}$	
	нормальное	$\frac{30 - 60}{30 - 60}$		$\frac{10 - 20}{5 - 12}$	
		$\frac{30 - 60}{30 - 60}$		$\frac{10 - 20}{5 - 12}$	
	избыточное	$\frac{>60}{>60 - 100}$		$\frac{>20}{>20 - 40}$	
		$\frac{>60}{>60 - 100}$		$\frac{>20}{>20 - 40}$	

Примечание: «b» – коэффициент интенсивности действия дозы микроудобрения на содержание Zn, Cu (мг/кг) в растениях; * – над чертой по В. Н. Башкину и др. (1993), под чертой по В. В. Ковальскому (1974).

Оценивая содержание цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной с экологических позиций можно заключить, что МДУ, критические и фитотоксические значения не были превышены. Согласно агрохимическим и биогеохимическим критериям, содержание цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной даже после внесения микроудобрений было недостаточным (Zn < 20-30; Cu < 3-5) (таблица 81).

Взаимосвязи микроэлементов в питании лекарственных растений

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,

1995). В связи с этим особое внимание было уделено изучению взаимодействия микроэлементов друг с другом в процессе поступления их в растения.

Многолетние полевые опыты позволили установить взаимосвязи между внесенными в почву различными дозами цинковых и медных удобрений (X , кг Zn, Cu/га) и ответной реакцией содержания Zn и Cu в лекарственных растениях (Y , мг Zn, Cu/кг), а также получить коэффициенты интенсивности действия (« b ») единицы внесенных элементов питания в почву на химический состав растений по годам жизни культур (таблицы 82-84, уравнения 354-405).

В среднем за годы исследований в опыте с тысячелистником (2012–2015 гг.) каждый кг Zn удобрений повышал содержание в растениях цинка на 0,30 мг/кг, меди – на 0,07 мг/кг (таблица 82, уравнения 368-369); а 1 кг внесённых Cu удобрений увеличивал содержание меди – на 0,47 мг/кг, цинка – на 1,35 мг/кг (таблица 82, уравнения 370-71).

Таблица 82 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений, внесенных в почву, и содержанием Zn и Cu в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу цветения

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	Коэффициент интенсивности действия « b »	Коэффициент корреляции (r)	Взаимоотношения
1-й (2012 г.)	$Y_{Zn1} = 0,30 Zn + 12,90$ (354)	0,30	$r = 0,99$	-
	$Y_{Cu1} = 0,16 Zn + 3,27$ (355)	0,16	$r = 0,96$	Синергизм
	$Y_{Cu1} = 0,33 Cu + 1,56$ (356)	0,33	$r = 0,84$	-
	$Y_{Zn1} = 0,66 Cu + 15,20$ (357)	0,66	$r = 0,71$	Синергизм
2-й (2013 г.)	$Y_{Zn2} = 0,30 Zn + 13,93$ (358)	0,30	$r = 0,99$	-
	$Y_{Cu2} = 0,01 Zn + 2,43$ (359)	0,01	$r = 0,95$	Синергизм
	$Y_{Cu2} = 0,62 Cu + 1,98$ (360)	0,62	$r = 0,98$	-
	$Y_{Zn2} = 1,29 Cu + 14,95$ (361)	1,29	$r = 0,94$	Синергизм
3-й (2014 г.)	$Y_{Zn3} = 0,40 Zn + 14,81$ (362)	0,40	$r = 0,91$	-
	$Y_{Cu3} = 0,03 Zn + 2,60$ (363)	0,03	$r = 0,77$	Синергизм
	$Y_{Cu3} = 0,83 Cu + 2,00$ (364)	0,83	$r = 0,99$	-
	$Y_{Zn3} = 2,00 Cu + 16,39$ (365)	2,00	$r = 0,84$	Синергизм
4-й (2015 г.)	$Y_{Zn4} = 0,20 Zn + 12,46$ (366)	0,20	$r = 0,89$	-
	$Y_{Cu4} = 0,12 Cu + 1,98$ (367)	0,12	$r = 0,99$	-
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{Zn} = 0,30 Zn + 13,52$ (368)	0,30	$r = 0,96$	-
	$Y_{Cu} = 0,07 Zn + 2,72$ (369)	0,07	$r = 0,95$	Синергизм
	$Y_{Cu} = 0,47 Cu + 1,90$ (370)	0,47	$r = 0,99$	-
	$Y_{Zn} = 1,35 Cu + 15,27$ (371)	1,35	$r = 0,85$	Синергизм (Cu→Zn ↑ Zn→Zn на 22 %)

Разовое внесение цинксодержащих удобрений в почву под пажму обыкновенную (в среднем за 2012-2015 гг.) повышало содержание цинка в растениях на 0,35 мг/кг, $r=0,97$ (таблица 83, уравнение 386), меди на 0,05 мг/кг, $r=0,99$ (уравнение 387). Каждый кг ацетата меди, внесенной в почву, увеличивал концентрацию меди в растениях пажмы на 0,07 мг/кг, $r=0,88$ (уравнение 388). В то время, как 1 кг меди, внесенной в почву, под растения пажмы обыкновенной, при наличии синергизма $\text{Cu} \rightarrow \text{Zn}$, содержание цинка увеличивал на 2,25 мг/кг, $r=0,98$ (уравнение 389).

Таблица 83 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений, внесенных в почву, и содержанием Zn и Cu в растениях пажмы обыкновенной в фазу цветения

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)	Взаимоотношения
1-й (2012 г.)	$Y_{\text{Zn1}} = 0,45 \text{ Zn} + 19,50$ (372)	0,45	$r = 0,93$	-
	$Y_{\text{Cu1}} = 0,16 \text{ Zn} + 7,81$ (373)	0,16	$r = 0,98$	Синергизм
	$Y_{\text{Cu1}} = 0,11 \text{ Cu} + 6,82$ (374)	0,11	$r = 0,77$	-
	$Y_{\text{Zn1}} = 2,74 \text{ Cu} + 15,07$ (375)	2,74	$r = 0,99$	Синергизм
2-й (2013 г.)	$Y_{\text{Zn2}} = 0,30 \text{ Zn} + 25,40$ (376)	0,30	$r = 0,98$	-
	$Y_{\text{Cu2}} = 0,02 \text{ Zn} + 2,10$ (377)	0,02	$r = 0,72$	Синергизм
	$Y_{\text{Cu2}} = 0,14 \text{ Cu} + 2,34$ (378)	0,14	$r = 0,93$	-
	$Y_{\text{Zn2}} = 1,74 \text{ Cu} + 27,19$ (379)	1,74	$r = 0,91$	Синергизм
3-й (2014 г.)	$Y_{\text{Zn3}} = 0,16 \text{ Zn} + 18,60$ (380)	0,16	$r = 0,92$	-
	$Y_{\text{Cu3}} = 0,02 \text{ Zn} + 2,92$ (381)	0,02	$r = 0,91$	Синергизм
	$Y_{\text{Cu3}} = 0,15 \text{ Cu} + 2,91$ (382)	0,15	$r = 0,87$	-
	$Y_{\text{Zn3}} = 1,12 \text{ Cu} + 18,69$ (383)	1,12	$r = 0,99$	Синергизм
4-й (2015 г.)	$Y_{\text{Zn4}} = 0,15 \text{ Zn} + 9,86$ (384)	0,15	$r = 0,90$	-
	$Y_{\text{Cu4}} = 0,07 \text{ Cu} + 1,32$ (385)	0,07	$r = 0,99$	-
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_{\text{Zn}} = 0,35 \text{ Zn} + 17,11$ (386)	0,35	$r = 0,97$	-
	$Y_{\text{Cu}} = 0,05 \text{ Zn} + 4,47$ (387)	0,05	$r = 0,99$	Синергизм
	$Y_{\text{Cu}} = 0,07 \text{ Cu} + 4,27$ (388)	0,07	$r = 0,83$	-
	$Y_{\text{Zn}} = 2,25 \text{ Cu} + 18,19$ (389)	2,25	$r = 0,98$	Синергизм ($\text{Cu} \rightarrow \text{Zn} \uparrow$ $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}$ на 16 %)

Внесение в почву цинка способствовало увеличению содержания цинка в растениях эхинацеи пурпурной – $b_{\text{Zn}}=0,38$ мг/кг, $r=0,94$ (Таблица 84, уравнение 402), меди $b_{\text{Cu}}=0,03$ мг/кг, $r=0,87$ (уравнение 403). Коэффициент интенсивности

действия каждого кг Cu на содержание меди и цинка в растениях эхинацеи пурпурной при внесении оптимальных доз медных удобрений в пределах 9,4 кг д.в./га был равен: $b_{Cu} = 0,23$ мг/кг, $r=0,98$ (уравнение 404) и $b_{Zn} = 1,26$ мг/кг, $r=0,97$ (уравнение 405).

Таблица 84 – Взаимосвязи между дозами микроудобрений, внесенных в почву, и содержанием Zn и Cu в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения

Год жизни культуры	Уравнение зависимости	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)	Взаимоотношения
1-й (2016 г.)	$Y_{Zn1} = 0,16 Zn + 5,52$ (390)	0,16	$r = 0,95$	-
	$Y_{Cu1} = 0,03 Zn + 2,40$ (391)	0,03	$r = 0,99$	Синергизм
	$Y_{Cu1} = -0,04 Cu + 2,64$ (392)	-0,04	$r = 0,59$	-
	$Y_{Zn1} = 0,48 Cu + 5,45$ (393)	0,48	$r = 0,99$	Синергизм
2-й (2017 г.)	$Y_{Zn2} = 0,30 Zn + 4,55$ (394)	0,30	$r = 0,98$	-
	$Y_{Cu2} = 0,04 Zn + 1,72$ (395)	0,04	$r = 0,82$	Синергизм
	$Y_{Cu2} = 0,42 Cu + 1,89$ (396)	0,42	$r = 0,99$	-
	$Y_{Zn2} = 1,65 Cu + 4,99$ (397)	1,65	$r = 0,99$	Синергизм
3-й (2018 г.)	$Y_{Zn3} = 0,67 Zn + 6,13$ (398)	0,67	$r = 0,91$	-
	$Y_{Cu3} = 0,01 Zn + 1,82$ (399)	0,01	$r = 0,72$	Синергизм
	$Y_{Cu3} = 0,30 Cu + 1,38$ (400)	0,30	$r = 0,89$	-
	$Y_{Cu3} = 1,66 Zn + 7,53$ (401)	1,66	$r = 0,92$	Синергизм
средние данные (2016-2018 гг.)	$Y_{Zn} = 0,38 Zn + 5,42$ (402)	0,38	$r = 0,94$	-
	$Y_{Cu} = 0,03 Zn + 2,00$ (403)	0,03	$r = 0,87$	Синергизм
	$Y_{Cu} = 0,23 Cu + 2,00$ (404)	0,23	$r = 0,98$	-
	$Y_{Zn} = 1,26 Cu + 5,99$ (405)	1,26	$r = 0,97$	Синергизм (Cu→Zn ↑ Zn→Zn на 30 %)

Таким образом, на основании данных таблиц 82-84, можно заключить, что помимо прямого положительного взаимодействия между ионами Zn и Cu ($Zn \rightarrow Zn$; $Cu \rightarrow Cu$), были установлены и синергические отношения, которые характеризовались различными количественными характеристиками в зависимости от вида и года жизни растений:

средние данные 4 лет жизни растений	тысячелистник	$- Zn(x) \leftrightarrow Cu(y) - b_{x/y} - 0,07$ и $b_{y/x} - 1,35$
	обыкновенный	(уравнения 369, 371);
	пижма	$- Zn(x) \leftrightarrow Cu(y) - b_{x/y} - 0,05$ и $b_{y/x} - 2,25$
	обыкновенная	(уравнения 387, 389);

средние данные 3 лет жизни растений	эхинацея пурпурная	$-Zn(x) \leftrightarrow Cu(y) - b_{x/y} - 0,03$ и $b_{y/x} - 1,26$ (уравнения 403, 405).
---	-----------------------	---

Установлено, что при оптимальном содержании и соотношении микроэлементов в растении эффект их взаимодействия возрастает в положительном направлении и наблюдается явление синергизма, как в сторону $Zn \rightarrow Cu$ (в меньшей степени), так и $Cu \rightarrow Zn$ (в большей степени). Так, поступление цинка в почву приводило к аккумуляции меди в лекарственных растениях. В среднем за годы исследований цинковые удобрения повышали содержание меди на 0,03 (эхинацея), 0,05 (пижма) и 0,07 (тысячелистник) мг/кг (уравнения 403, 387, 369; таблицы 82-84.). Кроме этого, отмечались синергетические отношения и между $Cu \rightarrow Zn$. Медные удобрения увеличивали содержание цинка в растениях на 1,26 (эхинацея), 1,35 (тысячелистник) и 2,25 (пижма) (уравнения 405, 371, 389; таблицы 82-84). Хотелось бы отметить, что к настоящему времени считается установленным, что явление синергизма и антагонизма между ионами не есть что-то постоянное. Эти явления зависят от биологических особенностей растений, а главное – от соотношений концентраций элементов в почвенном растворе и в растениях (Мухоморов, Аникина, 2011).

С. Ф. Спицыной и др. (2014) изучено явление синергизма и антагонизма между ионами Zn , Cu , Mn при поступлении их в растения. Ими установлено, что между содержанием в растениях элементов-конкурентов наблюдается прямая зависимость, т.е. явление синергизма, при содержании каждого в растениях: $Cu < 8$, $Zn < 40$, $Mn < 100$ мг/кг. Их исследования подтверждают и наши данные. Так, в варианте с наибольшей урожайностью тысячелистника обыкновенного ($Cu_{9,7}$) содержание $Zn - 26,3$, $Cu - 6,8$, $Mn - 64$ мг/кг, то есть ниже установленных ими значений. Схожая ситуация отмечается и в опытах с пижмой обыкновенной и эхинацеей пурпурной. В вариантах с максимальной урожайностью содержание Zn в растениях пижмы составляло 39,7, $Cu - 7,7$ мг/кг; в растениях эхинацеи соответственно 17,1 и 4,3 мг/кг.

Установленные нормативные величины (уравнения 354-405), позволяют

определить содержание цинка и меди в период роста растений и их способность использовать элементы из внесённых удобрений, при условии оптимального содержания и уравновешенного баланса микроэлементов в растениях, используя формулу Ю. И. Ермохина (таблица 85, формула 406).

Таблица 85 – Расчет доз удобрений (Д, кг д.в./га) под лекарственные растения по формуле растительного анализа

Культура	Вносимые микроудобрения	Коэффициенты интенсивности действия удобрений, мг/кг		Формула расчета доз удобрений
		« b_{Zn} »	« b_{Cu} »	
Тысячелистник обыкновенный	Zn удобрения	0,30	0,07	$D = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_f)^2}{"b" \cdot \varepsilon_0} \quad (406)$
	Cu удобрения	1,35	0,47	
Пижма обыкновенная	Zn удобрения	0,35	0,05	
	Cu удобрения	2,25	0,07	
Эхинацея пурпурная	Zn удобрения	0,38	0,03	
	Cu удобрения	1,26	0,23	

Примечание: ε_0 и ε_f – оптимальное и фактическое содержание микроэлементов (цинка и меди) в лекарственных растениях в фазу цветения.

Значения коэффициентов интенсивности действия « b » (таблица 85) дают возможность установить оптимальное содержание микроэлементов (Zn и Cu) в изучаемых лекарственных растениях в фазу цветения (формула 407):

$$C_{opt} = C_n + (D \cdot «b») \quad (407)$$

где: C_n – фактическое содержание микроэлементов на фоновом варианте, мг/кг;

D – оптимальная доза удобрений для лучшего по урожайности варианта полевого опыта, кг д.в./га;

« b » – коэффициент интенсивности действия, мг/кг.

Используя формулу 407, нами был рассчитан прогноз оптимального содержания цинка и меди в фазу цветения растений и его ошибка (таблица 86).

Таблица 86 – Прогнозируемое и фактическое содержание микроэлементов в лекарственных растениях
(фаза цветения)

Культура	Доза удобре- ния, кг д.в./га		Средняя урожай- ность, т/га	Содержание, мг/кг				относитель- ная ошибка аппроксима- ции, %		F _{факт} > F _{табл}		R ²		Ā	
				фактическое		прогнозируе- мое									
				Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Тысячелистник	Zn	60	12,4	29,8	6,4	29,3	6,4	5,8	7,6	20,2 > 10,1	5,14 < 10,1	0,91	0,72	10,5	17,5
	Cu	9,7	13,4	26,3	6,8	24,4	6,8	4,4	5,0	18,0 > 7,7	97,0 > 7,7	0,90	0,97	11,2	8,8
Пижма	Zn	60	20,2	39,7	7,7	38,0	7,4	3,8	2,2	38,0 > 10,1	198 > 10,1	0,95	0,99	5,2	1,8
	Cu	7,2	17,8	33,7	4,9	33,2	4,9	1,9	3,0	64,6 > 10,1	5,4 < 10,1	0,97	0,73	4,1	2,8
Эхинацея	Zn	21,4	9,9	12,7	2,7	12,7	2,7	6,7	3,7	8,1 < 18,5	9 < 18,5	0,89	0,75	10,0	4,5
	Cu	9,4	13,2	17,1	4,3	16,4	4,3	4,5	3,2	15,7 > 7,7	72,0 > 7,7	0,94	0,96	14,0	6,0

Оптимальные уровни уравновешенного баланса Zn и Cu, представленные в таблице 86, указывают на то, что на лучших по урожайности вариантах опыта каждый ион меди «притягивает» к себе, при формировании урожая и качества продукции, от 3 до 5 ионов Zn на оптимальном NPK лугово-черноземной почвы.

Путем сравнения оптимального содержания цинка и меди в растениях, рассчитанного по формуле (407), с фактическими данными были определены относительная и средняя ошибки аппроксимации (\bar{A}), коэффициент детерминации (R^2) и F-критерий Фишера при уровне значимости 5%. Так как средняя ошибка аппроксимации была меньше 15%, регрессионные уравнения (368, 370-371; 386-389; 402-405) можно использовать в качестве прогнозных моделей. В уравнениях (368, 370-371, 386-387, 389; 404-405) фактическое значение критерия Фишера больше табличного (при уровне значимости 0,05), поэтому данные прогнозные модели надежны. Коэффициенты детерминации статистически значимы.

5.4 Оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в лекарственных растениях в условиях применения цинковых и медных удобрений и их связь с урожаем

Определение оптимального содержания и соотношения элементов питания в растениях является основой диагностики минерального питания (Ермохин, 1975; 1995; Магницкий, 1972; Петербургский, 1985; Синдирева, 2012а; Склярова, 2008; Соколов, 1965; Церлинг, 1978 и др.). Оптимальные уровни элементов питания в растениях различны, они зависят от культуры, ее фазы развития, отбора на анализ органа-индикатора, уровня урожайности и методов определения элементов питания (Ермохин, 1995).

В исследованиях была проведена оценка химического состава лекарственных растений с учетом формирования урожайности этих культур. Урожайность (Y) является функцией химического состава растений: $Y = f(X_{\text{раст}})$, а значит, химические элементы в растениях должны находиться в

определенном количестве и соотношении. При дефиците элементов питания, несоблюдении сбалансированного соотношения нарушается нормальная жизнедеятельность организма.

Урожайность лекарственных растений в зависимости от уровня содержания валовых макроэлементов в листьях растений.

В таблице 87 и в уравнениях 408-443 показаны связи между урожайностью лекарственных растений и валовым содержанием азота, фосфора и калия в целых растениях. В период отрастания в опыте с тысячелистником обыкновенным, как при внесении цинковых, так и медных удобрений наблюдалась высокая зависимость урожайности от содержания азота и калия в растениях. Связь между урожайностью и содержанием фосфора и в отрастание, и в цветение была слабая. В опыте с пижмой обыкновенной наблюдались высокие взаимосвязи между урожайностью и содержанием азота, фосфора и калия во все фазы развития ($r = 0,79-0,99$).

Таблица 87 – Связь урожайности сухого вещества лекарственных растений (У, т/га) с содержанием общего азота, фосфора и калия в целых растениях по фазам развития (в среднем за годы исследований)

Фаза развития	Уравнение регрессии		r, η
1	2		3
Тысячелистник			
Отрастание	$Y_{Zn} = 1,43 N + 6,05$	(408)	0,79
	$Y_{Zn} = 1,38 P + 11,24$	(409)	0,11
	$Y_{Zn} = 1,57 K + 6,77$	(410)	0,82
	$Y_{Cu} = 4,58 N - 7,19$	(411)	0,92
	$Y_{Cu} = 38,33 P - 8,43$	(412)	0,49
	$Y_{Cu} = 4,47 K - 2,64$	(413)	0,83
Цветение	$Y_{Zn} = 1,07 N + 8,60$	(414)	0,59
	$Y_{Zn} = 223,2 P^2 - 198,4 P + 55,7$	(415)	0,55
	$Y_{Zn} = 1,64 K + 5,25$	(416)	0,83
	$Y_{Cu} = 8,35 N - 14,63$	(417)	0,98
	$Y_{Cu} = 15,57 P + 4,9$	(418)	0,29
	$Y_{Cu} = 14,88 K - 14,49$	(419)	0,80

1	2	3
Пижма		
Отрастание	$Y_{Zn} = 8,32 N - 15,05$ (420)	0,98
	$Y_{Zn} = 50,07 P - 8,91$ (421)	0,99
	$Y_{Zn} = 9,97 K - 19,68$ (422)	0,97
	$Y_{Cu} = 5,47 N - 5,32$ (423)	0,98
	$Y_{Cu} = 27,26 P + 1,23$ (424)	0,90
	$Y_{Cu} = 8,14 K - 13,93$ (425)	0,99
Цветение	$Y_{Zn} = 18,36 N - 34,71$ (426)	0,86
	$Y_{Zn} = 115 P - 18,78$ (427)	0,99
	$Y_{Zn} = 9,17 K - 14,99$ (428)	0,99
	$Y_{Cu} = 7,78 N - 6,55$ (429)	0,70
	$Y_{Cu} = 71,36 P - 6,80$ (430)	0,85
	$Y_{Cu} = 11,05 K - 20,70$ (431)	0,53
Эхинацея		
Отрастание	$Y_{Zn} = 8,5 N - 13,98$ (432)	0,99
	$Y_{Zn} = 115 P - 1,0$ (433)	0,77
	$Y_{Zn} = -2,5 K + 18,3$ (434)	0,17
	$Y_{Cu} = 15,28 N - 30,86$ (435)	0,97
	$Y_{Cu} = 224,29 P - 8,76$ (436)	0,90
	$Y_{Cu} = 9,67 K - 24,4$ (437)	0,25
Цветение	$Y_{Zn} = 14,64 N - 27,98$ (438)	0,52
	$Y_{Zn} = 56,43 P + 0,31$ (439)	0,99
	$Y_{Zn} = 4,44 K - 5,68$ (440)	0,91
	$Y_{Cu} = 17,90 N - 35,84$ (441)	0,98
	$Y_{Cu} = 89,55 P - 4,24$ (442)	0,97
	$Y_{Cu} = 9,44 K - 21,08$ (443)	0,96

Примечание: Y_{Zn} – урожайность при внесении цинковых удобрений; Y_{Cu} – урожайность при внесении медных удобрений

На основе экспериментальных данных получены математические модели связи «химический состав лекарственных растений – урожайность» в виде уравнений 408-443 (таблица 87), которые 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 (таблица 88).

Отношение азота к фосфору по фазам развития почти у всех растений укладывается в пределы от 10 до 16. 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.

Таблица 88 – 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						
Отрастание	Zn ₆₀	4,5	0,57	3,7	N ≈ 8 P ≈ 1,2-1,3 K (444)	12,4
	Cu _{9,7}	4,6	0,55	3,5		13,2
Цветение	Zn ₆₀	3,5	0,50	2,0	N ≈ 7 P ≈ 1,8-1,9 K (445)	12,4
	Cu _{9,7}	3,4	0,50	1,8		13,2
Пижма						
Отрастание	Zn ₆₀	4,2	0,58	4,0	N ≈ 7 P ≈ 1,1 K (446)	20,2
	Cu _{7,2}	4,2	0,58	3,9		17,8
Цветение	Zn ₆₀	2,9	0,34	3,8	N ≈ 9 P ≈ 0,8-0,9 K (447)	20,2
	Cu _{7,2}	3,0	0,33	3,3		17,8
Эхинацея						
Отрастание	Zn _{21,4}	2,8	0,09	3,7	N≈29-31P≈0,8K (448)	9,9
	Cu _{9,4}	2,9	0,10	3,7		13,4
Цветение	Zn _{21,4}	2,5	0,17	3,4	N ≈14-15P ≈ 0,7-0,8K (449)	9,9
	Cu _{9,4}	2,8	0,20	3,7		13,4

Согласно ранее проведенным исследованиям 2007-2010 гг. оптимальное содержание N, P и K в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания и цветения на лучшем по урожайности варианте N₁₃₅P₄₅K₄₅ составляло соответственно 4,7, 0,33 и 3,7 % и 2,7, 0,29, 2,7 % (Тищенко, 2010). На основе данных таблицы 88 оптимальное содержание N, P и K при медном питании (9,7 кг д.в. Cu/га) соответственно равно в фазу отрастания – 4,6, 0,55 и 4,1 %, в фазу цветения – 3,4, 0,5, 1,8. Таким образом, полученное содержание очень близко с ранее установленными уровнями.

Оптимальное уровни содержания по N и K в фазу цветения в растениях пижмы обыкновенной при цинковом питании (Zn₆₀) тоже были близки (N – 2,9 %, K – 3,8 %) с установленными ранее уровнями: азота – 2,8 %, калия – 3,9 %. По

фосфору оптимальное содержание (0,34 %, Таблица 88) было ниже ранее проведенных исследований (0,70 %) (таблица 88).

При несбалансированном минеральном питании или «перекорме» лекарственных растений, уравновешенное питание N, P, K в виде уравнений (444-449) играет важную роль в диагностировании питания и расчета эффективных доз применения микроудобрений.

Урожайность лекарственных растений в зависимости от уровня содержания микроэлементов в листьях растений

В таблице 89 и в уравнениях 450-461 показаны связи между урожайностью и содержанием цинка и меди в растениях тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной. В среднем за годы исследований наблюдалась высокая зависимость урожайности лекарственных растений от содержания цинка и меди в растениях ($r = 0,88-0,99$, таблица 89).

Данные таблицы 89 и уравнения 450-461 показывают, что зависимость урожайности лекарственных растений от содержания подвижных форм цинка и меди в растениях от низкого до оптимального уровня носит линейный характер. Используя уравнения (450-461), можно установить содержание микроэлементов в растениях, соответствующее максимальной урожайности.

Таблица 89 – Взаимосвязи урожайности сухого вещества лекарственных растений (Y, т/га) с содержанием микроэлементов (Zn и Cu, мг/кг) в растениях в фазу цветения (в среднем за годы жизни)

Культура	Вносимые удобрения	Уравнение регрессии	r
Тысячелистник обыкновенный	цинковые удобрения	$Y = 0,16 \text{ Zn} + 7,48$ (450)	0,99
		$Y = 0,73 \text{ Cu} + 7,76$ (451)	0,99
	медные удобрения	$Y = 0,79 \text{ Cu} + 8,67$ (452)	0,88
		$Y = 0,26 \text{ Zn} + 6,32$ (453)	0,97
Пижма обыкновенная	цинковые удобрения	$Y = 0,27 \text{ Zn} + 9,36$ (454)	0,99
		$Y = 1,77 \text{ Cu} + 6,10$ (455)	0,98
	медные удобрения	$Y = 5,75 \text{ Cu} - 10,24$ (456)	0,96
		$Y = 0,21 \text{ Zn} + 10,21$ (457)	0,92
Эхинацея пурпурная	цинковые удобрения	$Y = 0,18 \text{ Zn} + 7,30$ (458)	0,88
		$Y = 2,33 \text{ Cu} + 3,60$ (459)	0,94
	медные удобрения	$Y = 2,30 \text{ Cu} + 3,95$ (460)	0,95
		$Y = 0,42 \text{ Zn} + 5,99$ (461)	0,98

Полученные математические модели связи «химический состав растений – урожайность лекарственных растений» позволили предложить оптимальные уровни содержания и соотношения микроэлементов с учетом возрастных изменений растительного организма (таблицы 90-92).

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.

В среднем за годы исследований в вариантах с максимальной урожайностью оптимальное содержание и уравновешенное соотношение микроэлементов в растениях тысячелистника в фазу цветения составило: цинка – 26,3, меди – 6,8, железа – 217,5, марганца – 64 мг/кг; для пижмы обыкновенной соответственно – 39,7, 7,7, 335,0, 150,5 мг/кг; для эхинацеи пурпурной цинка – 17,1, меди – 4,3 мг/кг (таблицы 90-92). Таким образом, 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 (таблицы 90-92, уравнения 469, 473, 485).

Проведённые исследования, позволили установить синергические взаимосвязи между цинком и медью и ионное равновесие в почве и растениях при обогащении лекарственного сырья микроудобрениями. Зная параметры взаимоотношений микроэлементов в почве и особенно в растениях, в зависимости от содержания доступных элементов в почве, биологических особенностей культуры и ряда других факторов можно регулировать и нормировать качественный состав растениеводческой продукции.

Таблица 90 – Оптимальные уровни содержания и соотношения цинка, меди, железа и марганца в растениях
тысячелистника обыкновенного в фазу цветения

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/кг				Оптимальное соотношение, мг/кг	Средняя урожайность общей биомассы, т/га
		Zn	Cu	Fe	Mn		
1-й	Zn₆₀	30,0	12,1	390,0	90,0	$Zn \approx 2,5 \text{ Cu} \approx 0,1 \text{ Fe} \approx 0,3 \text{ Mn}$ (462)	0,88
2-й		31,0	3,0	250,0	72,0	$Zn \approx 10,3 \text{ Cu} \approx 0,12 \text{ Fe} \approx 0,4 \text{ Mn}$ (463)	16,9
3-й		36,0	4,0	110,0	60,0	$Zn \approx 9,0 \text{ Cu} \approx 0,33 \text{ Fe} \approx 0,6 \text{ Mn}$ (464)	19,7
4-й		22,2	н/о	н/о	н/о	-	12,1
в среднем за 2012-2015 гг.		29,8	6,4	250,0	74,0	$Zn \approx 4,7 \text{ Cu} \approx 0,12 \text{ Fe} \approx 0,4 \text{ Mn}$ (465)	12,4
1-й	Cu_{9,7}	20,0	5,8	335,0	67,0	$Zn \approx 3,4 \text{ Cu} \approx 0,1 \text{ Fe} \approx 0,3 \text{ Mn}$ (466)	1,43
2-й		27,0	8,2	212,0	63,0	$Zn \approx 3,3 \text{ Cu} \approx 0,13 \text{ Fe} \approx 0,4 \text{ Mn}$ (467)	18,1
3-й		32,0	10,0	105,0	61,0	$Zn \approx 3,2 \text{ Cu} \approx 0,30 \text{ Fe} \approx 0,5 \text{ Mn}$ (468)	21,8
4-й		н/о	3,1	н/о	н/о	-	12,5
в среднем за 2012-2015 гг.		26,3	6,8	217,5	64,0	$Zn \approx 3,9 \text{ Cu} \approx 0,12 \text{ Fe} \approx 0,4 \text{ Mn}$ (469)	13,4

Примечание: н/о – не определяли.

Таблица 91 – Оптимальные уровни содержания и соотношения цинка и меди в растениях пижмы обыкновенной в фазу цветения

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/кг				Оптимальное соотношение, мг/кг	Средняя урожай-ность общей био-массы, т/га
		Zn	Cu	Fe	Mn		
1-й	Zn₆₀	46,0	16,7	470	180	Zn \approx 2,8 Cu \approx 0,10 Fe \approx 0,3 Mn (470)	0,61
2-й		44,0	3,5	345	146	Zn \approx 12,6 Cu \approx 0,13 Fe \approx 0,3 Mn (471)	24,3
3-й		27,0	4,0	190	126	Zn \approx 6,8 Cu \approx 0,14 Fe \approx 0,2 Mn (472)	33,1
4-й		17,6	н/о	н/о	н/о	-	22,9
в среднем за 2012-2015 гг.		39,7	7,7	335	150,5	Zn \approx 5,2 Cu \approx 0,12 Fe \approx 0,3 Mn (473)	20,2
1-й	Cu_{7,2}	35,0	7,9	350	186	Zn \approx 4,4 Cu \approx 0,10 Fe \approx 0,2 Mn (474)	0,87
2-й		39,0	3,5	322,5	160	Zn \approx 11,1 Cu \approx 0,12 Fe \approx 0,2 Mn (475)	19,3
3-й		27,0	4,2	289	123	Zn \approx 6,4 Cu \approx 0,09 Fe \approx 0,2 Mn (476)	32,4
4-й		н/о	1,8	н/о	н/о	-	18,6
в среднем за 2012-2015 гг.		33,7	4,9	320,5	156,0	Zn \approx 6,9 Cu \approx 0,11 Fe \approx 0,2 Mn (477)	17,8

Примечание: н/о – не определяли.

Таблица 92 – Оптимальные уровни содержания и соотношения цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/кг		Оптимальное соотношение, мг/кг	Средняя урожайность общей биомассы, т/га
		Zn	Cu		
1-й	Zn_{21,4}	8,7	3,0	Zn \approx 2,9 Cu (478)	1,9
2-й		10,7	2,8	Zn \approx 3,8 Cu (479)	12,5
3-й		18,7	2,2	Zn \approx 8,5 Cu (480)	15,4
в среднем за 2016-2018 гг.		12,7	2,7	Zn \approx 4,7 Cu (481)	9,9
1-й	Cu_{9,4}	9,8	2,2	Zn \approx 4,5 Cu (482)	2,1
2-й		20,6	5,8	Zn \approx 3,6 Cu (483)	18,5
3-й		20,8	4,8	Zn \approx 4,3 Cu (484)	19,0
в среднем за 2016-2018 гг.		17,1	4,3	Zn \approx 4,0 Cu (485)	13,2

Урожайность лекарственных растений в зависимости от уровня содержания неорганических форм макроэлементов в листьях растений

Проведенные исследования показали наличие взаимосвязей между содержанием неорганического азота (N_n), фосфора (P_n) и свободного калия (K_c) в листьях растений в основные фазы их роста и развития и урожайностью на вариантах с внесением цинковых и медных удобрений ($Y_{Zn, Cu}$, т/га). В основные фазы развития лекарственных растений в них определяли азот, фосфор неорганический и калий свободный, учитывали урожайность лекарственного сырья и на основе статистической обработки находили зависимость урожайности от поступивших в растения элементов минерального питания.

В таблице 93 представлены математические уравнения (486-545), отображающие связи урожайности тысячелистника, пижмы и эхинацеи пурпурной (Y , т/га) с содержанием минеральных форм азота, фосфора и калия в растениях (N_n , P_n , K_c , мг/100 г) в период весеннего отрастания, бутонизации и цветения.

Таблица 93 – Математическое моделирование формирования урожайности лекарственных растений (Y , т/га) в зависимости от уровней содержания азота (N_n), фосфора (P_n), калия (K_c , мг/100 г), цинка и меди (Zn , Cu) в растениях

Фаза развития	Уравнение регрессии	Коэффициент r, η	«b», мг/кг
1	2	3	4
Тысячелистник обыкновенный			
Весеннее отрастание	$Y_{Zn} = 0,08N_n - 2,10$ (486)	$r = 0,83$	0,08
	$Y_{Cu} = 0,07N_n - 0,18$ (487)	$r = 0,89$	0,07
	$Y_{Zn} = 0,54P_n - 0,06$ (488)	$r = 0,89$	0,54
	$Y_{Cu} = 1,09P_n - 10,81$ (489)	$r = 0,96$	1,09
	$Y_{Zn} = 0,09K_c - 26,89$ (490)	$r = 0,95$	0,09
	$Y_{Cu} = 0,06K_c - 13,0$ (491)	$r = 0,49$	0,06
Бутонизация	$Y_{Zn} = 0,09N_n + 4,12$ (492)	$r = 0,85$	0,09
	$Y_{Cu} = 0,14N_n - 0,88$ (493)	$r = 0,97$	0,14
	$Y_{Zn} = 1,22P_n - 6,19$ (494)	$r = 0,96$	1,22
	$Y_{Cu} = 1,06P_n - 3,87$ (495)	$r = 0,98$	1,06
	$Y_{Zn} = 0,06K_c - 14,93$ (496)	$r = 0,88$	0,06
	$Y_{Cu} = -0,005K_c^2 - 4,7K_c - 1157,7$ (497)	$\eta = 0,61$	-

Продолжение таблицы 93

1	2	3	4
Цветение	$Y_{Zn} = 0,10N_H - 1,20$ (498)	$r = 0,96$	0,10
	$Y_{Cu} = 0,07N_H + 1,93$ (499)	$r = 0,80$	0,07
	$Y_{Zn} = 0,93P_H - 8,95$ (500)	$r = 0,98$	0,93
	$Y_{Cu} = 0,64P_H - 1,96$ (501)	$r = 0,67$	0,64
	$Y_{Zn} = 0,10K_c - 25,73$ (502)	$r = 0,98$	0,10
	$Y_{Cu} = 0,13K_c - 36,38$ (503)	$r = 0,92$	0,13
	$Y_{Zn} = 0,16Z_n + 7,48$ (504)	$r = 0,99$	0,16
	$Y_{Cu} = 0,79Cu + 8,67$ (505)	$r = 0,88$	0,79
Пижма обыкновенная			
Весеннее отрастание	$Y_{Zn} = 0,16N_H - 3,46$ (506)	$r = 0,97$	0,16
	$Y_{Cu} = 0,22N_H - 8,91$ (507)	$r = 0,84$	0,22
	$Y_{Zn} = 1,67P_H - 15,63$ (508)	$r = 0,98$	1,67
	$Y_{Cu} = -3,99P_H^2 + 149,63 P_H - 1385,6$ (509)	$\eta = 0,28$	-
	$Y_{Zn} = 0,21K_c - 118,98$ (510)	$r = 0,87$	0,21
	$Y_{Cu} = 0,009K_c^2 - 11,38 K_c + 3762,8$ (511)	$\eta = 0,97$	-
Бутонизация	$Y_{Zn} = 0,73N_H - 47,43$ (512)	$r = 0,92$	0,73
	$Y_{Cu} = 0,31N_H - 8,74$ (513)	$r = 0,95$	0,31
	$Y_{Zn} = 2,51P_H - 18,70$ (514)	$r = 0,94$	2,51
	$Y_{Cu} = 1,80P_H - 8,10$ (515)	$r = 0,99$	1,80
	$Y_{Zn} = 0,15K_c - 64,00$ (516)	$r = 0,94$	0,15
	$Y_{Cu} = 0,10K_c - 35,91$ (517)	$r = 0,94$	0,10
Цветение	$Y_{Zn} = 0,36N_H - 25,47$ (518)	$r = 0,93$	0,36
	$Y_{Cu} = 0,17N_H - 4,72$ (519)	$r = 0,91$	0,17
	$Y_{Zn} = 1,75P_H - 14,22$ (520)	$r = 0,98$	1,75
	$Y_{Cu} = 0,85P_H + 0,18$ (521)	$r = 0,99$	0,85
	$Y_{Zn} = 0,15K_c - 54,77$ (522)	$r = 0,64$	0,15
	$Y_{Cu} = 0,09K_c - 24,57$ (523)	$r = 0,82$	0,09
	$Y_{Zn} = 0,27Z_n + 9,36$ (524)	$r = 0,99$	0,27
	$Y_{Cu} = 5,75Cu - 10,24$ (525)	$r = 0,96$	5,75
Эхинацея пурпурная			
Весеннего отрастания	$Y_{Zn} = 0,05N_H - 1,24$ (526)	$r = 0,98$	0,05
	$Y_{Cu} = 0,06N_H - 4,44$ (527)	$r = 0,80$	0,06
	$Y_{Zn} = 0,46P_H + 2,42$ (528)	$r = 0,98$	0,46
	$Y_{Cu} = 0,74P_H - 0,38$ (529)	$r = 0,68$	0,74
	$Y_{Zn} = 0,03K_c - 2,19$ (530)	$r = 0,99$	0,03
	$Y_{Cu} = 0,08K_c - 21,41$ (531)	$r = 0,97$	0,08
Бутонизация	$Y_{Zn} = 0,06N_H - 0,46$ (532)	$r = 0,99$	0,06
	$Y_{Cu} = 0,14N_H - 11,80$ (533)	$r = 0,99$	0,14
	$Y_{Zn} = 1,21P_H - 8,52$ (534)	$r = 0,98$	1,21
	$Y_{Cu} = 0,98P_H - 5,55$ (535)	$r = 0,99$	0,98
	$Y_{Zn} = 0,05K_c - 8,15$ (536)	$r = 0,99$	0,05
	$Y_{Cu} = 0,08K_c - 21,99$ (537)	$r = 0,89$	0,08
Цветение	$Y_{Zn} = 0,09N_H + 4,52$ (538)	$r = 0,99$	0,09
	$Y_{Cu} = 0,23N_H + 7,98$ (539)	$r = 0,95$	0,23
	$Y_{Zn} = 0,39P_H + 6,72$ (540)	$r = 0,77$	0,39
	$Y_{Cu} = 2,87P_H - 24,78$ (541)	$r = 0,93$	2,87
	$Y_{Zn} = 0,07K_c - 6,23$ (542)	$r = 0,89$	0,07
	$Y_{Cu} = 0,48K_c - 115,13$ (543)	$r = 0,93$	0,48
	$Y_{Zn} = 0,18Z_n + 7,30$ (544)	$r = 0,88$	0,18
	$Y_{Cu} = 2,30Cu + 3,95$ (545)	$r = 0,95$	2,30

Располагая, коэффициентами интенсивности действия поступивших в растения элементов минерального питания (N_H) на формирование величины урожая сухого вещества фитомассы (« b ») можно не только диагностировать питание, но и спрогнозировать величину урожая на основе метода листовой (растительной) диагностики (таблица 94, уравнения 487, 506, 527).

В таблице 94 показан прогноз величины урожая сухого вещества фитомассы лекарственных растений по содержанию в них нитратного азота в период весеннего отрастания.

Данные таблицы 94 показывают, что исследование химического состава растений в период отрастания позволяет прогнозировать урожайность сухого вещества фитомассы, при благоприятных условиях азотно-фосфорно-калийного питания, роста и развития лекарственных растений, и в случае необходимости корректировать питание на ранних стадиях развития.

Таблица 94 – Прогнозирование продуктивности лекарственных культур на основе растительной диагностики

Показатель	Доза микроудобрения, кг д.в./га				Формула прогноза урожайности	
Тысячелистник обыкновенный						
Содержание Nн в растениях в отрастание, мг/%	Cu2,4	Cu4,9	Cu7,2	Cu9,7	YCu = 0,07Nн – 0,18, r = 0,89 (уравнение 487)	
	162,9	174,8	196,5	206,7		
	Урожайность, т/га фактическая	11,6	12,2	13,2		13,4
	прогнозируемая	11,2	12,1	13,6		14,3
Прогноз, %	96,6	99,2	103,0	106,7		
Пижма обыкновенная						
Содержание Nн в растениях в отрастание, мг/%	Zn20	Zn40	Zn60	-	YZn = 0,16Nн – 3,46, r = 0,97 (уравнение 506)	
	113,5	126,5	143,1	-		
	Урожайность, т/га фактическая	16,1	17,0	20,2		-
	прогнозируемая	14,7	16,8	19,4		-
Прогноз, %	91,3	98,8	96,0	-		
Эхинацея пурпурная						
Содержание Nн в растениях в отрастание, мг/%	Cu2,3	Cu4,7	Cu7,0	Cu9,4	YCu = 0,06Nн – 4,44, r = 0,80 (уравнение 527)	
	233,8	254,1	270,9	241,4		
	Урожайность, т/га фактическая	9,7	11,1	12,7		13,2
	прогнозируемая	9,6	10,8	11,8		10,0
Прогноз, %	99,0	97,3	92,9	75,8		

В связи с этим предложены оптимальные уровни содержания минеральных элементов питания в лекарственных растениях для формирования урожая сухого вещества фитомассы тысячелистника в пределах 13,4 т/га, пижмы обыкновенной – 20,2 т/га и эхинацеи пурпурной – 13,2 т/га, с учетом возрастных изменений растительного организма (таблицы 95-97).

Таблица 95 – Оптимальные уровни содержания элементов питания в тысячелистнике обыкновенном в течении вегетации

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/%								
		Nн			Pн			Kс		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1-й	Zn ₆₀	396	-	203	26	-	32	600	-	534
2-й		163	182	165	29	18	28	458	723	391
3-й		114	118	98	21	21	17	373	512	377
4-й		79	103	92	18	17	15	332	365	309
в среднем за 2012-2015 гг.		188	134	139	24	19	23	441	533	403
1-й	Cu _{9,7}	422	-	231	18	-	24	605	-	523
2-й		192	177	108	28	19	29	382	650	393
3-й		110	121	106	20	20	19	354	451	355
4-й		103	116	84	21	20	14	298	300	309
в среднем за 2012-2015 гг.		207	138	132	22	20	21	410	467	395

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

Таблица 96 – Оптимальные уровни содержания элементов питания в пижме обыкновенной в течении вегетации

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/%								
		Nн			Pн			Kс		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1-й	Zn ₆₀	248	-	231	16	-	35	780	-	729
2-й		134	118	123	33	26	21	692	658	392
3-й		121	116	97	21	14	10	648	643	436
4-й		70	66	65	17	13	13	543	530	326
в среднем за 2012-2015 гг.		143	100	129	22	18	20	666	611	471
1-й	Cu _{7,2}	162	-	224	16	-	37	656	-	729
2-й		128	124	117	28	26	24	692	695	375
3-й		111	112	115	16	13	10	655	580	453
4-й		76	72	69	14	13	12	536	536	341
в среднем за 2012-2015 гг.		119	103	131	18	18	21	635	604	475

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

Таблица 97 – Оптимальные уровни содержания элементов питания в эхинацеи пурпурной в течении вегетации

Год жизни культуры	Оптимальная доза, кг д.в./га	Оптимальное содержание, мг/%								
		N _н			P _н			K _с		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1-й	Zn _{21,4}	361	154	-	16	17	-	467	579	-
2-й		181	194	123	23	17	23	483	276	361
3-й		171	155	97	9	12	11	373	312	226
в среднем за 2016-2018 гг.		238	168	110	16	15	17	441	389	293
1-й	Cu _{9,4}	354	172	-	16	20	-	469	589	-
2-й		217	218	139	21	23	21	418	311	338
3-й		153	131	98	8	14	10	426	329	208
в среднем за 2016-2018 гг.		241	174	119	15	19	15	438	410	273

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

Известно, что свои регулирующие функции питательные элементы в растениях осуществляют путем влияния на ферменты. При этом имеет значение, как количество данного минерального вещества, так и соотношение концентраций всех элементов питания, находящихся в растениях в обычных условиях выращивания. Преобладание одних элементов в растениях может вызывать ослабление поступления в растения других ионов.

Используя установленные нами, оптимальные уровни содержания элементов минерального питания в лекарственных растениях, были составлены уравнения оптимального (уравновешенного) баланса по фазам развития (таблицы 98-100).

Из уравнений 546-573 (таблица 98) можно сделать вывод, что в среднем за годы исследований при гармоническом уравновешенном питании в раннюю фазу развития тысячелистника обыкновенного на одну часть неорганического фосфора приходится 9 частей нитратного азота, а в более поздние фазы соотношение между N_н : P_н = 6-7. Между N_н и свободным K_с соотношение составляет – 0,50, а в поздние фазы – 0,30-0,33.

Таблица 98 – Уравнения оптимального баланса элементов питания в растениях тысячелистника обыкновенного по годам жизни и по фазам роста и развития

Год жизни культуры	Оптимальная доза	Уравнение оптимального соотношения элементов питания			В мг%
		1	2	3	
1-й	Zn₆₀	$N_H \approx 15 P_H \approx 0,66 Kc$ (546)	-	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,38 Kc$ (547)	
2-й		$N_H \approx 6 P_H \approx 0,36 Kc$ (548)	$N_H \approx 10 P_H \approx 0,25 Kc$ (549)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,42 Kc$ (550)	
3-й		$N_H \approx 5 P_H \approx 0,31 Kc$ (551)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,23 Kc$ (552)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,26 Kc$ (553)	
4-й		$N_H \approx 4 P_H \approx 0,24 Kc$ (554)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,28 Kc$ (555)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,30 Kc$ (556)	
в среднем за 2012-2015 гг.		$N_H \approx 8 P_H \approx 0,43 Kc$ (557)	$N_H \approx 7 P_H \approx 0,25 Kc$ (558)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,34 Kc$ (559)	
1-й	Cu_{9,7}	$N_H \approx 23 P_H \approx 0,70 Kc$ (560)	-	$N_H \approx 10 P_H \approx 0,44 Kc$ (561)	
2-й		$N_H \approx 15 P_H \approx 0,50 Kc$ (562)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,27 Kc$ (563)	$N_H \approx 4 P_H \approx 0,27 Kc$ (564)	
3-й		$N_H \approx 6 P_H \approx 0,31 Kc$ (565)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,27 Kc$ (566)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,30 Kc$ (567)	
4-й		$N_H \approx 5 P_H \approx 0,35 Kc$ (568)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,39 Kc$ (569)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,27 Kc$ (570)	
в среднем за 2012-2015 гг.		$N_H \approx 9 P_H \approx 0,50 Kc$ (571)	$N_H \approx 7 P_H \approx 0,30 Kc$ (572)	$N_H \approx 6 P_H \approx 0,33 Kc$ (573)	

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

Для растений пижмы обыкновенной установлено, что в среднем за годы исследований в течении роста и развития культуры на лучшем по урожайности варианте (0,75 ПДК Zn) оптимальное соотношение N_n и P_n ($N: P$) = 6-7; N_n и K_c ($N: K$) = 0,16-0,27 (уравнения 574-601, таблица 99).

Оптимальное соотношение $N : P$ для растений эхинацеи пурпурной в течение вегетации в среднем за 2016-2018 гг. изменяется от 8 до 16, соотношение между $N : K$ составляет 0,42 – 0,55 (уравнения 602-623, таблица 100).

Проведенные исследования показывают, что использование химического состава растений в целях диагностики минерального питания и прогнозирования величины урожая является перспективным методом в практике применения удобрений. Установленные закономерности связи химического состава растений по фазам роста с биосинтезом урожая позволяют при благоприятных условиях возделывания лекарственных культур прогнозировать урожайность и, сравнивая ее с оптимальным содержанием, делать вывод об обеспеченности элементами питания и эффективности внесения удобрений.

Таким образом, «нормирование» содержания и соотношения основных макроэлементов и микроэлементов (Zn и Cu) в лекарственных растениях позволяет прогнозировать эффективность удобрений, величину урожая, а также экологическую ситуацию, связанную с химической нагрузкой в системе «удобрение ↔ почва ↔ растение» (рисунок 16).

Таблица 99 – Уравнения оптимального баланса элементов питания в растениях пижмы обыкновенной по годам жизни и по фазам роста и развития

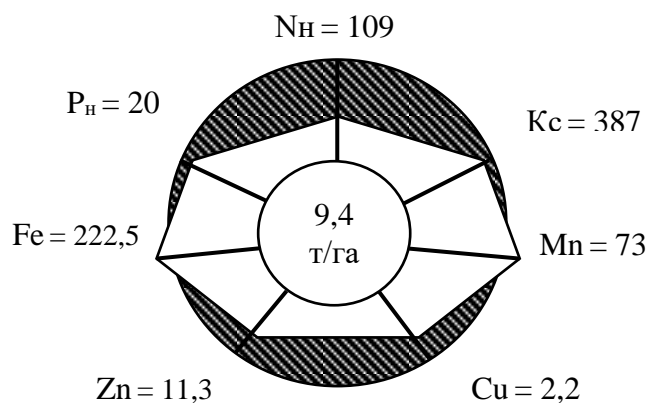
Год жизни культуры	Оптимальная доза	Уравнение оптимального соотношения элементов питания			В мг%
		1	2	3	
1-й	Zn₆₀	$N_H \approx 16 \text{ P}_H \approx 0,32 \text{ Кс} \quad (574)$	-	$N_H \approx 7 \text{ P}_H \approx 0,32 \text{ Кс} \quad (575)$	
2-й		$N_H \approx 4 \text{ P}_H \approx 0,19 \text{ Кс} \quad (576)$	$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,18 \text{ Кс} \quad (577)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,31 \text{ Кс} \quad (578)$	
3-й		$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,19 \text{ Кс} \quad (579)$	$N_H \approx 8 \text{ P}_H \approx 0,18 \text{ Кс} \quad (580)$	$N_H \approx 10 \text{ P}_H \approx 0,22 \text{ Кс} \quad (581)$	
4-й		$N_H \approx 4 \text{ P}_H \approx 0,13 \text{ Кс} \quad (582)$	$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,12 \text{ Кс} \quad (583)$	$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,20 \text{ Кс} \quad (584)$	
в среднем за 2012-2015 гг.		$N_H \approx 7 \text{ P}_H \approx 0,21 \text{ Кс} \quad (585)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,16 \text{ Кс} \quad (586)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,27 \text{ Кс} \quad (587)$	
1-й	Cu_{7,2}	$N_H \approx 10 \text{ P}_H \approx 0,25 \text{ Кс} \quad (588)$	-	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,31 \text{ Кс} \quad (589)$	
2-й		$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,18 \text{ Кс} \quad (590)$	$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,18 \text{ Кс} \quad (591)$	$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,31 \text{ Кс} \quad (592)$	
3-й		$N_H \approx 7 \text{ P}_H \approx 0,17 \text{ Кс} \quad (593)$	$N_H \approx 9 \text{ P}_H \approx 0,19 \text{ Кс} \quad (594)$	$N_H \approx 12 \text{ P}_H \approx 0,25 \text{ Кс} \quad (595)$	
4-й		$N_H \approx 5 \text{ P}_H \approx 0,14 \text{ Кс} \quad (596)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,13 \text{ Кс} \quad (597)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,20 \text{ Кс} \quad (598)$	
в среднем за 2012-2015 гг.		$N_H \approx 7 \text{ P}_H \approx 0,19 \text{ Кс} \quad (599)$	$N_H \approx 6 \text{ P}_H \approx 0,17 \text{ Кс} \quad (600)$	$N_H \approx 9 \text{ P}_H \approx 0,35 \text{ Кс} \quad (601)$	

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

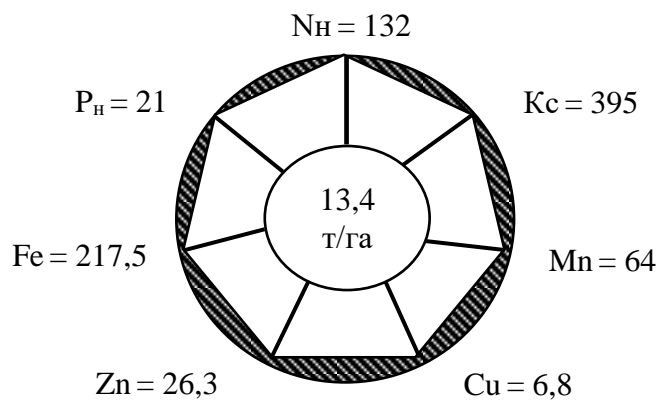
Таблица 100 – Уравнения оптимального баланса элементов питания в растениях эхинацеи пурпурной по годам жизни и по фазам роста и развития

Год жизни культуры	Оптимальная доза	Уравнение оптимального соотношения элементов питания			В мг%
		1	2	3	
1-й	Zn _{21,4}	$N_H \approx 23 P_H \approx 0,77 Kc$ (602)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,27 Kc$ (603)	-	
2-й		$N_H \approx 8 P_H \approx 0,37 Kc$ (604)	$N_H \approx 11 P_H \approx 0,70 Kc$ (605)	$N_H \approx 5 P_H \approx 0,34 Kc$ (606)	
3-й		$N_H \approx 19 P_H \approx 0,46 Kc$ (607)	$N_H \approx 13 P_H \approx 0,50 Kc$ (608)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,43 Kc$ (609)	
в среднем за 2016-2018 гг.		$N_H \approx 15 P_H \approx 0,54 Kc$ (610)	$N_H \approx 11 P_H \approx 0,43 Kc$ (611)	$N_H \approx 7 P_H \approx 0,38 Kc$ (612)	
1-й	Cu _{9,4}	$N_H \approx 22 P_H \approx 0,75 Kc$ (613)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,29 Kc$ (614)	-	
2-й		$N_H \approx 10 P_H \approx 0,52 Kc$ (615)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,70 Kc$ (616)	$N_H \approx 7 P_H \approx 0,41 Kc$ (617)	
3-й		$N_H \approx 19 P_H \approx 0,36 Kc$ (618)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,40 Kc$ (619)	$N_H \approx 10 P_H \approx 0,47 Kc$ (620)	
в среднем за 2016-2018 гг.		$N_H \approx 16 P_H \approx 0,6 Kc$ (621)	$N_H \approx 9 P_H \approx 0,42 Kc$ (622)	$N_H \approx 8 P_H \approx 0,44 Kc$ (623)	

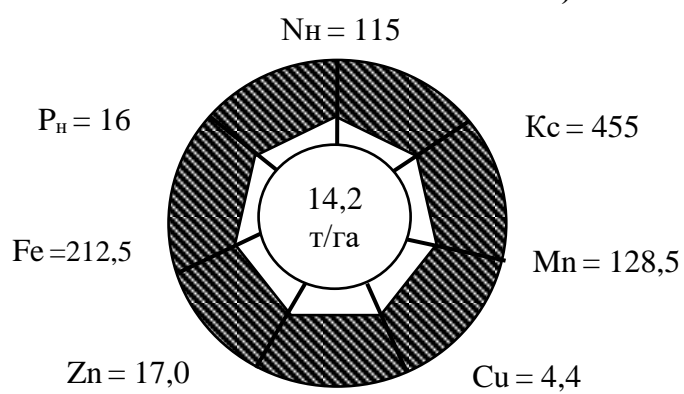
Примечание: 1 – фаза отрастания; 2 – фаза бутонизации; 3 – фаза цветения.



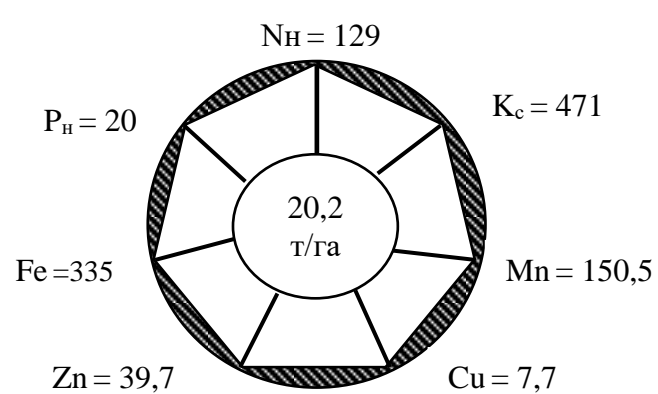
Фон

Оптимальное сбалансированное питание (Фон + Cu_{9,7})

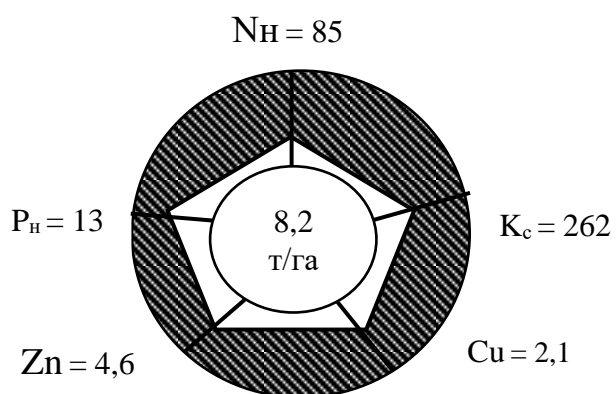
а) тысячелистник обыкновенный



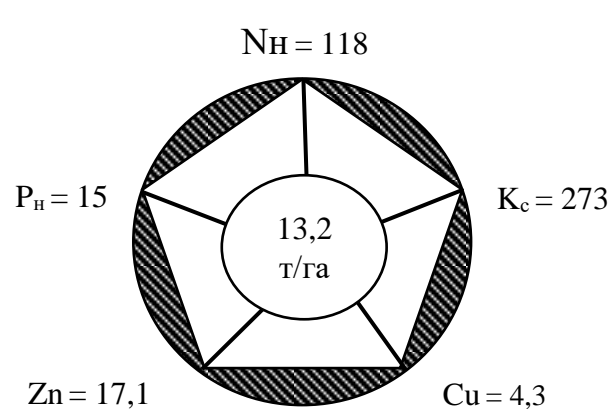
Фон

Оптимальное сбалансированное питание (Фон + Zn₆₀)

б) пижма обыкновенная



Фон

Оптимальное сбалансированное питание (Фон + Cu_{9,4})

в) эхинацея пурпурная

Рисунок 16 – Диаграммы зависимости урожайности лекарственных растений от содержания элементов питания в них в фазу цветения (в среднем за период исследований)

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 (таблицы 29, 31, 33; 73-75) были рассчитаны коэффициенты концентрации в почве и растениях ($K_{кп}$ и $K_{кр}$) относительно ПДК (МДУ) и фона (таблицы 101-102).

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 коэффициент концентрации Zn и Cu в почве ($K_{кп}$) относительно ПДК во всех вариантах опыта не превышал единицу, то есть внесение расчётных доз цинковых и медных удобрений не приводило к загрязнению лугово-черноземной почвы. При этом $K_{кп}$ Zn и Cu к фону были выше 1, что указывает на увеличение содержания микроэлементов в почве относительно фоновых значений (таблица 101).

Коэффициенты концентрации Zn и Cu в лекарственных растениях ($K_{кр}$) относительно МДУ также во всех вариантах опыта не превышали единицу, то есть внесение микроудобрений не приводило к загрязнению лекарственного сырья данными элементами. Относительно фона $K_{кр}$ Zn и Cu были выше 1, т.е. содержание микроэлементов в лекарственных растениях при внесении цинка и меди в почву было выше фоновых значений (таблица 102).

Таблица 101 – Коэффициенты концентрации Zn и Cu для лугово-черноземной почвы (К_{кп}) (в среднем за период исследований)

Вариант опыта		Коэффициент концентрации почвы			
		Кк _п Zn (относительно ПДК)	Кк _п Zn (относительно фона)	Кк _п Cu (относительно ПДК)	Кк _п Cu (относительно фона)
Тысячелистник обыкновенный					
Контроль		0,05	-	0,03	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,05	-	0,04	-
Фон	Zn ₂₀	0,06	1,06	0,04	1,00
	Zn ₄₀	0,08	1,55	0,04	1,09
	Zn ₆₀	0,11	2,05	0,05	1,27
	Zn ₈₀	0,12	2,26	0,03	0,97
	Cu _{2,4}	0,05	0,97	0,04	1,09
	Cu _{4,9}	0,06	1,13	0,04	1,18
	Cu _{7,2}	0,07	1,29	0,05	1,27
Cu _{9,7}		0,09	1,61	0,06	1,55
Пижма обыкновенная					
Контроль		0,04	-	0,03	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,05	-	0,04	-
Фон	Zn ₂₀	0,07	1,62	0,05	1,15
	Zn ₄₀	0,27	5,81	0,06	1,31
	Zn ₆₀	0,37	7,97	0,07	1,54
	Zn ₈₀	0,42	9,15	0,06	1,31
	Cu _{2,4}	0,09	1,88	0,06	1,31
	Cu _{4,9}	0,10	2,08	0,06	1,38
	Cu _{7,2}	0,17	3,58	0,07	1,62
Cu _{9,7}		0,18	3,96	0,08	1,77
Эхинацея пурпурная					
Контроль		0,07	-	0,04	-
Фон (N ₁₂₅)		0,06	-	0,08	-
Фон	Zn _{10,7}	0,27	4,25	0,11	1,28
	Zn _{21,4}	0,32	5,08	0,12	1,40
	Zn _{32,4}	0,41	6,46	0,10	1,20
	Zn _{42,8}	0,54	8,52	0,10	1,20
	Cu _{2,3}	0,13	2,10	0,08	1,00
	Cu _{4,7}	0,18	2,83	0,10	1,16
	Cu _{7,0}	0,23	3,64	0,11	1,36
Cu _{9,4}		0,30	4,71	0,14	1,64

Таблица 102 – Коэффициенты концентрации Zn и Cu в растениях ($K_{кр}$) (в среднем за период исследований)

Вариант опыта		Коэффициент концентрации в растениях			
		К _{кр} Zn (относительно МДУ)	К _{кр} Zn (относительно фона)	К _{кр} Cu (относительно МДУ)	К _{кр} Cu (относительно фона)
Тысячелистник обыкновенный					
Контроль		0,20	-	0,08	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,23	-	0,07	-
Фон	Zn ₂₀	0,45	1,97	0,16	2,18
	Zn ₄₀	0,53	2,35	0,18	2,45
	Zn ₆₀	0,60	2,64	0,21	2,91
	Zn ₈₀	0,66	2,90	0,28	3,77
	Cu _{2,4}	0,45	2,01	0,10	1,32
	Cu _{4,9}	0,47	2,06	0,13	1,77
	Cu _{7,2}	0,51	2,24	0,17	2,32
	Cu _{9,7}	0,53	2,33	0,23	3,09
Пижма обыкновенная					
Контроль		0,35	-	0,14	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,34	-	0,15	-
Фон	Zn ₂₀	0,52	1,51	0,19	1,30
	Zn ₄₀	0,57	1,66	0,22	1,49
	Zn ₆₀	0,79	2,33	0,26	1,78
	Zn ₈₀	0,96	2,82	0,28	1,91
	Cu _{2,4}	0,51	1,49	0,14	0,98
	Cu _{4,9}	0,59	1,72	0,15	1,03
	Cu _{7,2}	0,67	1,98	0,16	1,12
	Cu _{9,7}	0,81	2,39	0,20	1,38
Эхинацея пурпурная					
Контроль		0,09	-	0,07	-
Фон (N ₁₂₅)		0,09	-	0,07	-
Фон	Zn _{10,7}	0,22	2,41	0,07	1,00
	Zn _{21,4}	0,25	2,76	0,09	1,28
	Zn _{32,4}	0,28	3,02	0,12	1,69
	Zn _{42,8}	0,32	3,43	0,15	2,12
	Cu _{2,3}	0,20	2,15	0,09	1,23
	Cu _{4,7}	0,27	2,89	0,09	1,35
	Cu _{7,0}	0,29	3,17	0,12	1,67
	Cu _{9,4}	0,34	3,72	0,14	2,05

Накопление цинка и меди в почве и лекарственных растениях происходило по-разному. В опыте с тысячелистником обыкновенным $K_{кр} < K_{кр}$ (относительно фона) для обоих микроэлементов (таблицы 101-102). Обратная ситуация наблюдается в исследованиях с пижмой обыкновенной – $K_{кр} > K_{кр}$ (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 ($K_{кп}Zn$), иная ситуация складывается по Cu. Более высокое поглощение Zn обусловлено биофильностью данного элемента и без барьерным характером его поглощения растениями эхинацеи пурпурной (Жаркова и др., 2020б).

Наши исследования показали, что при внесении одних и тех же микроэлементов в долях ПДК в лугово-черноземную почву разные виды растений обладают различной способностью к накоплению цинка и меди. Наглядно эти закономерности прослеживаются на рисунках 17-18.

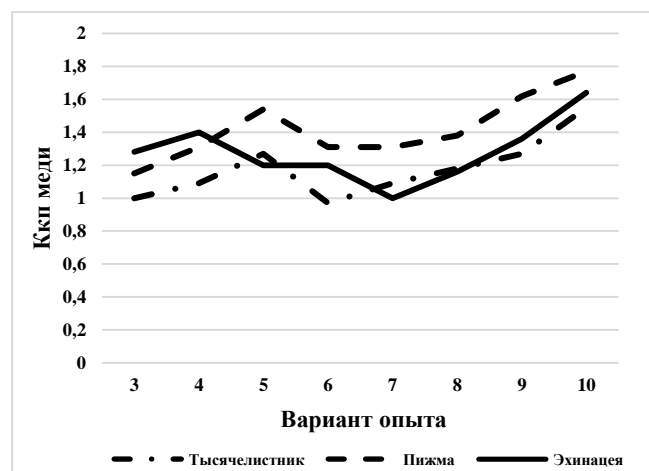
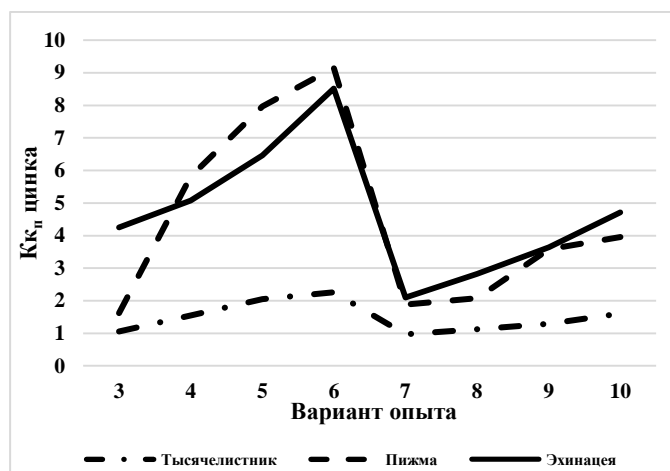


Рисунок 17 – Коэффициенты концентраций Zn и Cu в почве ($K_{кп}$) относительно фона

Примечание: 3. Фон + 0,25 ПДК Zn; 4. Фон + 0,5 ПДК Zn; 5. Фон + 0,75 ПДК Zn; 6. Фон + 1,0 ПДК Zn; 7. Фон + 0,25 ПДК Cu; 8. Фон + 0,5 ПДК Cu; 9. Фон + 0,75 ПДК Cu; 10. Фон + 1,0 ПДК Cu.

Различия между вариантами опыта статистически значимы при $p < 0,05$.

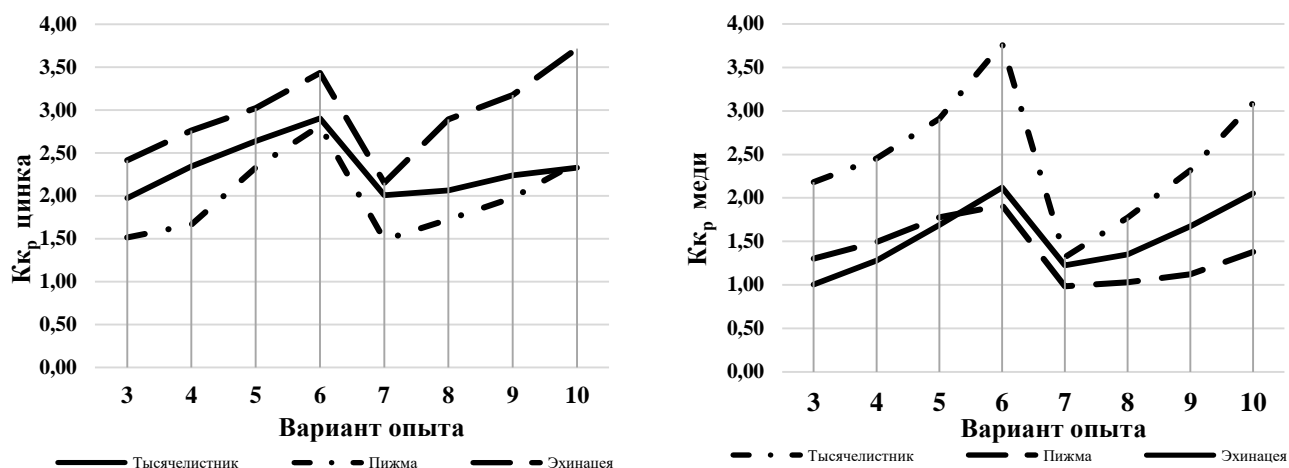


Рисунок 18 – Коэффициенты концентраций Zn и Cu в растениях ($K_{кр}$) относительно фона

Примечание: 3. $N_{125} + 0,25$ ПДК Zn; 4. $N_{125} + 0,5$ ПДК Zn; 5. $N_{125} + 0,75$ ПДК Zn; 6. $N_{125} + 1,0$ ПДК Zn; 7. $N_{125} + 0,25$ ПДК Cu; 8. $N_{125} + 0,5$ ПДК Cu; 9. $N_{125} + 0,75$ ПДК Cu; 10. $N_{125} + 1,0$ ПДК Cu.

Различия между вариантами опыта статистически значимы при $p < 0,05$ (кроме $K_{кр}$ растение варианты V и VI)

Обобщенная оценка значений коэффициентов концентрации Zn и Cu в почве и растениях позволяет расположить лекарственные культуры в следующие убывающие ряды:

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

В вариантах опыта при внесении медных удобрений коэффициенты концентрации меди в растениях выше, чем в почве, что обусловлено биологическими особенностями изучаемых культур (Рисунок 17).

В работах многих исследователей (Воскресенская и др., 1991; Второва, Маркет, 1995; Второва, Скулкин, 1992; Никоноров, Жулидин, 1991; Sheffer, Stach, 1989) показано, что между химическим составом растений, с одной стороны, и средой обитания, с другой, существует несомненная связь (Воскресенская и др., 2006).

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 и др., 2006).

Количественным показателем перехода химических элементов, особенно в подвижных, доступных для растений формах, из почвы в растение является биогеохимический показатель – коэффициент накопления (K_n), представляющий собой отношение содержания элемента в растениях к его содержанию в почве. Коэффициент накопления близок к коэффициенту биологического поглощения (КБП), предложенному А. И. Перельманом (1975) и представляющему собой отношение содержания элемента в золе растений к его кларку в земной коре. При этом биологическое поглощение является физиологическим процессом, а накопление, как результатом поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов, то есть коэффициент накопления является аккумулятивной стратегией растения (Сибиркина, 2013).

А. Я. Ковалевский (1969) предлагает ряды биологического накопления химических элементов в зависимости от величины K_n разделить на 5 групп. Так, если $K_n = 30-300$, то элемент весьма интенсивного поглощения; $K_n = 3-30$ – интенсивного поглощения; $K_n = 0,3-3$ – среднего поглощения; $K_n = 0,03-0,3$ – слабого поглощения и $K_n = 0,03$ – весьма слабого поглощения.

Так как величина K_n является количественным показателем перехода химических элементов из почвы в растение, поэтому для оценки интенсивности поступления микроэлементов в растительный организм были рассчитаны и проанализированы коэффициенты биологического накопления Zn и Cu лекарственными растениями (таблица 103).

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) (таблица 103).

Таблица 103 – Коэффициенты биологического накопления Zn и Cu лекарственными растениями (в среднем за период исследований)

Вариант опыта	Тысячелистник обыкновенный		Пижма обыкновенная		Эхинацея пурпурная	
	$K_{H_{Zn}}$	$K_{H_{Cu}}$	$K_{H_{Zn}}$	$K_{H_{Cu}}$	$K_{H_{Zn}}$	$K_{H_{Cu}}$
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 + 1,0 ПДК Cu	13,2**	40,0*	9,7**	26,1**	2,5***	10,5**
Интенсивность биологического поглощения микроэлементов (по А.Я. Ковалевскому)	весьма интенсивное поглощение ($K_H = 30-300$)*					
	интенсивное поглощение ($K_H = 3-30$)**					
	среднего поглощения ($K_H = 0,3-3$ ***)					

Тысячелистник обыкновенный и пижма обыкновенная, согласно значениям коэффициентов биологического накопления, на всех вариантах опыта интенсивно поглощали цинк (таблица 103). В опыте с тысячелистником обыкновенным в вариантах с внесением в почву цинковых удобрений $K_{H_{Cu}}$ изменялся от 43,6 до 83,0, что говорит о весьма интенсивном поглощении меди. Аналогичная ситуация складывается и в опыте с пижмой обыкновенной ($K_{H_{Cu}} = 37,8-49,0$), 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 цинка и интенсивным поглощением меди. При этом, лекарственные растения можно представить рядами убывания K_H , которые и для цинка, и для меди имеют следующий вид: $K_{H_{Zn,Cu}}$ – тысячелистник > пижма > эхинацея. То есть, наибольшим

биологическим накоплением цинка и меди характеризуется тысячелистник обыкновенный (таблица 103). При этом, наши данные хорошо согласуются с исследованиями Н. Ф. Гусева и др. (2015), которые отмечают, что в растениях тысячелистника наблюдается биоконцентрация меди, а коэффициенты биологического накопления располагаются в ряд по убыванию следующим образом: $Cu > Zn$. Также они отмечают, что для цинка у растений тысячелистника, произрастающего в районах антропогенного загрязнения, отмечен физиологический барьер, а на контрольных участках явление биоконцентрации этого элемента.

На основе значений K_n рассмотренных микроэлементов был построен эмпирический ряд их накопления, который для всех лекарственных растений семейства сложноцветные имеет вид: $K_{nCu} > K_{nZn}$, т.е. тысячелистник, пижма и эхинацея в большей степени поглощали медь (таблица 103).

Значения K_{nZn} 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_{nZn} 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_{nZn} 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 (Y_1), пижмы (Y_2) и эхинацеи (Y_3) коррелирует с химическим содержанием данных элементов (Zn, Cu) в почве (уравнения 624-635).

$$Y_{1Zn} = 11,15 Zn + 2,90, r = 0,84; \quad (624)$$

$$Y_{1Cu} = 78,49 Cu - 6,34, r = 0,99; \quad (625)$$

$$Y_{1Zn} = 11,89 Cu + 4,18, r = 0,66; \quad (626)$$

$$Y_{1Cu} = 149,1 Zn + 12,82, r = 0,80; \quad (627)$$

$$Y_{2Zn} = 2,39 Zn + 17,30, r = 0,91; \quad (628)$$

$$Y_{2Cu} = 6,03 Cu + 3,48, r = 0,76; \quad (629)$$

$$Y_{2Zn} = 5,88 Cu + 12,95, r = 0,93; \quad (630)$$

$$Y_{2Cu} = 11,28 Zn + 2,94, r = 0,99; \quad (631)$$

$$Y_{3Zn} = 1,37 Zn + 2,61, r = 0,99; \quad (632)$$

$$Y_{3Cu} = 12,32 Cu - 0,73, r = 0,98; \quad (633)$$

$$Y_{3Zn} = 2,29 Cu + 2,42, r = 0,97; \quad (634)$$

$$Y_{3Cu} = 4,94 Zn + 0,79, r = 0,73; \quad (635)$$

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 – предельного содержания цинка и меди в почве для достижения МДУ микроэлемента в конкретных лекарственных культурах, с помощью уравнений (624-635) (Синдирева, 2012б). Для расчета ПСЭ Zn и Cu в почве подставляли значения МДУ ($МДУ_{Zn} = 50$ мг/кг; $МДУ_{Cu} = 30$ мг/кг) в уравнения (625-626, 628, 631, 633-634) (таблица 104).

Таблица 104 – Предельное содержание цинка и меди (ПСЭ) в почве, мг/кг

Культура	Оптимальная доза	Формула прогноза		ПСЭ в почве	
		Zn	Cu	Zn	Cu
Тысячелистник	$Cu_{9,7}$	626	625	3,9	0,5
Пижма	Zn_{60}	628	631	13,7	2,4
Эхинацея	$Cu_{9,4}$	634	633	20,8	2,5

Представленные в таблице 104 данные свидетельствуют о том, что изучаемые лекарственные растения обладают различной способностью к накоплению химических элементов. В связи с этим разрабатываемые нормативные величины должны быть дифференцированы не только для определённого типа почв, но и для конкретных видов растений.

Ю. В. Алексеевым (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 636).

$$\text{ПСЭ} = \text{МДУ} / \text{Кн} \quad (636)$$

где: МДУ – максимально-допустимый уровень ($\text{МДУ}_{\text{Zn}} = 50 \text{ мг/кг}$; $\text{МДУ}_{\text{Cu}} = 30 \text{ мг/кг}$);

Кн – коэффициент накопления.

Согласно формуле (636) с учётом зональных особенностей Западной Сибири для данных культур установлены ПСЭ_{Zn} и ПСЭ_{Cu} в почве на лучших по урожайности вариантах опыта:

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

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

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

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

Выводы

1. Дефицит эссенциальных микроэлементов в почве привёл к недостатку этих элементов в растениях. Превышения МДУ микроэлементов в среднем за период исследований не отмечалось, кроме содержания железа в растениях тысячелистника и пижмы (таблицы 79-81). В то же время содержание микроэлементов в лекарственных растениях было значительно ниже критических и фитотоксичных значений.

2. Установленные коэффициенты интенсивности действия единицы цинка и меди, внесенных в почву (кг д.в./га), на содержание в растениях по фазам роста и развития цинка, меди (мг/кг), азота, фосфора и калия (%, мг/%) позволяют прогнозировать фактическое накопление данных элементов и диагностировать минеральное питание в период вегетации в связи с антропогенным поступлением элементов питания в растения (уравнения 264-405).

3. В процессе дополнительного поступления цинка и меди в растения тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной отмечены явления синергизма между ионами цинка и меди. Причем синергические отношения между $\text{Cu} \rightarrow \text{Zn}$ характеризовались большими коэффициентами интенсивности действия (« b »), чем между $\text{Zn} \rightarrow \text{Cu}$.

4. Разработаны оптимальные агрохимические и физиологические количественные характеристики содержания и соотношения цинка, меди, азота, фосфора, калия в растениях тысячелистника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной в зависимости от года жизни культуры и фаз роста, которые позволяют не только диагностировать, но и управлять качеством продукции (таблицы 88; 90-92; 95-100).

5. В лекарственных растениях (тысячелистника, пижмы и эхинацеи) при внесении микроудобрений в почву под растения происходит поглощение подвижных форм цинка и меди от среднего до весьма интенсивного. Согласно исследованиям, наибольший $\text{K}_{\text{N}_{\text{Zn}}}$ и $\text{K}_{\text{N}_{\text{Cu}}}$ отмечен у тысячелистника

обыкновенного, несколько ниже в порядке убывания, в пижме, а затем эхинацеи пурпурной. При этом K_{nCu} для всех культур превышает K_{nZn} , т.е. лекарственные культуры в большей степени поглощали медь. По значению K_{nCu} лекарственные растения располагаются в следующем порядке убывания: тысячелистник обыкновенный (20,0-83,0) > пижма обыкновенная (23,2-49,0) > эхинацея пурпурная (6,6-16,2). По значению K_{nZn} растения располагаются в следующем порядке: тысячелистник обыкновенный (8,7-18,9) > пижма обыкновенная (4,6-16,8) > эхинацея пурпурная (1,3-3,3).

6. На основании проведенных исследований было рассчитано предельное содержание микроэлементов (ПСЭ, мг/кг) в лугово-черноземной почве для конкретных лекарственных культур при внесении оптимальных доз микроудобрений. Предельное содержание цинка и меди в почве соответственно составило: тысячелистник – 3,9 и 0,5 мг/кг; пижма – 13,7 и 2,4 и эхинацея – 20,8 и 2,5 мг/кг (таблица 104).

ГЛАВА 6. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Одной из главных задач сельскохозяйственного производства является не только получение высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур, но и повышение качества продукции. Получение урожая высокого качества требует познания закономерностей его формирования и влияния на этот процесс абиотических факторов (Строганова, 1986).

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 (Ермохин, 2020, 2021).

Условия минерального питания лекарственных растений при использовании макро- и микроэлементов определяют не только величину, но и качество получаемого урожая, которое формируется на протяжении всего периода роста и развития растений – от посадки до уборки. Контролируя и регулируя условия питания растений в период их роста и развития, можно воздействовать на качество будущего урожая, а, следовательно, влиять на химический состав биологически активных веществ органического вещества урожая, повышая биологическую ценность выращиваемых культур. В связи с применением микроудобрений актуальным становится не только получение высоких, но и биологически полноценных урожаев хорошего качества (Ермохин, 1995; Журбицкий, 1958, 1963; Заболоцкая, 1985; Лукнер, 1979; Магницкий, 1972; Минеев, 1988; Пасешниченко, 2001; Церлинг, 1971).

Потенциальные возможности роста и развития растений могут реализовываться только в оптимальных условиях, в том числе минерального питания. При этом необходимо учитывать характер использования продуктов фотосинтеза и минеральных веществ, поступающих через корневую систему,

растениями. При недостаточном уровне и несбалансированном соотношении элементов питания в вегетативной массе растений почти не образуются резервы пластических веществ для формирования высокого качественного урожая (Мосолов, 1979). Получение стабильных урожаев, в том числе и лекарственного растительного сырья, с высоким содержанием действующих веществ тесно связано с разработкой сбалансированной системы питания растений не только макро-, но и микроэлементами (Сидельников и др., 2018).

Математические связи в системе «почва ↔ удобрение ↔ растение» позволяют задолго до уборки урожая по химическому составу растений предвидеть и повлиять на качество конечного сырья (Болдырев, 1959, 1972; Ермохин, 1968, 1971; Кореньков, 1985; Лихоманова, 1991; Минеев, 1980; Церлинг, 1978).

Многими исследователями ранее было установлено, что условия минерального питания в течение вегетации определяют не только величину, но и качество урожая (Андриенко, 2006; Ермохин, 1968, 1971; Кожевина, 2007; Мельникова, 2007; Плешков, 1965; Толстоусов, 1974; Шойкин, 2013). Так, на сегодняшний день доказано, что микронутриенты способны повышать содержание витаминов и других биологически активных веществ в лекарственных растениях. В литературе опубликованы сведения о положительном влиянии ряда элементов, в определенных концентрациях и соотношениях, на содержание различных групп биологически активных веществ в лекарственных растениях. Например, обнаружено, что при удовлетворении физиологической потребности растений в соответствующих микроэлементах наблюдается увеличение содержания рутина на 67 %, алкалоидов – на 60 %, аскорбиновой кислоты и каротина – на 20-30 %, активность сердечных гликозидов повышается в 1,5 раза, увеличивается синтез витаминов группы В (Романе, 1989; Collins J.F., 2011; Kaiser et al., 2014). В исследованиях С. С. Мельниковой (2007) было выявлено, что азот в составе полного удобрения ($N_{60}P_{30}K_{30}$) способствовал повышению содержания экстрактивных веществ в соцветиях календулы

лекарственной. М. Н. Кожевиной (2007) установлено, что внесение азотно-фосфорных удобрений ($N_{90}P_{60}$) способствовало существенному повышению доли арглабина, обладающего противоопухолевой активностью, в вегетативной массе полыни гладкой. Исследования О. Д. Шойкина (2013) показали положительное влияние макроудобрений на содержание дубильных веществ, каротина, рутина, аскорбиновой кислоты в растениях пустырника пятилопастного. Полученные результаты позволяют говорить о необходимости применения оптимальных доз макро- и микроудобрений при возделывании лекарственных растений в промышленных условиях, способствующие обогащению лекарственного сырья биологически активными веществами.

6.1 Качество лекарственного растительного сырья тысячелистника обыкновенного

Качество лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного регламентируется ГФ РФ XIV издание [84]. 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, нами также было определено содержание таких биологически активных веществ, как дубильные вещества, аскорбиновая кислота, каротин, экстрактивные вещества.

Общая зольность представляет собой несгораемый остаток неорганических веществ и зависит от наличия минеральных примесей в лекарственном сырье, а также от погодных условий во время сбора. Предприятия, занимающиеся переработкой лекарственного сырья, при приёме тысячелистника обыкновенного

контролируют ряд показателей, в том числе и содержание общей золы в растениях.

В проведённых нами исследованиях установлено, что содержание общей золы в растительном сырье тысячелистника обыкновенного по годам проводимых исследований снижалось, за исключением 2015 г. (Приложение 56). В среднем за период исследований при внесении в почву Zn удобрений общая зольность изменялась от 12,56 до 12,89 %; при внесении Cu удобрений от 12,03 до 12,56 % (таблица 105). Общая зола при использовании микроудобрений снижалась относительно контроля и фона, где её содержание составляло 13,2 %.

Таким образом, применяемые дозы микроудобрений в процессе действия и последействия не приводили к увеличению общей золы в растениях тысячелистника обыкновенного по сравнению с контролем и фоном, а значения не превышали установленный фармакопейной статьёй уровень – 15 %.

На основе многолетних данных была выявлена обратная зависимость содержания общей золы в растениях тысячелистника обыкновенного (З, %) от доз цинковых и медных удобрений (Zn, Cu кг/га), вносимых в почву (таблица 106, уравнения 637-650). При внесении 1 кг д.в.Zn/га зольность в сырье тысячелистника снижается на 0,009 %, а при использовании 1 кг д.в.Cu/га на 0,09 %.

Учитывая значительный химический полиморфизм, характерный для многих эфиромасличных растений, большой интерес представляет определение содержания *эфирного масла* в тысячелистнике обыкновенном в зависимости от вносимого микроэлемента и применяемых расчетных доз микроудобрений. Тем более, что экономическое значение тысячелистника связано именно с производством эфирного масла, которое используется как для изготовления фармацевтических препаратов, так и в косметической промышленности (Ali et al., 2017). Согласно литературным данным, содержание эфирного масла в тысячелистнике может составлять от 0,1% до 1% (De Sant'Anna et al., 2009).

Таблица 105 – Содержание биологически активных веществ в фазу цветения в лекарственном сырье тысячелистника обыкновенного под влиянием цинковых и медных удобрений, средние данные за 2012-2015 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зольность, %	Эфирное масло, %	Сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин, %	Дубильные вещества, %	Аскорбиновая кислота, мг%	Каротин, мг%	Экстрактивные вещества, %
Контроль (без удобрений)		$13,19 \pm 0,06$	$0,10 \pm 0,001$	$0,40 \pm 0,007$	$1,46 \pm 0,28$	$3,56 \pm 0,20$	$6,41 \pm 0,36$	$35,63 \pm 0,07$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$13,16 \pm 0,05$	$0,29 \pm 0,01^*$	$0,41 \pm 0,006$	$2,45 \pm 0,17^*$	$4,28 \pm 0,12^*$	$9,36 \pm 0,03^*$	$33,63 \pm 0,30$
Фон	Zn ₂₀	$12,87 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,01^{*''}$	$0,43 \pm 0,003^*$	$3,65 \pm 0,03^{*''}$	$4,48 \pm 0,10^*$	$10,31 \pm 0,08^{*''}$	$36,85 \pm 0,06^{*''}$
	Zn ₄₀	$12,89 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,02^{*''}$	$0,47 \pm 0,001^{*''}$	$4,47 \pm 0,06^{*''}$	$5,13 \pm 0,02^{*''}$	$10,94 \pm 0,15^{*''}$	$36,96 \pm 0,07^{*''}$
	Zn₆₀	$12,56 \pm 0,01$	$0,68 \pm 0,03^{*''}$	$0,55 \pm 0,010^{*''}$	$4,68 \pm 0,08^{*''}$	$7,06 \pm 0,19^{*''}$	$10,33 \pm 0,08^{*''}$	$37,10 \pm 0,09^{*''}$
	Zn ₈₀	$12,64 \pm 0,004$	$0,45 \pm 0,01^{*''}$	$0,45 \pm 0,001^{*''}$	$4,28 \pm 0,04^{*''}$	$5,58 \pm 0,03^{*''}$	$9,30 \pm 0,04^*$	$29,29 \pm 0,78$
	Cu _{2,4}	$12,35 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,01^{*''}$	$0,42 \pm 0,004$	$3,37 \pm 0,06^{*''}$	$4,91 \pm 0,05^{*''}$	$8,80 \pm 0,09^*$	$35,04 \pm 0,14''$
	Cu _{4,9}	$12,48 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,01^{*''}$	$0,45 \pm 0,001^{*''}$	$4,34 \pm 0,04^{*''}$	$5,50 \pm 0,02^{*''}$	$9,99 \pm 0,04^{*''}$	$36,55 \pm 0,03^{*''}$
	Cu _{7,2}	$12,56 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,02^{*''}$	$0,46 \pm 0,00001^{*''}$	$5,28 \pm 0,15^{*''}$	$5,81 \pm 0,05^{*''}$	$10,45 \pm 0,09^{*''}$	$37,49 \pm 0,13^{*''}$
Cu_{9,7}		$12,03 \pm 0,07$	$0,56 \pm 0,02^{*''}$	$0,56 \pm 0,011^{*''}$	$5,50 \pm 0,17^{*''}$	$7,03 \pm 0,19^{*''}$	$10,49 \pm 0,10^{*''}$	$44,40 \pm 0,91^{*''}$

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

'' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Таблица 106 – Математические уравнения связи в системе «расчетные дозы цинка и меди → содержание биологически активных веществ в растениях тысячелистника обыкновенного» (средние данные за 2012-2015 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Общая зольность, %	$Z = -0,009 \text{ Zn} + 13,1$ (637)	$r = 0,94$
	$Z = -0,09 \text{ Cu} + 12,93$ (638)	$r = 0,79$
Эфирное масло, %	$\text{Эф} = 0,006 \text{ Zn} + 0,28$ (639)	$r = 0,88$
	$\text{Эф} = 0,03 \text{ Cu} + 0,30$ (640)	$r = 0,99$
Сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин, %	$\Phi = 0,002 \text{ Zn} + 0,39$ (641)	$r = 0,96$
	$\Phi = 0,01 \text{ Cu} + 0,39$ (642)	$r = 0,91$
Дубильные вещества, %	$D = 0,04 \text{ Zn} + 2,69$ (643)	$r = 0,96$
	$D = 0,33 \text{ Cu} + 2,59$ (644)	$r = 0,98$
Аскорбиновая кислота, мг%	$A = 0,04 \text{ Zn} + 3,89$ (645)	$r = 0,91$
	$A = 0,27 \text{ Cu} + 4,22$ (646)	$r = 0,98$
Каротин, мг%	$K = 0,02 \text{ Zn} + 9,70$ (647)	$r = 0,70$
	$K = 0,16 \text{ Cu} + 9,04$ (648)	$r = 0,85$
Экстрактивные вещества, %	$\text{Э} = 0,05 \text{ Zn} + 34,56$ (649)	$r = 0,81$
	$\text{Э} = 0,99 \text{ Cu} + 32,61$ (650)	$r = 0,91$

В ходе наших исследований было установлено, что внесение Zn и Cu удобрений значительно повлияло на содержание эфирного масла в траве тысячелистника обыкновенного, причем в большей степени оказали воздействие цинковые удобрения. В варианте Zn₆₀ содержание эфирного масла составило 0,68 %, что на 134 % выше, чем на фоне (0,10 %). Использование медных удобрений тоже оказало положительное действие на накопление эфирных масел. При внесении в почву ацетата меди в дозах от 2,4 до 9,7 кг д.в./га содержание эфирного масла изменялось от 0,37 до 0,56 % (Таблица 105). Таким образом, каждый килограмм цинка повышал содержание эфирного масла в растениях тысячелистника на 0,006 %, а каждый килограмм меди – на 0,03 % (Таблица 106, уравнения 639-640). М. Н. Негазу и др. (2016) в своих исследованиях тоже установили, что обработка растений цинком оказывала значительное влияние на содержание эфирного масла в таких лекарственных культурах как змееголовник молдавский (*Dracosephalum moldavica*), иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis*) и шалфей лекарственный (*Salvia officinalis*). Увеличение содержания эфирного масла под воздействием цинка также было обнаружено в работах Р.

Pande и др. (2007), Said-Al Ahl и E. A. Omer (2009); Said-Al Ahl и A. A. Mahmoud (2010). Н. Marschner (2012) обнаружил, что цинк является необходимым микроэлементом, который действует либо как компонент различных ферментов, либо как функциональный, структурный или регуляторный кофактор, связанный с метаболизмом сахаридов, фотосинтезом и синтезом белка. Углекислый газ и глюкоза являются предшественниками биосинтеза монотерпенов, сахариды также являются источником энергии и восстановительной силы для синтеза терпеноидов. Поскольку цинк участвует в фотосинтезе и метаболизме сахаридов, а CO_2 и глюкоза являются наиболее вероятными источниками углерода, используемого в биосинтезе терпенов, роль цинка в накоплении эфирного масла представляется особенно важной (Srivastava et al., 1997).

В литературе также встречаются работы и о положительном влиянии медных удобрений на содержание и состав эфирного масла. Так, M. Ghorbanpour и др. (2016) отмечают, что оптимальный уровень Cu и Zn в почве положительно влияет на рост базилика душистого, поглощение растениями микро- и макроэлементов, фотосинтез, количество и качество эфирного масла. Авторы объясняют это ролью данных микроэлементов в стимулировании активности ферментов и участии их в процессе фотосинтеза, что в свою очередь усиливает биосинтез и накопление терпенов.

В траве тысячелистника обыкновенного содержится до 3% **флавоноидов**, в основном лютеолин. Существует предположение, что антибактериальная активность тысячелистника обыкновенного связана с наличием в их составе именно фенолов и флавоноидов (Faiku et al., 2018).

Флавоноиды – это большая подгруппа вторичных метаболитов, относящихся к категории фенольных соединений, широко распространенных в растениях и прокариотах (Middleton, 1998). Флавоноиды принимают участие во многих ключевых процессах роста и развития растений. Они не только отвечают за окраску цветов и пигментацию растений, но и играют заметную роль в процессах клеточной сигнализации. Участвуют в процессах репродукции

растений, развития и функционирования пыльцы, накоплении нектара, в созревании плодов и семян. Наиболее заметную роль флавоноиды играют в защите растений от различных неблагоприятных факторов окружающей среды (действие УФ-лучей, температурный стресс, повышенные концентрации тяжелых металлов). Одной из наиболее значимых функций флавоноидов является защита растений от окислительного стресса благодаря их выраженной антиоксидантной активности (Флавоноиды..., 2013).

В ходе исследований было установлено, что при внесении цинковых удобрений в пределах оптимальных доз *сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин* в траве тысячелистника изменялась от 0,43 до 0,55 %. Медные удобрения тоже способствовали увеличению содержания флавоноидов (0,42 - 0,56 %). Выявленные связи между дозами микроудобрений и содержанием флавоноидов (таблица 106, уравнения 641-642) показывают, что каждый килограмм внесенных в почву цинковых и медных удобрений повышает содержание флавоноидов соответственно на 0,002 и 0,01 %.

В настоящее время в литературе встречается очень мало работ, посвященных изучению взаимосвязи между биосинтезом фенольных веществ и применением микроудобрений. С. Solfanelli и др. (2006) выявили, что поскольку сахара являются положительным регулятором биосинтеза фенольных веществ, в частности флавоноидов, влияние цинковых удобрений на фотосинтез и накопление сахара возможно усиливает образование этих веществ. С. Song и др. (2015) обнаружили, что обработка Zn усиливает накопление общего количества флавоноидов в *Vitis vinifera* cv. *Merlot*. Аналогичный результат был получен в работе Z. A. Salama (2015). Установлено, что в растениях с дефицитом Zn активность карбоновой ангидразы (CA), рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилазы (RuBPC) и содержание хлорофилла уменьшаются, что приводит к снижению фотосинтеза (Lopez-Millan et al., 2015; Welch, 1995). Таким образом, цинковые удобрения оказывают стимулирующий эффект на содержание флавоноидов, за счет изменения других параметров: фотосинтеза, метаболизма сахаров и фенолов.

В. Amгі и др. (2017) установили, что общее содержание фенола и флавоноидов увеличивалось в зависимости от концентрации меди в растениях шандры обыкновенной. С физиологической точки зрения, они объясняют это хелатирующими и детоксицирующими свойствами меди. В своих исследованиях Н. А. Дькова и др. (2020) отмечают, что удобрения являются активирующим фактором для фермента фенилаланинаммиаклиаза, который является ключевым ферментом в фенилпропаноидном пути биосинтеза флавоноидов.

Особый интерес представляет содержание в растениях тысячелистника обыкновенного *дубильных веществ* (дубильные кислоты, танины), входящих в группу полифенольных соединений. Это важные вторичные метаболиты растений, которые обеспечивают разнонаправленное фармакологическое действие на организм человека: вяжущее, антибактериальное, антиэнзимное, противовоспалительное, антиоксидантное, адаптогенное действие, а также защищают растения от млекопитающих и насекомых (Hassanpour, 2011).

В литературе встречаются сведения о влиянии питательных веществ на уровень фенольных соединений в тканях растений (Santos, 2011). RG Jr. Andrade с соавторами (2005), отмечают хелатирующую способность танинов к меди, что обуславливает их антиоксидантную активность. Также в ряде работ сообщается об участии Cu в образовании шикимовой кислоты, ведущем к биосинтезу нескольких фенолов, таких как флавоноиды, дубильные вещества и лигнин (Diaz et al., 2001; Guangqiu et al., 2007; Lin et al., 2005; Lojonen et al., 2001; Santiago et al., 2000). Положительное влияние медных удобрений на увеличение содержания дубильных веществ также связано с тем, что она является ключевым компонентом многих биологических соединений и играет важную роль в биосинтезе вторичных метаболитов, в т.ч. и танинов (Khathutshelo et al., 2016). Установлено, что у растений с дефицитом меди нарушается лигнификация и накапливаются фенольные вещества в тканях растений (Marschner, 2012; Lin et al., 2005). Q. Guangqiu et al. (2007) в своей работе показали, что биосинтез фенольных соединений зависит от уровня Cu: в дефицитных тканях лигнификация

ингибируется, а значит, увеличивается производство других фенольных соединений. Биосинтез лигнина увеличивается, когда концентрация Cu в растениях достигает оптимальных уровней. Эти данные согласуются с сообщениями о том, что концентрации дубильных веществ напрямую зависят от количества питательных веществ, в частности, Cu и Mn, которые являются кофакторами ферментов, участвующих в разложении фенола и биосинтезе лигнина (Santos, 2011).

Что касается влияния цинка на содержание танинов, то в настоящее время проведено очень мало исследований, касающихся биосинтеза фенола и этого элемента. В работе R. M. Santos (2011) показана умеренная положительная корреляция цинка с уровнями гидролизуемого танина. Растения, подвергшиеся воздействию цинка, имеют высокую экспрессию генов биосинтеза лигнина (Van de Mortel et al., 2006), что выявило участие этого элемента в пути шикимовой кислоты.

По литературным данным содержание дубильных веществ в лекарственном сырье тысячелистника обыкновенного варьирует от 2,8-3,3 % (Рябинина и др., 2011; Ушанова и др., 2001). В нашем исследовании содержание дубильных веществ в среднем за годы исследований увеличивается от 3,65 до 4,68 % при внесении в почву цинка и от 3,37 до 5,50 % в зависимости от внесённых доз медных удобрений (Приложение 57, таблица 105). На фоне ($N_{135}P_{45}K_{45}$) содержание дубильных веществ в растениях составляло 2,45 %. Таким образом, внесение микроэлементов увеличивало содержание танинов в растениях по сравнению с фоновым вариантом. Максимальное содержание дубильных веществ (4,68 и 5,50 %) наблюдается на вариантах с внесением цинка в дозе 60 и меди в дозе 9,7 кг д.в./га (таблица 105). Различия содержания дубильных веществ по всем вариантам опыта было достоверно как относительно контроля, так и фона при $p < 0,05$.

Установлено, что каждый кг вносимых в почву цинковых удобрений в среднем за годы исследований увеличивал содержание дубильных веществ на

0,04 % (таблица 106, уравнение 643), а медных удобрений на 0,33 % (таблица 106, уравнение 644). Таким образом, в проводимых нами исследованиях Zn и Cu удобрения увеличивали образование дубильных веществ, причем медные удобрения в большей степени.

Важным биохимическим показателем, также характеризующим качество сырья тысячелистника обыкновенного, является содержание в нём *аскорбиновой кислоты*, которая наряду с другими биологически активными веществами оказывает на организм человека многостороннее фармакологическое действие. Это уникальное полифункциональное соединение, которое регулирует окислительно-восстановительные процессы в растениях, является коферментом многих метаболических процессов и выполняет антитоксическую и антиоксидантную функции, повышает сопротивляемость и защитные свойства организма. Аскорбиновая кислота принимает участие в важнейших энергетических процессах растительной клетки – фотосинтезе и дыхании, участвует в процессах роста, цветения, вегетативной и репродуктивной дифференциации, в водном обмене, регуляции ферментативной активности, стимуляции реакций метаболизма, связанных с обменом нуклеиновых кислот и синтезом белка, в защитных реакциях растений (Чупахина, 1997). Для восполнения дефицита витамина С в настоящее время широко применяется искусственное обогащение им как растениеводческой продукции, так и продуктов питания (Araya et al., 2006).

Микроэлементы способны повышать содержание витаминов в растениях: имеется немало данных о положительном влиянии их на синтез витамина С или аскорбиновой кислоты (Удрис, Нейланд, 1990). Так, по данным О. К. Добролюбского (1956) медные удобрения повышают содержание витамина С. Концентрация аскорбиновой кислоты в организме зависит от уровня меди в продуктах питания и кормовом рационе. Повышенная концентрация меди, по данным Р. А. Дьяченко (1964), уровень витамина С понижает, в оптимальная – увеличивает. Связано это с тем, что ионы Cu^{++} резко ускоряют окисление

аскорбиновой кислоты и снижают уровень ее концентрации в тканях и органах, поскольку они являются металлокомпонентами простетического центра аскорбиноксидазы – фермента, катализирующего данный процесс. Данный фермент содержит 0,15-0,25 % меди. Таким образом аскорбиновая кислота и медь в организме коррелируют между собой.

В работах О. К. Добролюбского (1956) и Г. Н. Попова (1984) отмечена связь цинка с процессами накопления витаминов, в частности аскорбиновой кислоты.

В результате проведенных нами исследований установлено, что исследуемое растительное сырье тысячелистника относительно богато витамином С, содержание которого в среднем за годы исследований составляло 3,56-7,06 мг% (Приложение 58, таблица 105).

Изучаемое нами действие и последствие цинковых и медных удобрений в различных дозах способствовало увеличению содержания витамина С в тысячелистнике обыкновенном по сравнению с контролем и фоном. Внесение цинковых удобрений до оптимальной дозы Zn_{60} повышало содержание аскорбиновой кислоты до 7,06 мг%. Коэффициент интенсивности действия «*b*» составил 0,04 мг% при $r = 0,91$ (таблица 106, уравнение 645). Медные удобрения оказали положительное воздействие на биосинтез витамина С, с увеличением доз меди от 2,4 до оптимальной 9,7 кг/га, содержание витамина в сырье возрастало от 4,91 до 7,03 мг%. В среднем за годы исследований 1 кг медных удобрений повышал аскорбиновую кислоту на 0,27 мг%, $r = 0,98$ (таблица 106, уравнение 646).

Содержание **каротиноидов** является важным физиологическим показателем, напрямую связанным с фотосинтетическими показателями растений (Parashar et al., 2014). Каротиноиды являются наиболее распространенными растительными пигментами, которые применяются для профилактики заболеваний и имеет широкие перспективы использования в клинической практике. Функции каротиноидов в растительном организме достаточно разнообразны. Они участвуют в процессе фотосинтеза (фотозащитная,

светособирающая, структурная функции), роста и деления клеток, в окислительно-восстановительных процессах, способствуют активизации работы иммунной системы, помогают нормальному функционированию половых желез, защищают от вредного воздействия света и др. Поступление провитамина А в организм происходит главным образом с растительной пищей, поэтому растительный организм основной первоисточник данного микронутриента (Ладыгин, Ширшикова, 2006; Napoli, 2005).

В литературе встречается крайне мало сведений о содержании каротиноидов в растениях тысячелистника. По данным М. П. Глушко (2007) в растениях тысячелистника широколопастного содержится около 4,09 мг% каротиноидов.

Содержание каротина в лекарственном сырье тысячелистника, при внесении в почву цинксодержащих удобрений, в среднем за 2012-2015 гг. было значительно выше (в зависимости от доз Zn на 145-171 %) по сравнению с контролем (Приложение 59, таблица 105). Биосинтез каротиноидов усиливался до варианта Zn₄₀ – 10,94 мг%, далее с увлечением дозы цинка отмечается снижение содержания каротина до 9,30 мг%. Каждый кг цинковых удобрений увеличивал содержание каротина на 0,02 мг%, $r = 0,70$ (таблица 106, уравнение 647). Увеличивающиеся дозы медных удобрений от Cu_{2,4} до Cu_{9,7} повышали содержание каротина в растениях от 8,80 до 10,49 мг%. Коэффициент интенсивности действия медных удобрений на концентрацию каротина оставлял 0,16, $r = 0,85$ (таблица 106, уравнение 648). Таким образом для повышения содержания каротина на 1 мг% требуется внести 6,3 кг Cu удобрений.

Экстрактивные вещества характеризуют содержание в лекарственном растительном сырье всей суммы биологически активных и балластных веществ, извлекаемых экстрагентом.

Общее количество экстрактивных веществ при внесении в почву ацетата цинка в дозах от Zn₂₀ до Zn₆₀ изменялось от 36,85 до 37,10 %. При дальнейшем увеличении доз цинка до 80 кг д.в./га отмечалось снижение количества

экстрактивных веществ до 29,29 % (таблица 105). Увеличивающиеся дозы медных удобрений (от 2,4 до 9,7 кг/га) приводили к повышению экстрактивных веществ. Каждый кг цинковых удобрений в пределах оптимальной дозы повышал содержание экстрактивных веществ на 0,05 % (таблица 106, уравнение 649), медных удобрений на 0,99 % (таблица 106, уравнение 650).

Между концентрацией микроэлементов (цинка и меди) и содержанием БАВ в растениях тысячелетника были выявлены связи (таблица 107, уравнения 651-662).

Таблица 107 – Математические уравнения связи концентраций цинка и меди в растениях (мг/кг) с содержанием биологически активных веществ в лекарственном сырье тысячелистника обыкновенного (средние данные за 2012-2015 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Эфирное масло, %	$\text{Эф} = 39,22 \text{ Zn} + 4,92$ (651)	$r = 0,81$
	$\text{Эф} = 16,62 \text{ Cu} - 3,03$ (652)	$r = 0,97$
Сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин, %	$\Phi = 109,9 \text{ Zn} - 28,6$ (653)	$r = 0,84$
	$\Phi = 29,23 \text{ Cu} - 9,26$ (654)	$r = 0,95$
Дубильные вещества, %	$\text{Д} = 0,12 \text{ Zn} + 1,01$ (655)	$r = 0,99$
	$\text{Д} = 0,67 \text{ Cu} + 1,40$ (656)	$r = 0,95$
Аскорбиновая кислота, мг%	$\text{А} = 0,12 \text{ Zn} + 2,50$ (657)	$r = 0,77$
	$\text{А} = 0,56 \text{ Cu} + 3,17$ (658)	$r = 0,99$
Каротин, мг%	$\text{К} = 0,07 \text{ Zn} + 8,70$ (659)	$r = 0,84$
	$\text{К} = 0,34 \text{ Cu} + 8,41$ (660)	$r = 0,85$
Экстрактивные вещества, %	$\text{Э} = 0,20 \text{ Zn} + 31,72$ (661)	$r = 0,95$
	$\text{Э} = 2,18 \text{ Cu} + 28,30$ (662)	$r = 0,96$

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 651), сумму флавоноидов на 109,9 % (уравнение 653). 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

656), аскорбиновой кислоты – 0,56 ($r = 0,99$; уравнение 658), каротина – 0,34 ($r = 0,85$; уравнение 660) мг% и экстрактивных веществ – 2,18 % ($r = 0,96$; уравнение 662).

6.2 Качество лекарственного растительного сырья пижмы обыкновенной

Качество растительного сырья пижмы обыкновенной регламентируется ГФ РФ XIV издание [84]. 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 %.

Данные по содержанию биологически активных веществ в пижме обыкновенной встречаются в работах Т. В. Бобрик (2006), А. А. Кочуковой и др. (2014), Е. П. Черных и др. (2012).

Е. П. Черных и др. (2012) в своих исследованиях рассматривают изменение количественного содержания биологически активных веществ в растительном сырье *Tanacetum vulgare* L., произрастающем на территории Красноярского края, в зависимости от экологических факторов. В их работе отмечено, что содержание каротина в вегетативных и генеративных частях пижмы обыкновенной изменяется в течение всего вегетационного периода, причем максимальное количество каротина приходится на конец июня – начало июля. Результаты фитохимического анализа, проведенного ими, показали, что соцветия характеризуются высоким содержанием дубильных веществ, витамина С, пигментов в фазу цветения. Содержание дубильных веществ составляло 8,1 %, каротиноидов – 20,8 мг/100 г, витамина С – 12,1 мг%.

В проведенных нами многолетних исследованиях качество пижмы обыкновенной (соцветия) оценивалось по следующим показателям: общая

зольность, сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин, каратиноиды, дубильные и экстрактивные вещества, аскорбиновая кислота.

Анализируя полученные данные в среднем за период исследований, можно заключить, что цинковые микроудобрения снижают *общую зольность* относительно контроля и фона, что положительно сказывается на качестве получаемого сырья (Приложение 60, Таблица 108). Медные удобрения, вносимые в дозах от 2,4 до 9,7 кг д.в./га, незначительно повышали содержание золы с 8,00 до 8,60 %. Максимальное содержание общей золы отмечалось при внесении медных удобрений в дозе 9,7 кг/га – 8,60 %.

Фармакологические свойства (желчегонные и гепатопротекторные) цветков пижмы обыкновенной в основном обусловлены содержанием в них *флавоноидов и фенилкарбоновых кислот*. В исследованиях Кочуковой и др. (2013) содержание в соцветиях пижмы обыкновенной суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин составляло: 3,25 % – в растениях лугового фитоценоза, 2,65 % – в растениях, произрастающих у дороги, 3,04 % – в аптечном образце.

Внесение в почву цинковых удобрений изменяло данный показатель от 2,59 % в варианте Zn_{80} до 3,39 % в варианте Zn_{60} (таблица 108). Медные удобрения тоже способствовали повышению содержания суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот в цветках пижмы обыкновенной с 2,63 (9,7 кг д.в. Cu /га) до 3,24 % (7,2 кг д.в. Cu /га). Таким образом, в вариантах с оптимальным сбалансированным питанием микроэлементами содержание суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин было выше фонового варианта на 21-27 %. Кроме этого, во всех вариантах опыта данный показатель был выше установленного ГФ уровня – 2,5 %.

Таблица 108 – Содержание биологически активных веществ в фазу цветения в соцветиях пижмы обыкновенной под влиянием цинковых и медных удобрений, средние данные за 2012-2015 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зольность, %	Сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот, %	Дубильные вещества, %	Аскорбиновая кислота, мг%	Каротин, мг%	Экстрактивные вещества, %
Контроль (без удобрений)		$8,31 \pm 0,002$	$2,50 \pm 0,05$	$3,52 \pm 0,23$	$4,08 \pm 0,17$	$27,08 \pm 0,58$	$32,82 \pm 0,24$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$8,37 \pm 0,005$	$2,67 \pm 0,05^*$	$4,77 \pm 0,09^*$	$4,88 \pm 0,09^*$	$30,53 \pm 0,19^*$	$33,20 \pm 0,20^*$
Фон	Zn ₂₀	$8,53 \pm 0,02^*$	$2,91 \pm 0,04^{**}$	$5,74 \pm 0,02^{**}$	$5,19 \pm 0,05^{**}$	$31,38 \pm 0,09^{**}$	$33,39 \pm 0,18^*$
	Zn ₄₀	$8,47 \pm 0,02^*$	$2,95 \pm 0,04^{**}$	$6,04 \pm 0,05^{**}$	$5,96 \pm 0,04^{**}$	$32,30 \pm 0,01^{**}$	$34,36 \pm 0,07^{**}$
	Zn₆₀	$8,30 \pm 0,003$	$3,39 \pm 0,08^{**}$	$6,87 \pm 0,15^{*м}$	$5,94 \pm 0,03^{*м}$	$33,23 \pm 0,11^{**}$	$37,92 \pm 0,33^{**}$
	Zn ₈₀	$7,99 \pm 0,04$	$2,59 \pm 0,09$	$5,57 \pm 0,001^{**}$	$4,28 \pm 0,15^*$	$31,03 \pm 0,13^{**}$	$35,21 \pm 0,03^{**}$
	Cu _{2,4}	$8,00 \pm 0,04$	$2,71 \pm 0,07^*$	$4,78 \pm 0,09^{**}$	$5,62 \pm 0,003^{**}$	$32,90 \pm 0,08^{**}$	$35,46 \pm 0,06^{**}$
	Cu _{4,9}	$8,20 \pm 0,01$	$2,80 \pm 0,03^{**}$	$5,54 \pm 0,003^{**}$	$6,62 \pm 0,11^{**}$	$34,00 \pm 0,20^{**}$	$36,18 \pm 0,14^{**}$
	Cu_{7,2}	$8,49 \pm 0,02^*$	$3,24 \pm 0,06^{**}$	$6,36 \pm 0,09^{**}$	$7,23 \pm 0,18^{**}$	$35,03 \pm 0,31^{**}$	$37,43 \pm 0,28^{**}$
	Cu _{9,7}	$8,60 \pm 0,03^*$	$2,63 \pm 0,08^*$	$6,45 \pm 0,10^{**}$	$6,63 \pm 0,11^{**}$	$34,78 \pm 0,29^{**}$	$33,68 \pm 0,14^*$

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

** – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Между дозами микроудобрений и содержанием суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот отмечается сильная, прямая зависимость ($r = 0,88-0,95$, таблица 109, уравнения 665-666). Каждый килограмм цинковых и медных удобрений повышал содержание флавоноидов и фенилкарбоновых кислот соответственно на 0,01 и 0,07 %.

Таблица 109 – Математические модели связи между дозами цинка и меди, внесенных в почву под растения, и содержанием биологически активных веществ в растениях пижмы обыкновенной (средние данные за 2012-2015 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Общая зольность, %	$y = -0,0002 \text{ Zn}^2 + 0,01\text{Zn} + 8,37$ (663)	$\eta = 0,99$
	$y = 0,03 \text{ Cu}^2 - 0,19\text{Cu} + 8,35$ (664)	$\eta = 0,96$
Сумма флавоноидов и фенилкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин, %	$y = 0,01 \text{ Zn} + 2,65$ (665)	$r = 0,95$
	$y = 0,07 \text{ Cu} + 2,59$ (666)	$r = 0,88$
Дубильные вещества, %	$y = 0,03 \text{ Zn} + 4,87$ (667)	$r = 0,98$
	$y = 0,23 \text{ Cu} + 4,54$ (668)	$r = 0,94$
Аскорбиновая кислота, мг%	$y = 0,02 \text{ Zn} + 4,90$ (669)	$r = 0,94$
	$y = 0,33 \text{ Cu} + 4,87$ (670)	$r = 0,99$
Каротин, мг%	$y = 0,05 \text{ Zn} + 30,50$ (671)	$r = 0,99$
	$y = 0,61 \text{ Cu} + 30,92$ (672)	$r = 0,98$
Экстрактивные вещества, %	$y = 0,08 \text{ Zn} + 32,45$ (673)	$r = 0,89$
	$y = 0,56 \text{ Cu} + 33,55$ (674)	$r = 0,97$

В проводимых нами исследованиях отмечено положительное влияние цинковых и медных удобрений на содержание *дубильных веществ* в соцветиях пижмы обыкновенной (Приложение 61, таблица 108).

Цинковые удобрения увеличивали количество дубильных веществ в 1,2-1,4 раза относительно фона, медные удобрения в 1,0-1,4 раза. Каждый кг Zn удобрений увеличивал содержание танинов на 0,03 % ($r = 0,98$), а Cu удобрений на 0,23 % ($r = 0,94$) (таблица 110, уравнения 712-713).

Содержание *аскорбиновой кислоты* от применения оптимальных доз медных удобрений повышалось до $\text{Cu}_{7,2} - 7,23$ мг%, при использовании цинковых удобрений до дозы $\text{Zn}_{60} - 5,94$ мг% (Приложение 62, таблица 108). На контроле и фоне содержание витамина С составляло 4,08 и 4,88 соответственно.

Установленные в ходе работы уравнения регрессии (таблица 109, уравнения 663-674) показывают, что каждый кг внесенных Zn и Cu удобрений увеличивает содержание аскорбиновой кислоты в соцветиях: « b_{Zn} » = 0,02 и « b_{Cu} » = 0,33 мг%. Согласно полученным коэффициентам интенсивности действия для повышения аскорбиновой кислоты на 1 мг% требуется внести 50 кг д.в. цинка и 3,0 кг меди.

Пижма обыкновенная достаточно богата **каротиноидам**, содержание которых изменялось от 31,03 (Zn₈₀) до 33,23 мг% (Zn₆₀) и от 32,9 (Cu_{2,4}) до 35,0 мг% (Cu_{7,2}), то есть повышение происходило до формирования оптимальных по урожайности доз внесения микроудобрений (Приложение 62, таблица 109). Между дозами цинковых и медных удобрений и содержанием каротина отмечается прямая положительная связь. Уравнения 675-684 (таблица 110) показывают, что 1 кг цинка и меди повышали содержание каротиноидов в соцветиях на 0,05 и 0,61 мг% ($r = 0,98-0,99$).

Таблица 110 – Взаимосвязи между содержанием биологически активных веществ в соцветиях пижмы обыкновенной и концентрацией микроэлементов в растениях (средние данные за 2012-2015 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в пересчете на лютеолин, %	$\Phi = 0,03 \text{ Zn} + 2,10$ (675)	$r = 0,99$
	$\Phi = 0,97 \text{ Cu} - 1,54$ (676)	$r = 0,97$
Дубильные вещества, %	$D = 0,09 \text{ Zn} + 3,30$ (677)	$r = 0,99$
	$D = 2,74 \text{ Cu} - 6,99$ (678)	$r = 0,97$
Аскорбиновая кислота, мг%	$A = 0,05 \text{ Zn} + 4,14$ (679)	$r = 0,84$
	$A = 3,28 \text{ Cu} - 8,67$ (680)	$r = 0,84$
Каротин, мг%	$K = 0,12 \text{ Zn} + 28,49$ (681)	$r = 0,97$
	$K = 5,31 \text{ Cu} + 9,24$ (682)	$r = 0,74$
Экстрактивные вещества, %	$\Xi = 0,22 \text{ Zn} + 28,69$ (683)	$r = 0,92$
	$\Xi = 4,98 \text{ Cu} + 13,17$ (684)	$r = 0,75$

Количество **экстрактивных веществ** повышалось до оптимальных доз микроудобрений Zn₆₀ и Cu_{7,2}, дальнейшее увеличение доз приводило к снижению содержания экстрактивных веществ в соцветиях пижмы обыкновенной.

Концентрация экстрактивных веществ относительно фонового варианта была выше в 1,2 раза. Связь между дозами применяемых Zn и Cu удобрений и содержанием экстрактивных веществ прямая положительная, сильная ($r = 0,89-0,97$).

Высокая зависимость отмечается между концентрацией цинка и меди в растениях пижмы и содержанием БАВ в лекарственном сырье ($r = 0,74-0,99$). В проведенных исследованиях было установлено, что 1 мг/кг цинка и меди в соцветиях пижмы повышал соответственно содержание суммы флавоноидов и фенилкарбоновых кислот (в пересчете на лютеолин) на 0,03 и 0,97 %, дубильных веществ на 0,09 и 2,74 %, 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 % (таблица 110, уравнения 677-684). Исходя из коэффициентов интенсивности действия «*b*», можно говорить о значительном влиянии содержания меди в растениях на концентрацию БАВ в цветках пижмы обыкновенной.

6.3 Качество лекарственного растительного сырья эхинацеи пурпурной

В России качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной регламентируется ГФ РФ XIV издание [84]. 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 фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту – не менее 2,5 %.

Качество лекарственного сырья *Echinacea purpurea* L. практически не изучалось с точки зрения минерального питания растений. Много исследований, посвященных эхинацеи пурпурной, проведено В. Б. Загуменниковым и его учениками. Ими изучено содержание общей золы и влажности в свежей траве эхинацеи пурпурной, накопление аскорбиновой кислоты, нитратов в растениях при использовании макро- и микроудобрений (Загуменников и др., 2012, 2014а,б,в). Л. А. Костылев с соавторами (2009) отмечают, что сумма производных

оксикоричных кислот в пересчете на цикоревую кислоту (ООК) в растениях эхинацеи пурпурной, выращенной в условиях южной лесостепи Республики Башкортостан, соответствует требованиям нормативных документов. Максимальное содержание ООК в листьях отмечается на второй и третий год вегетации (8,2 %). Кроме этого, ими установлена положительная связь между содержанием гумуса и калия в почве и концентрацией ОКК в корнях эхинацеи. В исследованиях З. М. Хасановой и др. (2007) отмечено, что содержание гидрооксикоричных кислот зависит от года вегетации и фазы развития растений. Максимум приходится на листья в фазу розетки.

В лекарственном сырье эхинацеи пурпурной, обогащённом цинком и медью, нами было определено содержание таких биологически активных веществ, как сумма фенилпропаноидов в пересчете на цикоревую кислоту, дубильные вещества, аскорбиновая кислота, каротин, экстрактивные вещества, а также общая зольность (Приложения 64-71, таблицы 111-112).

Содержание *общей золы* служит для контроля качества любого лекарственного растительного сырья, в том числе и эхинацеи пурпурной. В проведённых нами исследованиях установлено, что содержание общей золы в сырье эхинацеи пурпурной по годам проводимых исследований снижалось (Приложения 64-65). В. Б. Загуменников с соавторами (2012) тоже отмечают, что с увеличением возраста растений содержание неорганического остатка после сжигания существенно уменьшается, независимо от органа растения. В среднем за годы исследований общая зольность при внесении расчетных доз цинка в почву под растения изменялась от 6,6 до 7,4 %, повышаясь при увеличении доз Zn удобрений. Медные удобрения в большей степени снижали содержание золы с 7,1 до 6,3 %. Наибольшая зольность была отмечена на контрольном и фоновом вариантах – 7,54-7,59 %. При этом ни на одном из вариантов опыта, при внесении Zn и Cu удобрений, общая зольность в траве и соцветиях эхинацеи пурпурной не превышала установленный ФС уровень – 8 % (таблицы 111-112).

Таблица 111 – Содержание биологически активных веществ в фазу цветения в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (травя) под влиянием цинковых и медных удобрений, средние данные за 2016-2018 гг. ($M \pm SEM$, $n = 30$)

Вариант		Общая зольность, %	Сумма фенилпропаноидов в пересчете на цикоревую кислоту, %	Дубильные вещества, %	Аскорбиновая кислота, мг%	Каротин, мг%	Экстрактивные вещества, %
Контроль (без удобрений)		$7,54 \pm 0,07$	$3,11 \pm 0,15$	$10,34 \pm 0,44$	$2,11 \pm 0,27$	$2,57 \pm 0,17$	$61,73 \pm 0,04$
N ₁₂₅ (Фон)		$7,59 \pm 0,08$	$2,75 \pm 0,01$	$11,76 \pm 0,26^{*''}$	$3,07 \pm 0,15^{*}$	$2,77 \pm 0,14^{*}$	$58,74 \pm 0,34$
Фон	Zn _{10,7}	$6,63 \pm 0,05$	$2,73 \pm 0,02$	$12,84 \pm 0,12^{*''}$	$3,67 \pm 0,07^{*''}$	$3,71 \pm 0,02^{*''}$	$61,63 \pm 0,03^{''}$
	Zn_{21,4}	$6,81 \pm 0,02$	$2,95 \pm 0,08^{''}$	$14,48 \pm 0,10^{*''}$	$4,14 \pm 0,008^{*''}$	$4,68 \pm 0,11^{*''}$	$62,06 \pm 0,09^{*''}$
	Zn _{32,4}	$7,00 \pm 0,002$	$2,80 \pm 0,01$	$15,24 \pm 0,19^{*''}$	$4,67 \pm 0,06^{*''}$	$5,11 \pm 0,16^{*''}$	$63,39 \pm 0,26^{*''}$
	Zn _{42,8}	$7,42 \pm 0,06$	$2,64 \pm 0,06$	$15,96 \pm 0,29^{*''}$	$4,95 \pm 0,10^{*''}$	$2,84 \pm 0,13^{*}$	$64,02 \pm 0,34^{*''}$
	Cu _{2,3}	$7,05 \pm 0,01$	$2,63 \pm 0,06$	$12,90 \pm 0,11^{*''}$	$3,85 \pm 0,05^{*''}$	$3,23 \pm 0,08^{*''}$	$58,36 \pm 0,39$
	Cu _{4,7}	$6,83 \pm 0,02$	$2,63 \pm 0,06$	$13,66 \pm 0,01^{*''}$	$4,54 \pm 0,04^{*''}$	$4,07 \pm 0,03^{*''}$	$60,44 \pm 0,12^{''}$
	Cu _{7,0}	$6,61 \pm 0,05$	$2,66 \pm 0,05$	$14,49 \pm 0,10^{*''}$	$5,18 \pm 0,13^{*''}$	$4,55 \pm 0,09^{*''}$	$60,86 \pm 0,07^{''}$
	Cu_{9,4}	$6,34 \pm 0,08$	$2,85 \pm 0,03^{''}$	$15,80 \pm 0,27^{*''}$	$5,84 \pm 0,21^{*''}$	$5,12 \pm 0,16^{*''}$	$62,65 \pm 0,16^{*''}$

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

'' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Таблица 112 – Содержание биологически активных веществ в фазу цветения в соцветиях эхинацеи пурпурной под влиянием цинковых и медных удобрений, средние за 2017-2018 гг. ($M \pm SEM$, $n = 20$)

Вариант		Общая зольность, %	Дубильные вещества, %	Каротин, мг%
Контроль (без удобрений)		$5,70 \pm 0,06$	$7,02 \pm 0,47$	$2,69 \pm 0,87$
N ₁₂₅ (Фон)		$5,85 \pm 0,08$	$7,94 \pm 0,32^*$	$4,88 \pm 0,53^*$
Фон	Zn _{10,7}	$4,95 \pm 0,06$	$9,25 \pm 0,12^{*''}$	$8,71 \pm 0,08^{*''}$
	Zn_{21,4}	$5,03 \pm 0,05$	$11,10 \pm 0,18^{*''}$	$11,85 \pm 0,58^{*''}$
	Zn _{32,4}	$5,13 \pm 0,03$	$11,79 \pm 0,28^{*''}$	$10,62 \pm 0,38^{*''}$
	Zn _{42,8}	$5,23 \pm 0,01$	$12,76 \pm 0,44^{*''}$	$8,74 \pm 0,08^{*''}$
	Cu _{2,3}	$5,53 \pm 0,03$	$8,93 \pm 0,17^{*''}$	$6,68 \pm 0,24^{*''}$
	Cu _{4,7}	$5,43 \pm 0,02$	$9,54 \pm 0,07^{*''}$	$7,21 \pm 0,16^{*''}$
	Cu _{7,0}	$5,33 \pm 0,002$	$10,29 \pm 0,05^{*''}$	$9,63 \pm 0,23^{*''}$
	Cu_{9,4}	$5,00 \pm 0,05$	$11,31 \pm 0,21^{*''}$	$11,04 \pm 0,45^{*''}$

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

'' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

В исследованиях Д. А. Костылева (2014) по изучению влияния различных доз азотно-фосфорно-калийных удобрений (от 50 до 250 кг д.в./га) на накопление оксикоричных кислот в эхинацеи пурпурной отмечается, что при внесении макроудобрений содержание данных соединений было выше, установленного ФС уровня, и варьировало от 4,11 до 4,42 %. В работе К. Х. Фарниевой (2015), посвященной вопросам интродукции эхинацеи пурпурной в условиях РСО – Алания отмечается, что в зеленой массе этого растения среднее содержание оксикоричных кислот, в пересчете на цикориевую кислоту, составляет 3,0 %. Н. И. Сидельников и др. (2018) установили, что комплексное применение кремнесодержащего микроудобрения Силиплант с регулятором роста Циркон повышает содержание оксикоричных кислот в корнях эхинацеи пурпурной на 5-7 %.

В наших исследованиях содержание *суммы фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту* изменялось при внесении цинковых удобрений от 2,64 до 2,95 %, при использовании медных удобрений от 2,63 до 2,85 %, что выше установленного ФС уровня – 2,5 %. При этом в вариантах с оптимальными дозами микроудобрений (Zn_{21,4} и Cu_{9,4}) содержание фенилпропаноидов было выше фона на 3,7-7,2 % (Таблица 111). Цинковые удобрения в большей степени повышали содержание суммы фенилпропаноидов в сравнении с медными. Так, при внесении в почву 1 кг д.в./га цинка содержание суммы фенилпропаноидов повышалось на 0,009 % (таблица 113, уравнение 687).

По данным М. Н. Запрометова (1974) в листьях эхинацеи пурпурной содержится до 7,2-10,2 % *дубильных веществ*. В исследованиях К. Х. Фарниевой (2015) установлено, что содержание дубильных веществ в целых растениях эхинацеи пурпурной, произрастающей в условиях РСО-Алания, составляет 5,2%.

В ходе проведенных нами исследований установлено, что трава и соцветия *Echinacea purpurea* богаты дубильными веществами (Приложения 66-67, таблицы 111-112). Содержание данных веществ во всех органах лекарственного растения увеличивается с каждым последующим годом вегетации.

Таблица 113 – Математические зависимости содержания биологически активных веществ в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (травя) в фазу цветения от вносимых доз микроудобрений (средние данные за 2016-2018 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Общая зольность, %	$y = 0,002 \text{ Zn}^2 - 0,07\text{Zn} + 7,48$ (685)	$\eta = 0,92$
	$y = -0,12 \text{ Cu} + 7,47$ (686)	$r = 0,98$
Сумма фенилпропаноидов, %	$y = 0,009\text{Zn} + 2,71$ (687)	$r = 0,83$
	$y = 0,009x^2 - 0,07x + 2,75$ (688)	$\eta = 0,99$
Дубильные вещества, %	$y = 0,13 \text{ Zn} + 11,67$ (689)	$r = 0,99$
	$y = 0,41 \text{ Cu} + 11,80$ (690)	$r = 0,99$
Аскорбиновая кислота, мг%	$y = 0,05 \text{ Zn} + 3,09$ (691)	$r = 0,99$
	$y = 0,29 \text{ Cu} + 3,13$ (692)	$r = 0,99$
Каротин, мг%	$y = 0,09 \text{ Zn} + 2,77$ (693)	$r = 0,99$
	$y = 0,26 \text{ Cu} + 2,75$ (694)	$r = 0,99$
Экстрактивные вещества, %	$y = 0,16 \text{ Zn} + 59,15$ (695)	$r = 0,92$
	$y = 0,35 \text{ Cu} + 58,57$ (696)	$r = 0,75$

В среднем за годы исследований содержание дубильных веществ в целых растениях эхинацеи (травя) увеличивается от 12,84 до 15,96 % при внесении в почву под растения расчётных доз ацетата цинка, и от 12,90 до 15,80 % в зависимости от внесённых доз медных удобрений (таблица 111). Максимальное содержание дубильных веществ (15,96 и 15,80 %) наблюдается на вариантах с внесением цинка в дозе 42,8 и меди в дозе 9,4 кг д.в./га. Различия содержания дубильных веществ по всем вариантам опыта было достоверно как относительно контроля, так и фона при $p < 0,05$.

Установлена высокая зависимость ($r=0,99$) между дозами цинковых и медных удобрений и содержанием дубильных веществ в целых растениях (таблица 113) (Жаркова и др., 2020в). Коэффициент регрессии показывает, что при внесении 1 кг д.в. Zn/га содержание дубильных веществ в целых растениях повышалось на 0,13 %, при внесении медных удобрений на 0,41 %, что на 75,6 % выше (таблица 113, уравнения 689-690).

Применяемые расчетные дозы цинковых и медных удобрений оказали положительное действие на накопление дубильных веществ и в соцветиях исследуемого лекарственного сырья (Приложение 67, таблица 112).

При внесении цинковых удобрений содержания дубильных веществ в соцветиях варьировало от 9,3 (Фон + Zn_{10,7}) до 12,8 % (Фон + Zn_{42,8}). Медные удобрения также способствовали увеличению дубильных веществ от 8,9 до 11,3 %, что выше фоновых значений на 12,7-43,0 % (таблица 112). Внесение цинковых удобрений увеличивало содержание дубильных веществ в соцветиях на 1,22 %, медные повышали на 0,81 % (таблица 114, уравнения 699-700).

Таблица 114 – Математические зависимости между содержанием биологически активных веществ в соцветиях эхинацеи пурпурной в фазу цветения и вносимыми дозами микроудобрений (средние данные за 2017-2018 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Общая зольность, %	$y = -0,04 \text{ Zn} + 5,69$ (697)	$r = 0,82$
	$y = -0,07 \text{ Cu} + 5,74$ (698)	$r = 0,95$
Дубильные вещества, %	$y = 1,22 \text{ Zn} + 6,91$ (699)	$r = 0,99$
	$y = 0,81 \text{ Cu} + 7,17$ (700)	$r = 0,99$
Каротин, мг%	$y = 0,33 \text{ Zn} + 4,99$ (701)	$r = 0,99$
	$y = 0,65 \text{ Cu} + 4,85$ (702)	$r = 0,99$

Помимо других биологически активных веществ в листьях эхинацеи пурпурной обнаружены *аскорбиновая кислота* (Bauer, Wagner, 1991; Mistrikova, Vaverkova, 2006) и *каротиноиды*. В. Б. Загуменников с соавторами (2014б) отмечают, что комплексные некорневые подкормки эхинацеи совместными растворами карбамида и микроудобрений позволяют повысить уровень накопления аскорбиновой кислоты по сравнению с использованием одного карбамида. Ими установлено, что ЛРС эхинацеи в незначительном количестве накапливает аскорбиновую кислоту, при этом подкормки оказывают незначительное влияние на содержание витамина (Zagumennikov et al., 2015). Так, содержание аскорбиновой кислоты в свежей траве эхинацеи 2 года жизни варьировало от 6,85 до 8,25 мг%, в соцветиях – 6,5-7,9 мг%. С увеличением

возраста растений содержание аскорбиновой кислоты увеличивается до 8,6-9,8 мг% в траве и 7,49-8,25 мг% в соцветиях (3 год жизни). К. Х. Фарниевой (2015) было определено в зеленой массе эхинацеи пурпурной, произрастающей в условиях РСО-Алании, содержание аскорбиновой кислоты – 7,04 мг% и каротина – 0,05 мг/г в анализируемом растении.

Расчётные дозы меди положительно сказались на накоплении витаминов в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (Приложения 68-70, таблицы 111-112) (Жаркова и др., 2020в). Содержание аскорбиновой кислоты и каротина достоверно повышались при увеличении доз ацетата меди, а также в зависимости от года жизни (Приложения 68-70). Так, если на фоновом варианте аскорбиновой кислоты в траве было 5,07, а каротина 2,77 мг%, то при внесении меди под растения концентрация витамина С варьировала на вариантах от 3,85 до 5,84 мг%, каротина от 3,23 до 5,12 мг%. Максимальное содержание витаминов отмечалось в варианте с оптимальной дозой $\text{Cu}_{9,4}$ (1,0 ПДК). Каждый кг медных удобрений повышал содержание аскорбиновой кислоты на 0,29 мг% (таблица 113, уравнение 692), каротина на 0,26 мг% (таблица 113, уравнение 694). Корреляционный анализ указывает на очень сильную связь содержания витаминов с введением доз меди в почву под эхинацею пурпурную ($r=0,99$).

Внесение в почву цинковых удобрений также оказало положительное влияние на увеличение аскорбиновой кислоты. Так, 1 кг Zn удобрений повышал содержание витамина С на 0,05 мг% (таблица 113, уравнение 691). Увеличение каротина при использовании цинковых удобрений происходило до дозы 32,4 кг д.в./га, дальше отмечалось снижение. В пределах оптимальной дозы коэффициент интенсивности действия цинковых удобрений на содержание каротиноидов составил « b_{Zn} » = 0,09 мг% (таблица 113, уравнение 693).

Содержание каротина в соцветиях эхинацеи пурпурной было несколько выше в сравнении с травой (стебли + листья + соцветия) эхинацеи пурпурной (Приложение 70, таблица 112). Коэффициент интенсивности действия цинксодержащих удобрений в пределах оптимальной дозы (21,4 кг д.в./га) на

содержание каротина составил 0,33 мг% ($r = 0,99$; таблица 114, уравнение 701), медных удобрений – 0,65 мг% ($r = 0,99$; таблица 114, уравнение 702).

Содержание *экстрактивных веществ* закономерно увеличивалось как при внесении цинковых (62,63-64,02 %), так и медных удобрений (58,36-62,65 %) [таблица 111]. Каждый килограмм цинковых удобрений повышал содержание экстрактивных веществ в траве эхинацеи пурпурной на 0,16 % ($r = 0,92$), медных удобрений на 0,35 % ($r = 0,92$) [таблица 113, уравнения 695-696].

Содержание биологически активных веществ в абсолютно-сухой массе эхинацеи пурпурной имеет тесную зависимость от уровня цинка и меди в растениях в фазу цветения ($r = 0,90-0,99$) [таблица 115, уравнения 703-712]. Увеличение концентрации цинка в растениях эхинацеи пурпурной на 1 мг/кг повышает на 0,02 % содержание фенилпропаноидов, на 0,29 % 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 содержание фенилпропаноидов, дубильных веществ, витамина С, каротина и экстрактивных веществ соответственно на 0,06%, 1,77 %, 1,24 мг%, 1,07 мг%, 1,88 %.

Таблица 115 – Взаимосвязи между концентрацией микроэлементов в растениях и содержанием биологически активных веществ в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (травя) в фазу цветения (средние данные за 2016-2018 гг.)

Показатель качества	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Сумма фенилпропаноидов, %	$y = 0,02 \text{ Zn} + 2,65$ (703)	$r = 0,60$
	$y = 0,06 \text{ Cu} + 2,52$ (704)	$r = 0,52$
Дубильные вещества, %	$y = 0,29 \text{ Zn} + 10,31$ (705)	$r = 0,90$
	$y = 1,77 \text{ Cu} + 8,30$ (706)	$r = 0,99$
Аскорбиновая кислота, мг%	$y = 0,12 \text{ Zn} + 2,48$ (707)	$r = 0,96$
	$y = 1,24 \text{ Cu} + 0,72$ (708)	$r = 0,97$
Каротин, мг%	$y = 0,21 \text{ Zn} + 1,74$ (709)	$r = 0,94$
	$y = 1,07 \text{ Cu} + 0,66$ (710)	$r = 0,96$
Экстрактивные вещества, %	$y = 0,42 \text{ Zn} + 56,84$ (711)	$r = 0,99$
	$y = 1,88 \text{ Cu} + 54,46$ (712)	$r = 0,93$

Полученные математические уравнения дают возможность не только проследить динамику и давать оценку накопления биологически активных веществ лекарственными растениями, но и делать прогноз качества лекарственного сырья.

Определение содержания цинка и меди в период роста и развития растений (фаза цветения) позволяет успешно диагностировать уровень биологически активных веществ и управлять формированием качества лекарственного сырья на основе растительного анализа.

Таким образом, внесение в почву оптимальных доз цинковых и медных удобрений на фоне сбалансированного питания NPK позволяет повысить содержание биологически активных веществ (сумма фенилпропаноидов, дубильные вещества, витамин С и А, экстрактивные вещества) в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной, а также способствует его обогащению микронутриентами (медью и цинком). Кроме того, полученные экспериментальные данные способствуют расширению базы данных по биохимическому составу лекарственного сырья, выращиваемого в условиях южной лесостепи Западной Сибири, при использовании цинковых и медных удобрений.

6.4 Оценка экологической безопасности лекарственных сырья по содержанию тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в условиях применения микроудобрений

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственных растениях нормируется сравнительно недавно (ГФ РФ XIII изд., 2015 г.). Современные нормативы ПДК химических элементов для лекарственного растительного сырья разработаны только для As, Cd, Hg и Pb, при этом они основываются лишь на валовом содержании элементов и никак не учитывают видовые кумулятивные

особенности лекарственных растений и формы присутствующих в них соединений (Сиромля, 2019).

Согласно ГФ РФ (2018) для лекарственного растительного сырья нормативными документами предусмотрено определение остаточного количества пестицидов (согласно ОФС.1.5.3.0011.15), тяжелых металлов, мышьяка (ОФС.1.5.3.0009.15), радионуклидов стронция и цезия (ОФС.1.5.3.0001.15). Так как в проводимых полевых опытах, не использовались пестициды, то определение остаточного их количества не проводилось.

В ходе проведенных исследований было установлено, что в вариантах с внесением оптимальных доз микроудобрений содержание тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в лекарственном сырье изучаемых растений не превышало установленного ФС уровня (таблица 116).

Таблица 116 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном сырье тысячелистника, пижмы и эхинацеи пурпурной (в среднем за годы исследований)

Вариант опыта	Содержание, мг/кг			
	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Свинец
Тысячелистник обыкновенный (травя)				
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	0,010	0,008	0,0126	3,84
Zn ₆₀	0,008	не обнаружено	0,0135	3,56
Cu _{9,7}	0,015	не обнаружено	0,0106	3,93
Пижма обыкновенная (соцветия)				
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	0,016	не обнаружено	0,0203	0,016
Zn ₆₀	0,015	0,008	0,0214	4,47
Cu _{7,2}	0,012	0,007	0,0272	2,21
Эхинацея пурпурная (травя)				
N ₁₂₅ (Фон)	0,016	0,007	0,0180	3,18
Zn _{21,4}	0,018	0,005	0,0250	3,32
Cu _{9,4}	0,018	0,008	0,0194	3,60
Предельно допустимое содержание согласно ГФ [2018], мг/кг	1,0	0,5	0,1	6,0

Анализ таблицы 116 позволяет установить, что внесение цинковых и медных удобрений приводило к повышению ртути до 0,0214-0,0272 мг/кг (в 1,1-1,3 раза больше фона) и свинца до 2,21-4,47 мг/кг (в 138-279 раз выше фона) в соцветиях пижмы обыкновенной.

В растениях эхинацеи пурпурной внесение микроудобрений в пределах оптимальных доз также повышало содержание свинца: на фоне – 3,18, при внесении цинковых удобрений – 3,32, медных – 3,60 мг/кг.

Оценка лекарственных растений как аптечного сырья свидетельствует о том, что применение оптимальных доз цинковых и медных удобрений не приводит к повышению предельно допустимых значений содержания химических элементов в них и подтверждает возможность использования растительной продукции в лекарственных целях.

Выводы

1. Применение микроудобрений под изучаемые лекарственные растения с учетом системы «ИСПРОД» положительно влияет на накопление биологически активных соединений, а тем самым и на качество лекарственного сырья данных культур.

2. Содержание БАВ в лекарственном сырье изучаемых растений в большей степени зависело от концентрации меди в растениях, а значит от вносимых доз медных удобрений.

3. Содержание тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) и мышьяка (As) в лекарственном сырье тысячелетника обыкновенного, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной на вариантах с внесением оптимальных доз микроудобрений не превышало установленного ФС предельно допустимого содержания, а значит внесение цинковых и медных удобрений под лекарственные культуры в пределах оптимальных доз является экологически безопасным.

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

В настоящее время технологии возделывания любых сельскохозяйственных культур должны быть не только экономически эффективными, но и энергосберегающими. В связи с этим большое внимание уделяется расчету биоэнергетической эффективности применяемых удобрений. Поэтому, чтобы рекомендовать к внедрению в производство выявленные нами дозы внесения микроудобрений под лекарственные растения необходимо дать им биоэнергетическое и экономическое обоснование. В агрохимической практике разработана методика, позволяющая оценить энергетическую эффективность применения макро- и микроудобрений (Абрамов, Селюкова, 2000; Ермохин, Неклюдов, 1994; Жученко, Афанасьев, 1990).

Анализ биоэнергетической и экономической эффективности приёмов оптимизации минерального питания лекарственных растений микроэлементами проводили в полевых опытах (2012-2018 гг.) на лугово-черноземных почвах Омской области (южная лесостепь).

Биоэнергетическая оценка применения микроэлементов под лекарственные культуры. Под энергетической эффективностью понимается соотношение накопленной в урожае биологической энергии с затратами технологической энергии на выращивание, уборку и послеуборочную доработку. Биоэнергетическая оценка позволяет количественно оценить энергетическую стоимость полученной сельскохозяйственной продукции и является условным показателем энергетической рентабельности сельскохозяйственного производства (Ермохин, Неклюдов, 1994).

Энергетическую эффективность удобрений определяют по биоэнергетическому КПД. Для его расчета используют следующие показатели:

– приходная часть – количество энергии, накопленной в надземной массе от применения удобрений (V_{f0} , МДж/га);

– расходная часть – энергетические затраты на применение удобрений, на уборку урожая, уход за посадками и т.д.

Количество энергии (V_{f0} , МДж/га), накопленной в основной продукции, полученной от применения удобрений, определяется по формуле (713):

$$V_{f0} = Y_{\Pi} \cdot l \cdot 1000 \quad (713)$$

где Y_{Π} – прибавка урожая продукции от применения удобрений, т/га;

l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества продукции, Мдж;

1000 – коэффициент перевода т в кг.

Энергетические затраты (A_0 , МДж/га) на применение удобрений определяют по формуле (714):

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) + (H_{Zn} \cdot a_{Zn}) + (H_{Cu} \cdot a_{Cu}) + (Y_{\Pi} \cdot a_{уб}) + (H_{ф.в} \cdot a_{вн}) \quad (714)$$

где $H_N, H_P, H_K, H_{Zn}, H_{Cu}$ – фактические дозы внесения удобрений, кг д.в./га;

Y_{Π} – прибавка урожая от применения макро- и микроудобрений, т/га;

$H_{ф.в.}$ – дозы удобрений в физической массе, ц/га;

$a_{уб}, a_{вн}$ – затраты энергии на уборку и внесение удобрений, МДж;

$a_N, a_P, a_K, a_{Zn}, a_{Cu}$ – энергозатраты в расчете на 1 кг д.в. удобрений.

Расчет энергетической эффективности (биоэнергетического КПД) применения удобрений (η) определяется по формуле (715):

$$\eta = \frac{V_{f0}}{A_0} \quad (715)$$

где V_{f0} – количество энергии, полученной в прибавке продукции от удобрений, МДж/га;

A_0 – энергетические затраты на применение удобрений, МДж.

Результаты расчёта энергетической эффективности применения вносимых микроудобрений под лекарственные культуры на наиболее эффективных по урожайности вариантах опыта представлены в таблице 117.

Таблица 117 – 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 ($V_{\text{Ю}}$, МДж/га)	Энергетические затраты на применение удобрений (A_0), МДж/га	Биоэнергетический КПД (η)
<i>Тысячелистник обыкновенный</i>				
$N_{135}P_{45}K_{45}$ (Фон)	0,7	13167,0	15707,1	0,84
Фон + Zn_{60}	12,0	227487,3	18366,5	12,4
Фон + $Cu_{9,7}$	16,2	306909,3	18331,4	16,7
<i>Пижма обыкновенная</i>				
$N_{135}P_{45}K_{45}$ (Фон)	1,8	34794,4	15890,6	2,2
Фон + Zn_{60}	24,3	459134,8	20338,7	22,6
Фон + $Cu_{7,2}$	15,6	294050,5	18197,2	16,2
<i>Эхинацея пурпурная</i>				
N_{125} (Фон)	2,1	39711,0	12709,8	3,1
Фон + $Zn_{21,4}$	5,1	96441,0	13490,5	7,2
Фон + $Cu_{9,4}$	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).

Проведенные расчеты показали, что применение микроудобрений в пределах оптимальных доз $Zn_{21,4}$, Zn_{60} (0,5-0,75 ПДК) и $Cu_{7,2}$, $Cu_{9,4}$, $Cu_{9,7}$ (0,75-1,0 ПДК) было энергетически эффективно, так как энергоотдача превышала единицу (таблица 117). Величины энергетического коэффициента η при внесении цинковых удобрений изменялись в широких пределах от 7,2 ($Zn_{21,4}$) в опыте с эхинацеей пурпурной до 22,6 (Zn_{60}) в опыте с пижмой обыкновенной. Медные

удобрения изменяли энергетический КПД в пределах 16,2 (пижма обыкновенная), 16,7 (тысячелистник обыкновенный) и 18,9 (эхинацея пурпурная).

При выращивании тысячелистника обыкновенного и эхинацеи пурпурной максимальный коэффициент энергоотдачи 16,7 и 18,9 единиц энергии (КПД) соответственно был получен при внесении медных удобрений. Внесение цинковых удобрений было также биоэнергетически эффективным ($\text{КПД} > 1$), но в сравнении с медными удобрениями коэффициент энергоотдачи был ниже и составил 12,4 (тысячелистник) и 7,2 (эхинацея).

Пижма обыкновенная оказалась более отзывчива на цинксодержащие удобрения (прибавка 24,3 т/га), поэтому применение Zn удобрений на фоне $\text{N}_{135}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ способствовало получению наивысшей биоэнергетической эффективности – биоКПД (η) составил 22,6 ед. в варианте Zn_{60} , а при внесении $\text{Cu}_{7,2}$ – 16,2 ед.

Таким образом, результаты многолетних исследований указывают на высокую агрономическую и биоэнергетическую эффективность применения оптимальных доз цинковых и медных микроудобрений под лекарственные растения на лугово-черноземной почве в условиях Омского Прииртышья.

Экономическая эффективность применения микроудобрений под лекарственные культуры. Помимо биоэнергетической оценки для того, чтобы рекомендовать выявленные нами дозы и способы их расчета к внедрению в производство, необходимо дать им экономическое обоснование. При определении фактической экономической эффективности применения удобрений под сельскохозяйственные культуры оценивают прибавку урожая по текущим ценам. Это позволяет выявить целесообразность вложений в полученную прибавку урожая от удобрений.

Экономическая эффективность определяется путем сравнения урожая, полученного с применением удобрений на основе таких показателей:

- 1) Прибавка урожая с 1 га:

$$Y_{y\partial} = \frac{Y_{\phi} \cdot D_{y\partial}}{100} \quad (716)$$

где Y_{ϕ} – фактический урожай, ц/га;

$D_{y\partial}$ – доля участия удобрений во всем урожае, определенная по среднесноголетним данным полевых опытов с удобрениями, %.

Долю урожайности за счет удобрений ($D_{y\partial}$) можно определить по формуле (705):

$$D_{y\partial} = \frac{P}{Y_c} \cdot 100 \quad (717)$$

где P – прибавка урожая от удобрений, ц/га;

Y_c – средний урожай в варианте с внесением удобрений, ц/га.

2) Чистый доход ($Ч_{\partial}$, руб.) от применения удобрений под лекарственные растения определяется по формуле (718):

$$Ч_{\partial} = (C + c) - A_0 \quad (718)$$

где C, c – стоимость основной и побочной продукции, полученной в результате применения удобрений, руб.;

A_0 – сумма затрат, связанных с применением удобрений для получения прибавки урожая, руб.

3) Рентабельность (P , %) применения минеральных удобрений определяется по формуле (719):

$$P = \frac{Ч_{\partial}}{A_0} \cdot 100 \quad (719)$$

где $Ч_{\partial}$ – чистый доход от применения удобрений, руб.;

A_0 – суммарные затраты, связанные с применением удобрений, руб.

По ценам, предложенным Российскими фармацевтическими заводами можно посчитать экономическую эффективность внесения цинковых и медных удобрений под многолетние лекарственные культуры. Стоимость 1 кг лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного (трава) равна 115 руб. (115000 руб. за 1 т), пижмы обыкновенной (цветки) – 220 руб. (220000 руб. за 1 т), эхинацеи пурпурной (трава) – 170 руб. (170000 за 1 т). Затраты на покупку семенного материала эхинацеи пурпурной составили – 3100 руб. Затраты, связанные с применением минеральных удобрений под тысячелистник и пижму обыкновенную, составили соответственно: аммиачная селитра – 8337 руб./га, простой суперфосфат – 4740 руб./га, хлористый калий – 1725 руб./га; для эхинацеи пурпурной затраты на аммиачную селитру были равны 7728 руб./га. Стоимость цинковых и медных удобрений для тысячелистника обыкновенного была равна соответственно 131000 и 32550 руб./га, для пижмы обыкновенной – 131000 и 26040 руб./га, для эхинацеи пурпурной – 47160 и 31465 руб./га.

Для расчета экономической эффективности применения микроудобрений (Zn и Cu) под лекарственные растения были выбраны наиболее эффективные варианты с наибольшей урожайностью (таблица 118).

Из представленных данных в таблице 118, видно, что 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.

Таблица 118 – Экономическая эффективность применения цинковых и медных удобрений под лекарственные культуры

Вариант опыта	Прибавка, т/га	Затраты, связанные с применением удобрений, руб./га	Цена реализации, руб./т	Стоимость прибавки урожая, руб./га	Чистый доход от применения удобрений, с 1 га	Доля урожайности, %	Рентабельность, %
<i>Тысячелистник обыкновенный</i>							
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	0,2	8337	115000	23000	14663	1,9	175,9
Фон + Zn ₆₀	3,0	139337	115000	345000	205663	24,2	147,6
Фон + Cu _{9,7}	4,1	40887	115000	411500	370613	30,2	906,4
<i>Пижма обыкновенная</i>							
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)	0,2	8337	220000	44000	35663	6,4	427,8
Фон + Zn ₆₀	2,6	139337	220000	572000	432663	42,2	310,5
Фон + Cu _{7,2}	1,5	33337	220000	330000	296663	30,2	889,9
<i>Эхинацея пурпурная</i>							
N ₁₂₅ (Фон)	0,7	7728	170000	119000	111272	8,5	1439,9
Фон + Zn _{21,4}	1,7	54888	170000	289000	234112	17,1	426,5
Фон + Cu _{9,4}	5,0	39193	170000	850000	810807	37,6	2068,8

Доля урожайности тысячелистника, пижмы обыкновенной и эхинацеи пурпурной за счет разового внесения ацетата цинка соответственно 24,2, 42,2 и 17,1 %, при применении меди – 30,2, 30,2 и 37,6 %.

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 – $Cu_{9,4}$. Установлено, что 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, биогеохимических 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 фенилкарбонновых 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 фенилкарбонновых 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 фенилкарбновых 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 $\text{Cu} \rightarrow \text{Zn}$ характеризовались большими коэффициентами интенсивности действия («*b*» = 1,26-1,35), чем между $\text{Zn} \rightarrow \text{Cu}$ («*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: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$; эхинацеи пурпурной – $\text{Zn} > \text{Cu}$.

На основе сравнения значений $K_{\text{H}_{\text{Zn}}}$ и $K_{\text{H}_{\text{Cu}}}$ лекарственные растения семейства сложноцветные (тысячелистник, пижма, эхинацея) в большей степени поглощали медь. По значению $K_{\text{H}_{\text{Cu}}}$ лекарственные растения располагаются в следующий ряд: тысячелистник обыкновенный (20,0-83,0) > пижма обыкновенная (23,2-49,0) > эхинацея пурпурная (6,6-16,2); $K_{\text{H}_{\text{Zn}}}$ – 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.

РЕКОМЕНДАЦИИ 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 ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	
Тысячелистник	Cu _{9,7}	11	122	161	2,0	0,17	P ₂ O ₅ ≈ 11 N-NO ₃ ≈ 0.8 K ₂ O ≈ 61 Zn ≈ 718 Cu
Пижма	Zn ₆₀	14	107	189	8,5	0,27	P ₂ O ₅ ≈ 8 N-NO ₃ ≈ 0.6 K ₂ O ≈ 13 Zn ≈ 396 Cu
Эхинацея	Cu _{9,4}	20	92	189	6,8	0,41	P ₂ O ≈ 5 N-NO ₃ ≈ 0,5 K ₂ 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 ₂ O ₅	K ₂ 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 _{9,4}	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, P₂O₅– 11,5, K₂O – 22,2, Zn – 0,026, Cu – 0,0084;

– пижма обыкновенная: N – 30,1, P₂O₅– 7,9, K₂O – 46,1, Zn – 0,040, Cu – 0,0077;

– эхинацея пурпурная: N – 27,6, P₂O₅– 4,6, K₂O – 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 _н	P _н	K _с	Fe	Mn	Zn	Cu	
	мг/%			мг/кг				
тысячелистник	132	21	395	217,5	64	26,3	6,8	N _н ≈ 6 P _н ≈ 0,33 K _с ; Zn ≈ 3,9 Cu ≈ 0,12 Fe ≈ 0,4 Mn
пижма	129	20	471	335	150,5	39,7	7,7	N _н ≈ 6 P _н ≈ 0,27 K _с ; Zn ≈ 5,2 Cu ≈ 0,12 Fe ≈ 0,3 Mn
эхинацея	118	15	273	-	-	17,1	4,3	N _н ≈ 8 P _н ≈ 0,44 K _с ; 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:

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

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

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

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

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

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ААБ – ацетатно-аммонийный буферный раствор

ААС – атомно-абсорбционная спектроскопия

БАВ – биологически активные вещества

БАД – биологически активные добавки

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

ГФ – государственная фармакопея

ИСПРОД – интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики

Кк_п – коэффициент концентрации в почве

Кк_р – коэффициент концентрации в растениях

Кн – коэффициент накопления

МДУ – максимально-допустимый уровень

ОФС – общая фармакопейная статья

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ПСЭ – предельное содержание элемента

ФС – фармакопейная статья

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н. В. Производительность агроэкосистем : метод. рекомендации по биоэнергет. оценке севооборотов / Н. В. Абрамов, Г. П. Селюкова. – Тюмень : ТГСХА, 2000. – 48 с.
2. Агеев, В.А. Содержание меди и молибдена в дерново-подзолистых почвах Омского Прииртышья и отзывчивость яровой пшеницы на микроэлементы : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / В. А. Агеев. – Омск, 1980. – 16 с.
3. Агроклиматические ресурсы Омской области. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 188 с.
4. Агрометеорологический бюллетень. – Омск: Гидрометеиздат, 2012. – 34 с.
5. Агрометеорологический бюллетень. – Омск: Гидрометеиздат, 2013. – 34 с.
6. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск : Гидрометеиздат, 2014. – 35 с.
7. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск : Гидрометеиздат, 2015. – 35 с.
8. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск : Гидрометеиздат, 2016. – 35 с.
9. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск : Гидрометеиздат, 2017. – 35 с.
10. Агрометеорологический бюллетень по Омской области. – Омск : Гидрометеиздат, 2018. – 35 с.
11. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А. В. Соколова. – М. : Наука, 1975. – 656 с.
12. Азаренко, Ю. А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири : монография / Ю. А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.

13. Азаренко, Ю. А. Микроэлементы (Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B) в системе «почва-растения» и оптимизация их применения в агроценозах Омского Прииртышья : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Азаренко Юлия Александровна. – Омск, 2020. – 424 с.
14. Азаренко, Ю. А. Содержание микроэлементов в растениях на почвах лесостепных и степных ландшафтов Омского Прииртышья / Ю. А. Азаренко // Вестник ОмГАУ. – 2016. – № 4(24) – С. 65–74.
15. Азаренко, Ю. А. Цинк в почвах агроценозов Омского Прииртышья и эффективность применения цинковых удобрений / Ю. А. Азаренко, Ю. И. Ермохин, Ю. В. Аксенова // Земледелие. – 2019. – №2. – С. 13-17.
16. Азаренко, Ю. А. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растениях лесостепной и степной зон Омской области / Ю.А. Азаренко, В.М. Красницкий, Ю.И. Ермохин // Плодородие. – 2010. – № 5(56). – С. 49-51.
17. Азаренко, Ю. А. Эколого-агрохимическая характеристика содержания микроэлементов в системе почва-растение в агроценозах Омского Прииртышья / Ю. А. Азаренко // Почвы и окружающая среда. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 52-66.
18. Акиров, К. Эффективность применения марганцевых и медных удобрений по сахарную свеклу на луговых почвах Чуйской долины Киргизской ССР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 533 / К. Акиров. – Фрунзе, 1969. – 26 с.
19. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почве и растениях. – Л. : Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. – 142 с.
20. Аминева, А. А. Особенности аккумуляции и транспорта железа в почвах и в органах *Achillea nobilis* L. в условиях степной зоны Южного Урала / А. А. Аминева, Г. Г. Бускунова // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 532-533.
21. Анализ почв, растений и проблема применения удобрений в Западной Сибири: монография / Ю. И. Ермохин [и др.]; Под общей редакцией Ю. И. Ермохина, И. А. Бобренко. – Омск : Изд-во ОмГАУ, 2002. – 407 с.

22. Андриенко, Л. Н. Диагностика потребности корнеплодов в цинке, никеле, кадмии на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья : дис. ... канд. с.-х. наук : 06. 01. 04. / Андриенко Лидия Николаевна. – Омск, 2006. – 182 с.
23. Анищенко, Л. В. Интродукция эхинацеи пурпурной [*Echinacea purpurea* (L.)] Moench в ботаническом саду ЮФУ / Л. В. Анищенко, Ж. Н. Шишлова // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация, 2009. – № 2. – С. 89-94.
24. Анспок, П. И. Микроудобрения. – М. : Агропромиздат, 1990. – 272 с.
25. Аристархов, А. Н. Агроэкономическая эффективность применения цинковых удобрений под яровую пшеницу на различных типах почв / А. Н. Аристархов, А. В. Волков, Т. А. Яковлева // Плодородие. – 2016а. – № 2(89). – С. 8-10.
26. Аристархов, А. Н. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность различных способов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу / А. Н. Аристархов, В. А. Прошкин, Т. А. Яковлева, А. В. Волков // Плодородие. – 2014. – № 3. – С. 14-18.
27. Аристархов, А. Н. Влияние агрохимических свойств различных типов почв на эффективность применения цинковых удобрений под кукурузу на зеленую массу / А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 30-35.
28. Аристархов, А. Н. Модели определения потребности земледелия в микроудобрениях // Плодородие. – 2011. – № 3. – С. 47–50.
29. Аристархов, А. Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. – М. : МГУ, ЦИНАО, 2000а. – 524 с.
30. Аристархов, А. Н. Нормирование рационального и экологически безопасного применения микроудобрений в различных почвенно-климатических зонах России / А. Н. Аристархов // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем

воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. – Москва : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2013. – С. 229-244.

31. Аристархов, А. Н. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России / А. Н. Аристархов, Н. Н. Бушуев, К. Г. Сафонова // Агрохимия. – 2012. – № 9. – С. 26–40.

32. Аристархов, А. Н. Состояние и динамика содержания подвижных форм микроэлементов в почвах России / А. Н. Аристархов // Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования : Материалы докладов VI Съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 года. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 274-275.

33. Аристархов, А. Н. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов / А. Н. Аристархов, М. И. Лунев, А. В. Павлихина // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016б. – № 6. – С. 40-45.

34. Аристархов, А. Н. Эколого-агрохимическое обоснование оптимизации питания растений и комплексного применения макро- и микроудобрений в агроэкосистемах : дис. ... д-ра. биол. наук в форме науч. док. : 06. 01. 04. / Аристархов Алексей Николаевич. – М., 2000б. – 88 с.

35. Афендулов, К. П. Удобрения под планируемый урожай / К. П. Афендулов, А. И. Лантухова. – М. : Колос, 1973. – 240 с.

36. Афтанас, Л. И. Элементный статус населения России. Часть 1: Общие вопросы и современные методические подходы к оценке элементного статуса индивидуума и популяции / Л. И. Афтанас [и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2010. – 416 с.

37. Афтанас, Л. И. Элементный статус населения России. Часть 2: Элементный статус населения Центрального федерального округа / Л. И. Афтанас

[и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2011. – 432 с.

38. Афтанас, Л. И. Элементный статус населения России. Часть 3: Элементный статус населения Северо-Западного, Южного и Северо-203 Кавказского федеральных округов / Л. И. Афтанас [и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2012. – 576 с.

39. Афтанас, Л. И. Элементный статус населения России. Часть 4: Элементный статус населения Приволжского и Уральского федеральных округов / Л. И. Афтанас [и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2013. – 576 с.

40. Ахметьянов, Р. Т. Тысячелистник обыкновенный (*Achillea Millefolium* L.) в качестве основы для продуктов функционального назначения / Р. Т. Ахметьянов, Л. А. Хасанова, З. М. Хасанова // Вестник БГПУ им. М. Акмуллы. – 2019. – № 1(49). – С. 6-12.

41. Аштаб, И. В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности // Агрохимия. – 1994. – № 11. – С. 114-128.

42. Аштаб, И. В. Влияние свойств чернозема обыкновенного (Предкавказского) карбонатного на обеспеченность растений цинком : дис. ... канд. с.-х. наук : 03.00.27 / Аштаб Ирина Викторовна. – Москва, 1994. – 192 с.

43. Бабаева, Е. Ю. Качество посевного материала и лекарственного растительного сырья эхинацеи пурпурной в зависимости от внесения микроэлементов / Е. Ю. Бабаева, В. Б. Загуменников, Н. А. Заманова, В. А. Стихин // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 151-156.

44. Бабаева, Е. Ю. Особенности минерального питания эхинацеи пурпурной в условиях Нечерноземной зоны РФ : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Бабаева Елена Юрьевна. – Москва, 2000. – 22 с.

45. Баширова, Р. М. Эхинацея пурпурная (Биология, фармакология и вопросы интродукции в республике Башкортостан) / Р. М. Баширова, Г. Г.

Шайдуллина, Т. И. Никитина [и др.]. – Уфа : РИЦ Башкирского государственного университета, 2000. – 44 с.

46. Башкин, В. Н. Агрогеохимия азота. – Пущено : ОНТИ ИННЦБИ АН СССР, 1987. – 270 с.

47. Бельмер, С. В. Микроэлементы и микроэлементозы и их значение в детском возрасте / С. В. Бельмер, Т. В. Гасилина // Вопросы современной педиатрии. – 2008. – Т. 7. – № 6. – С. 91-96.

48. Биогеохимические основы экологического нормирования / В. Н. Башкин, Е. С. Евстафьева, В. В. Снакин и др. – М.: Наука, 1993. – 304 с.

49. Бобренко, И. А. Оптимизация минерального питания кормовых, овощных культур и картофеля на черноземах Западной Сибири : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06. 01. 04. / Бобренко Игорь Александрович. – Омск, 2004. – 446 с.

50. Бобренко, И. А. Эффективность опудривания семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И. А. Бобренко, Е. А. Вакалова, Н. В. Гоман // Омский научный вестник. – 2013. – № 1(118). – С.170-173.

51. Бобренко, И. А. Эффективность разных приемов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу в условиях Западной Сибири / И. А. Бобренко, Н. В. Гоман, Н. В. Шувалова // Омский научный вестник. – 2012. – № 1(104). – С. 142-145.

52. Бобрик, Т. В. Некоторые биологически активные веществ и микроэлементы в лекарственных растениях Белорусского Полесья / Т. В. Бобрик // Вестник МДПУ. – 2006. – №2(15). – С. 42-48.

53. Болдырев, Н. К. Зависимость между химическим составом листьев, урожаем и качеством зерна яровой пшеницы в связи с применением удобрений. / Н. К. Болдырев // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 126. – № 4. – С. 886-890.

54. Болдырев, Н. К. Комплексный метод листовой диагностики условий питания, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур : автореф.

дис. ... доктора с.-х. наук : 06.01.04 / Болдырев Николай Константинович. – М., 1972. – 48 с.

55. Болдышева, Е. П. Диагностика и оптимизация микроэлементного питания озимой ржи на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Болдышева Елена Павловна. – Омск, 2018. – 167 с.

56. Бородий, С. А. Возрастные изменения морфометрических параметров и урожайности пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в культурных плантациях / С. А. Бородий, П. С. Бородий // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. – Кострома : Изд-во Костромская государственная сельскохозяйственная академия (Караваево), 2018а. – С. 5-12.

57. Бородий, С. А. Влияние сроков и способов закладки культурных плантаций на урожайность соцветий пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в Костромской области / С. А. Бородий, П. С. Бородий // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2018б. – № 3 (24). – С. 5-11.

58. Бускунова, Г. Г. Содержание меди и цинка в системе «Почва растение» в условиях геохимической провинции Южного Урала (на примере *Achillea nobilis* L.) / Г. Г. Бускунова, А. А. Аминева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 11. – С. 31-35.

59. Бурик, Д. Лечебные свойства эхинацеи / Д. Бурик, Х. Квик, А. Вилсон // Провизор. – 1998. – № 3. – С. 84-89.

60. Булдыкова, И. А. Микроэлементы на посевах подсолнечника / И. А. Булдыкова, А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 563-577.

61. Булдыкова, И. А. Применение кобальтового и медного микроудобрений на посевах люцерны в условиях чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / И. А. Булдыкова, А. Ю. Проказина // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : Сборник научных трудов

по материалам Международной научной экологической конференции, Краснодар, 24–26 марта 2020 года / Составитель Л. С. Новопольцева. Под редакцией И.С. Белюченко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 581-584.

62. Васюк, Л. Ф. Азотфиксирующие микроорганизмы на корнях небобовых растений и их практическое использование / Л. Ф. Васюк // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – М. : Наука, 1989. – С. 88-98.

63. Верещагин, В. И. Полезные растения Западной Сибири / В. И. Верещагин, К. А. Соболевская, А. И. Якубова. – М.-Л., 1959. – 347 с.

64. Власюк, П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П. А. Власюк. – Киев : Наукова думка, 1969. – 516 с.

65. Войнар, А. О. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. – М. : Советская наука, 1963. – 292 с.

66. Волков, А. В. Эффективность применения различных способов, форм и доз цинковых удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Волков Алексей Владимирович. – М., 2015. – 122 с.

67. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1 : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. – 107 с.

68. Воскресенская, О. Л. Влияние избытка цинка в среде роста на свойства клеточных мембран растений овса / О. Л. Воскресенская, А. В. Аксенова, Н. В. Гужова // Биологические науки. – М., 1991. – С. 80-86.

69. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (утвержденные ГУВ Госагропрома СССР 07.08.87 N 123-4/281-7 и согласованные с зам. Главного государственного санитарного врача СССР 19.08.87).

70. Второва, В. Н. Мультиэлементный анализ растений лесных экосистем Восточной Европы / В. Н. Второва, Б. Маркет // Изв. РАН. – Сер. биол., 1995. – № 4. – С. 447-454.
71. Второва, В. Н. Обоснование методов и объектов мониторинга по химизму растений / В. Н. Второва, В. С. Скулкин // Экология. – 1992. – № 4. – С. 28-37.
72. Гамзиков, Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. – М. : Наука, 1981. – 267 с.
73. Гамзиков, Г. П. Баланс и превращение азота удобрений / Г. П. Гамзиков, Г. И. Кострик, В. Н. Емельянова. – Новосибирск : Наука, 1985. – 161 с.
74. Гамзиков, Г. П. Содержание микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co) в почвах Омской области и отзывчивость бобовых культур на микроудобрения: дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Гамзиков Геннадий Павлович. – Омск, 1967. – 213 с.
75. Глушко, М. П. Фармакологическое изучение травы тысячелистника широколопастного: автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук : 15.00.02 / Глушко Маргарита Петровна. – Пятигорск, 2007. – 23 с.
76. Гущина, В. А. Применение ЭМ – технологии при выращивании эхинацеи пурпурной / В. А. Гущина // Агротехнологические основы технологий возделывания сельскохозяйственных культур / Пензенский государственный аграрный университет; Под общей редакцией: С.В. Богомазова, А.А. Галиуллина. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 32-45.
77. ГОСТ 13496.17-2019. Корма. Методы определения каротина. – М. : Стандартинформ. – 2019. – 12 с.
78. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. – М., 1999. – 10 с.
79. ГОСТ 26204-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР. – 1991. – 8 с.

80. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартинформ. – 2004. – 8 с.
81. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М. : Стандартинформ. – 2010. – 10 с.
82. ГОСТ 31640-2012. Корма методы определения содержания сухого вещества. – М. : Стандартинформ. – 2012. – 11 с.
83. ГОСТ 34221-2017. Семена лекарственных и ароматических культур. Сортные и посевные качества. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2017. – 27 с.
84. ГОСТ Р 50683-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. – М. : Издательство стандартов. – 1994. – 19 с.
85. ГОСТ Р 50686-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. – М. : Издательство стандартов. – 1994. – 16 с.
86. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. Том I. [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
87. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. Том II. [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
88. Государственная фармакопея РФ. XIV изд. Том IV. [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.
89. Государственная Фармакопея Республики Беларусь. – Т. 2. – Минск, 2007. – 471 с.
90. Государственная Фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / МЗ СССР. – 11-е изд., доп. – М.: Медицина, 1991. – 400 с.

91. Горбань, А. Т. Лекарственные растения: вековой опыт изучения и возделывания / А. Т. Горбань, С. С. Горлачова, В. П. Кривуненко. – Полтава: «Верстка». – 2004. – 230 с.
92. Губанов, И. А. Лекарственные растения : справочник / И. А. Губанов. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 272 с.
93. Гусев, Н. Ф. Содержание тяжёлых металлов в сырье тысячелистника обыкновенного в зоне влияния Гайского горно-обогатительного комбината / Н. Ф. Гусев, А. В. Филиппова, В. В. Трубников, О. Н. Немерешина // Известия ОГАУ. – 2015. – № 6 (56). – С. 218-220.
94. Даербаяев, А. А. Микроэлементы марганец, медь и молибден в солонцовых почвах Омской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.532 / А. А. Даербаяев – Иркутск, 1970. – 26 с.
95. Диброва, В. С. Цинк почвы и применение цинковых удобрений под кукурузу : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Диброва В. С. – Персиановка, 1966. – 30 с.
96. Добролюбовский, О. К. Микроэлементы и жизнь. – М.: Изд-во «Молодая гвардия», 1956. – 125 с.
97. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
98. Дьякова, Н. А. Накопление флавоноидов травой тысячелистника обыкновенного, собранного в различных урбо- и агробиоценозах Воронежской области / Н. А. Дьякова, С. П. Гапонов, А. И. Сливкин [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2020. – № 4. – С. 71-76.
99. Дьякова, Н. А. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье тысячелистника обыкновенного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области / Н. А. Дьякова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2020а. – Т. 28. – № 3. – С. 213-224.

100. Дьякова, Н. А. Экологическая оценка лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере цветков пижмы обыкновенной / Н. А. Дьякова // Вестник НВГУ. – 2020б. – №1. – С. 19-26.

101. Дьяченко, Р. А. Взаимосвязь микроэлементов меди, марганца и цинка с витамином С в организме животных: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Р. А. Дьяченко. – Киев, 1964. – 18 с.

102. Ельчининова, О. А. Влияние глубины заделки семян и способов эксплуатации плантации на урожайность лекарственного сырья и семенную продуктивность эхинацеи пурпурной в низкогорьях Алтая / О. А. Ельчининова, О. С. Кудрявцева, Д. Б. Стонт // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 8 (34). – 2007. – С. 5-8.

103. Емцев, В. Т. Почвенная биотехнология: микробиологические факторы продуктивности сельскохозяйственных растений / В. Т. Емцев, Л. К. Ницэ // Микроорганизмы, их роль в плодородии почвы и охрана окружающей среды. – М., 1985. – С. 3-15.

104. Ермаков, В. В. Современные тенденции развития биогеохимии в условиях техногенеза биосферы / В. В. Ермаков // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы II Междунар. школы-семинара для молодых исследователей, посвящ. памяти профессора В. Б. Ильина (Тюмень, 16–20 мая 2016 года). – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2016. – С. 9-27.

105. Ермохин, Ю. И. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля и цинка в системе почва-растение-животное : монография / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева, Н. К. Трубина. – Омск : ОмГАУ, 2002а. – 117 с.

106. Ермохин, Ю. И. Введение йода в систему: почва-растение-идентификация ответной реакции растений по изменению содержания макро- и микроэлементов / Ю. И. Ермохин, В. М. Красницкий // Современные достижения в экологии, почвоведении и земледелии : материалы Междунар. науч.-практ.

конф. (Кокшетау, 20 декабря 2019 г.). – Кокшетау : Мир печати. – 2019. – С. 544-554.

107. Ермохин Ю. И. Величина накопления доступного азота почвы в динамике под растением пижмы обыкновенной и ее практическое использование / Ю. И. Ермохин, А. С. Тяпинова, О. Д. Шойкин // Агрохимическое и экологическое состояние почв и растений Западной Сибири : сб. науч. тр. / Федер. гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Ом. гос. аграр. ун-т». – Омск, 2008. – С. 186-191.

108. Ермохин, Ю. И. Взаимосвязи в питании растений : монография / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева. – Омск : Вариант-Омск, 2011. – 206 с.

109. Ермохин, Ю. И. Влияние кадмия, никеля, цинка на продуктивность и качество корнеплодов столовой свеклы и моркови / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева, Н. К. Трубина // Природа, природопользование и природообустройство Омского Прииртышья : Материалы III обл. науч.-практ. конф. – Омск, 2001. – С. 257-258.

110. Ермохин, Ю. И. Действие никеля, кадмия и цинка в системе «почва-растение-животное» / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева, Н. К. Трубина // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде : Доклады II Междунар. науч.-практ. конф. (16-18 октября 2002 г.). – Семипалатинск, 2002б. – Т. 2. – С. 513-514.

111. Ермохин, Ю. И. ИСПРОД-ОмГАУ: Интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики как комплексный аналитический метод триединства развития агрохимии в настоящем и будущем : к 100-летию Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина и к 50-летию научно-педагогической школы кафедры агрохимии и почвоведения : монография : в 2-х томах. Т. 1. – Омск : Изд-во Омский ГАУ, 2020. – 314 с.

112. Ермохин, Ю. И. Листовая диагностика условий питания и химического состава клубней раннего картофеля : дис. ... канд. с.-х. наук : 06. 01. 04. / Ермохин Юрий Иванович. – Омск, 1968. – 320 с.

113. Ермохин, Ю. И. Метод «ИСПРОД» оптимальных уровней содержания и ионного равновесия в почве и растениях. Агроарию быть : монография : в 2-х томах. Т. 2. – Омск : Изд-во ИП Макшеевой А.А., 2021. – 420 с.

114. Ермохин Ю. И. Научная школа Сибирского агрохимика в развитии отечественного и зарубежного опыта диагностики азотного питания растений и применения азотных удобрений / Ю. И. Ермохин. – Омск : Вариант-Омск, 2008. – 36 с.

115. Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур : монография / Ю. И. Ермохин. – Омск : ОмГАУ, 1995. – 208 с.

116. Ермохин, Ю. И. Применение удобрений под программируемый урожай сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири / Ю. И. Ермохин, А. Е. Кочергин. – Омск. : Изд-во ОмСХИ, 1983. – 60 с.

117. Ермохин, Ю. И. Прогноз содержания крахмала в клубнях картофеля / Ю. И. Ермохин // Науч. Труды ОмСХИ. – Омск : ОмСХИ, 1971. – Т. 91. – С. 76-81.

118. Ермохин, Ю. И. Оптимизация минерального питания и качества урожая картофеля и овощных культур : дис. ... д-ра с.-х.- наук : 06. 01. 04. / Ермохин Юрий Иванович. – Омск, 1983. – 437 с.

119. Ермохин, Ю. И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД») : монография / Ю. И. Ермохин, И. А. Бобренко. – Омск : Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 284 с.

120. Ермохин, Ю. И. Оптимизация питания и эффективность применения цинковых удобрений под кукурузу на зерно в условиях лесостепи Омской области

/ Ю. И. Ермохин, М. А. Складорова // Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2007. – Вып. IV(9). – С. 39-45.

121. Ермохин, Ю. И. Отечественный и зарубежный опыт диагностики азотного питания растений и применение азотных удобрений : учеб. пособие / Ю. И. Ермохин. – Омск : ОмГАУ, 1999. – 80 с.

122. Ермохин, Ю. И. Химическая диагностика потребности картофеля и овощных культур в удобрениях. – Омск : ОмСХИ, 1975. – 63 с.

123. Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений : монография / Ю. И. Ермохин. – Омск : Литера, 2014а. – Т. 1: Плодородие почв и эффективность удобрений. – 304 с.

124. Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений : монография / Ю. И. Ермохин. – Омск : Литера, 2014б. – Т. 2: Моделирование и оптимизация режима минерального питания и качества зерновых и овощных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. – 340 с.

125. Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений : монография / Ю. И. Ермохин. – Омск : Литера, 2014в. – Т. 3: Диагностика микроэлементного состояния почв и обеспеченности культурных растений в агроценозе. – 336 с.

126. Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014г. – Т. 4: Моделирование и оптимизация режима минерального питания кормовых и лекарственных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана: в 2 ч. – 210 с.

127. Ермохин, Ю. И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений : метод. рекомендации / Ю. И. Ермохин, А. Ф. Неклюдов. – Омск : ОмСХИ, 1994. – 44 с.

128. 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.

129. 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. – 2020а. – № 1. – С. 77-84.

130. 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. – 2020б. – №2. – С. 87-90.

131. Жаркова, Н. Н. Влияние применения эссенциального микроэлемента (меди) на содержание некоторых биологически активных веществ и отдельных химических элементов в лекарственном сырье *Echinacea purpurea* L. / Н. Н. Жаркова, В.В. Сухоцкая, Ю.И. Ермохин // Сельскохозяйственная биология. – 2020в. – № 3. – С. 588-597.

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

133. 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.

134. Жуков, Н. А. Лекарственные растения Омской области и их применение в медицине / Н. А. Жуков Н.А., Л. И. Брюханова. – Омск : Омское книжное издательство, 1983. – 128 с.

135. Журба, О. В. Лекарственные, ядовитые и вредные растения / О. В. Журба, М. Я. Дмитриев. – М.: КолосС, 2008. – 512 с.
136. Журбицкий, З. И. Потребность растений в питании как основа применения удобрений / З. И. Журбицкий. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – 60 с.
137. Журбицкий, З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З. И. Журбицкий. – М., 1963. – 294 с.
138. Жученко, А. А. Энергетический анализ в сельском хозяйстве : методолог. и метод. рекомендации / А. А. Жученко, В. Н. Афанасьев. – Кишинев : Штиинца, 1988. – 128 с.
139. Заболоцкая, Т. Г. Биологический круговорот элементов в агроценозах и их продуктивность / Т. Г. Заболоцкая. – Л., 1985. – 179 с.
140. Завражнов, В. И. Лекарственные растения : лечебное и профилактическое. использование / В. И. Завражнов, Р. И. Китаев, К. Ф. Хмелев. – Воронеж : Воронеж. СХИ, 1993. – 101 с.
141. Загуменников, В. Б. Возделывание лекарственных растений в условиях Западной Сибири и Центрального Казахстана / В. Б. Загуменников, С. Е. Дмитрук, Т. Н. Загуменникова [и др.] ; Сибирский государственный медицинский университет, Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Институт фитохимии МОН республики Казахстан. – Томск : ЗАО "Издательство научно-технической литературы", 2001. – 196 с.
142. Загуменников, В. Б. Изучение золы общей и влажности в траве эхинацеи пурпурной свежей / В. Б. Загуменников, Е. Ю. Бабаева, А. Л. Петрова, И. П. Малахова // Химико-фармацевтический журнал. – 2012. – Т. 46. – № 10. – С. 26-28.
143. Загуменников, В. Б. Изучение накопления аскорбиновой кислоты в траве эхинацеи пурпурной свежей и в продуктах ее переработки / В. Б. Загуменников, Е. Ю. Бабаева, А. В. Молчанова, А. Л. Петрова // Химико-фармацевтический журнал. – 2014а. – Т. 48. – № 10. – С. 39-42.

144. Загуменников, В. Б. Изучение накопления аскорбиновой кислоты в траве эхинацеи пурпурной свежей и её соке при внесении макро- и микроудобрений / В. Б. Загуменников, А. В. Молчанова, Е. Ю. Бабаева, А. Л. Петрова // Химия растительного сырья. – 2014б. – № 3. – С. 209-214.

145. Загуменников, В. Б. К вопросу накопления нитратов в траве эхинацеи пурпурной свежей и ее соке при использовании макро- и микроэлементов / В. Б. Загуменников, А. В. Молчанова, Е. Ю. Бабаева, А. Л. Петрова // Химия растительного сырья. – 2014в. – № 1. – С. 235-241.

146. Загуменников, В. Б. Особенности культивирования лекарственных растений в Нечерноземной зоне РФ : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.13 / Загуменников Валерий Борисович. – Москва, 2002. – 54 с.

147. Запрометов, М. Н. Основы биохимии фенольных соединений / М. Н. Запрометов. – М. : Высшая школа, 1974. – 213 с.

148. Иванов В. К. Климат Омска / В. К. Иванов, С. В. Иванова, Т. М. Корзухина // Результаты 40-летних наблюдений метеорологической станции Омского сельскохозяйственного института. – Омск. – 1971. – 40 с.

149. Ильин В. Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов Mn, Cu, Mo, V в южной части Западной Сибири. – Новосибирск : Наука, 1973. – 302 с.

150. Ильин, В. Б. Защитные возможности системы почва - растения при загрязнении почв ТМ / В. Б. Ильин, М. Д. Степанова // ТМ в окружающей среде. – М.: Из-во МГУ, 1986. – С. 80-85.

151. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

152. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.

153. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 220 с.

154. Ильин, В. Б. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В. Б. Ильин, А. И. Сысо, Н. Л. Байдина, Г. А. Конарбаева, А. С. Черевко // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 550-556.
155. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
156. Калентьева, Н. В. Формы соединений цинка в светло-каштановой почве при моно- и полиэлементном видах загрязнения / Н. В. Калентьева, М. С. Панин // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 5. – С. 753-763.
157. Каталымов, М. В. Микроэлементы и микроудобрения. – М.-Л. : Химия, 1965. – 330 с.
158. Кидин, В. В. Агрохимия : учебник / В. В. Кидин, С. П. Торшин. – М. : Проспект, 2018. – 608 с.
159. Киселева, Т. Л. Лекарственные растения в мировой медицинской практике: государственное регулирование номенклатуры и качества / Т. Л. Киселева, Ю. А. Смирнова. – М.: Издательство Профессиональной ассоциации натуротерапевтов, 2009. – 295 с.
160. Кишев, А. Ю. Эффективность микроэлементов в земледелии / А. Ю. Кишев, А. А. Жерукова // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства юга России : Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Майкоп, 27–28 сентября 2018 года. – Майкоп : Типография «Качество», 2018. – С. 99-104.
161. Ковалевский, А. Л. Биогеохимия растений. – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.
162. Ковалевский, А. Я. Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Я. Ковалевский // Биохимия растений Тр. Бурятского института естественных наук. – Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. – С. 6-28.
163. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – М. : Наука, 1974. – 297 с.

164. Ковда, В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. – М. : Наука, 1975. – 73 с.
165. Ковда, В. А. Биогеохимия почвенного покрова. – М. : Наука, 1985. – 263 с.
166. Кожевина, М. Н. Диагностика минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожайности полыни гладкой (*Artemisia glabella Kar. et Kir.*) на темно-каштановой почве Центрального Казахстана : дис. ... канд. с.-х. наук : 06. 01. 04. / Кожевина Марина Николаевна. – Омск, 2007. – 175 с.
167. Козко, А. А. Перспективы и проблемы возрождения лекарственного растениеводства в России / А. А. Козко, А. Н. Цицилин // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2018. – № 146. – С. 18-25.
168. Комплексное использование недревесной продукции леса в народном хозяйстве и медицине / под ред. О. М. Шапкина. – М. : МГУЛ, 2002. – 343 с.
169. Кореньков, Д. А. Агрохимия азотных удобрений / Д. А. Кореньков. – М. : Наука, 1976. – 208 с.
170. Кореньков, Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д. А. Кореньков. – М. : Россельхозиздат, 1985. – 221 с.
171. Коровин А. И. Растения и экстремальные температуры / А. И. Коровин. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 272 с.
172. Костылев, Л. А. Качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной в условиях Республики Башкортостан / Л. А. Костылев, Н. А. Заманова, З. М. Хасанова // Достижения науки и техники АПК. – № 9. – 2009. – С. 39-41.
173. Костылев, Д. А. Нормы внесения удобрений при выращивании эхинацеи пурпурной / Д. А. Костылев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3(31). – С. 7-9.
174. Кочергин, А. Е. Дозы удобрений на планируемую урожайность / А. Е. Кочергин, А. Х. Кольцов // Урал. нивы. – 1981. – № 10. – С. 24-26.
175. Кочергин, А. Е. О методах определения потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях / А. Е. Кочергин // Вопросы

оптимизации почвенных условий для растений : науч.-техн. бюл. / Сиб. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Новосибирск, 1979. – Т. 29. – С. 71-79.

176. Кочукова, А. А. Биологическая характеристика пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) на территории Оренбургского Предуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / Кочукова Анна Александровна. – Оренбург, 2014. – 22 с.

177. Кочукова, А. А. Зависимость основных показателей качества лекарственного растительного сырья «Цветки пижмы» (*Flores Tanacetii*) от биометрических параметров растения (*Tanacetum vulgare* L.), произрастающего на территории Оренбургской области / А. А. Кочукова, З. Н. Рябинина, А. Н. Саньков // Вестник ОГУ. – 2014. – № 1(162). – С. 108-111.

178. Кочукова, А. А. Основные показатели качества лекарственного растительного сырья цветков пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), произрастающего на территории Оренбургской области / А. А. Кочукова, З. Н. Рябинина, А. Н. Саньков // Альманах молодой науки. – 2013. – № 4. – С. 21-23.

179. Красницкий, В. М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири : монография / В.М. Красницкий. – Омск : ОмГАУ, 2002а. – 144 с.

180. Красницкий, В. М. Содержание цинка в почвах Омской области / В. М. Красницкий, А. Г. Шмидт, А. А. Цырк // Плодородие. – 2014. – № 4 (79). – С. 36-37.

181. Красницкий, В. М. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Западной Сибири : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Красницкий Владимир Михайлович. – Омск, 2002б. – 52 с.

182. Краснов, Е. А. Исследование содержания доминирующих групп БАВ и биоэлементов в некоторых растениях семейства Rosaceae / Е. А. Краснов, Е. Е. Савельева, Н.К. Рыжакова, Я. Е. Решетов, А. Р. Гатауллина // Химия растительного сырья. – 2017. – № 4. – С. 145–151.

183. Крылов, Г. В. Травы жизни и их искатели. – Новосибирск : Западно-Сибирское книжное издательство, 1969. – 264 с.
184. Кудеяров, В. Н. Изучение действия азотного удобрения на растения и почву. Сообщение 2 / В. Н. Кудеяров, В. Н. Башкин. – Агрохимия, 1976. – № 11. – С. 3-9.
185. Кукушкин, В. К. Поведение цинка в системе почва – растение при повышенном содержании фосфора и меди в почве : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03 / Кукушкин Владимир Константинович. – М., 1988. – 22 с.
186. Куркин, В. А. Основы фитотерапии : Учебное пособие для студентов фармацевтических вузов. – Самара: ООО «Офорт», ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава», 2009. – 963 с.
187. Куркин, В. А. Фармакогнозия : Учебник для студентов фармацевтических вузов / В. А. Куркин. – Самара: ООО «Офорт», ГОУ ВПО «СамГМУ», 2004. – 1180 с.
188. Куцик, Р. В. Тысячелистник обыкновенный. *Achillea millefolium* L. (Аналитический обзор) / Р. В. Куцик, Б. М. Зузук // Провизор. – Электрон. журн. – 2002. – № 14. – Режим доступа к журн.: <http://www.provisor.com.ua/archive.php>
189. Кшникаткина, А. Н. Эхинацея пурпурная и ее использование в свиноводстве / А. Н. Кшникаткина // Кормопроизводство. – 2007. – № 2. – С. 28
190. Кшникаткина, А. Н. Продуктивность эхинацеи пурпурной (*Echinacae purpurea*) в зависимости от регуляторов роста / А. Н. Кшникаткина, В. А. Гущина // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: междунар. симпозиум. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – Т. 2. – С. 314–316.
191. Ладонин, Д. В. Особенности специфической сорбции меди и цинка некоторыми почвенными минералами / Д. В. Ладонин // Почвоведение. – 1997. – № 12. – С. 1478-1486.
192. Ладыгин, В. Г. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова //

Молекулярная биология, Цитология, Ботаника. – Т. 67. – № 3. – 2006. – С. 163–189.

193. Ладынина Е. А. Лекарственные растения в медицине и в быту / Е. А. Ладынина, Р. С. Морозова. – Ставрополь : кН. изд-во, 1989. – 352 с.

194. Ламбин, А. З. Влияние меди, цинка и стронция на рост, урожай и составяровой пшеницы / А. З. Ламбин // Тр. ОмСХИ. – Т. 21. – Омск, 1949. – С. 39-89.

195. Ламбин, А. З. Действие микроэлементов, внесенных разными способами, на урожай яровой пшеницы, проса, суданской травы и кукурузы / А. З. Ламбин // Тр. ОмСХИ. – Т.37. –Омск, 1959. – С. 31-39.

196. Лебединцев, А. Н. Процесс нитрификации как фактор усиления зольного питания растений. Избранные труды. – М., 1960. – С. 157-174.

197. Левен, Ф. И. Биологический круговорот азота и зольных элементов на посевах зерновых культур на дерново-подзолистых почвах / Ф. И. Левен // Агрохимия. – 1965. – №8. – С. 56-64.

198. Лекарственные растения и их применение. – Минск : Изд-во «Наука и техника», 1976. – 592 с.

199. Лекарственные растения в научной и народной медицине. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1978. – 359 с.

200. Лекарственные растения Сибири / В. Г. Минаева. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 431 с.

201. Лихоманова, Л. М. Нитраты в корнеплодах / Л. М. Лихоманова // Почвы Западной Сибири и их удобрение: Сб. науч. тр. ОмСХИ. – Омск, 1991. – С. 76-80.

202. Лукнер, М. Вторичный метаболизм у микроорганизмов, растений и животных / М. Лукнер. – М. : Мир, 1979. – 548 с.

203. Лунев, М. И. Современное состояние плодородия почв страны по содержанию подвижных форм микроэлементов / М. И. Лунев, А. Н. Аристархов, А. В. Павлихина // Состояние и пути повышения эффективности исследований в

системе географической сети опытов с удобрениями : Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями, Москва, 26–27 июня 2012 года / Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; Ответственный редактор В.Г. Сычев. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2012. – С. 91-93.

204. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М. : Моск. рабочий, 1972. – 271 с.

205. Макарова, В. Г. Влияние микроэлементов на накопление некоторых БАВ в плодах ирги обыкновенной / В.Г. Макарова, Е.А. Лаксаева, Е.Г. Мартынов // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2006. – № 3. – С. 29–35.

206. Маланкина, Е. Л. Агробιοлогическое обоснование повышения продуктивности эфиромасличных растений из семейства Яснотковые (Lamiaceae) в Нечерноземной зоне России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.13 / Маланкина Елена Львовна. – Москва, 2007. – 40 с.

207. Мамчур, Ф. И. Химический состав и фармакологические свойства растений рода *Echinacea Moench* / Ф. И. Мамчур, Б. М. Зузук, А. А. Василишин // Фармакологический журнал. – 1993. – № 2. – С. 38-41.

208. Манашов, Д. А. Значение микроэлементов и ультрамикроэлементов в современных условиях возделывания сельскохозяйственных культур / Д. А. Манашов // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1-1 (15). – С. 34-39.

209. Масленников, П. В. Аккумуляция металлов в растениях урбоэкосистем / П. В. Масленников, В. П. Дедков, М. В. Куркина и др. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2015. – № 7. – С. 57-69.

210. Машанов, В. И. Пряно-ароматические растения / В. И. Машанов, А. А. Покровский. – М.: «Агропромиздат», 1991. – 287 с.

211. Мельникова, С. С. Оптимизация минерального питания и качества календулы лекарственной на лугово-черноземных почвах Омского Прииртышья. : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04. / Мельникова Светлана Степановна. – Омск, 2007. – 150 с.
212. Методика исследований при интродукции лекарственных растений / Н. И. Майсурадзе [и др.]. // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Медпром, 1984. – № 3. – 32 с.
213. Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. – М. : «Наука», 1967. – 183 с.
214. Методы интродукционного изучения лекарственных растений : учеб.-метод. пособие для студентов биологического фак. / сост. И. В. Шилова, А. В. Панин, А. С. Кашин, Н. В. Машурчак, А. В. Бердников, М. В. Соловьева. – Саратов: ИЦ «Наука», 2007. – 45 с.
215. Масленников, П. В. Аккумуляция железа в растениях урбоэкосистем г. Калининграда / П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник, М. В. Куркина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 392.
216. Минеев, В. Г. Удобрение и качество продукции: Новое в жизни, науке и технике / В. Г. Минеев // Сельское хозяйство. – М.: Знание, 1980. – 64 с.
217. Минеев, В. Г. Экологические проблемы агрохимии: Учеб. Пособие / В. Г. Минеев. – М., 1988. – 285 с.
218. Михайлов, Н. Н. Определение потребности растений в удобрениях / Н. Н. Михайлов, В. П. Книпер. – М. : Колос, 1971. – 256 с.
219. Мищенко, Л. Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование : учеб пособие / Л. Н. Мищенко. – Омск : Изд-во ОмСХИ, 1991. – 164 с.
220. Моисеева, Г. Ф. Материалы XXIX научно-производственной конференции Великолукского СХИ (март, 1990). – Великие Луки, 1991. – С. 88-89.

221. Морковкин, Г. Г. Возможные медико-экологические проблемы, обусловленные различным поступлением химических элементов в системе «почва-овощи-человек» / Г. Г. Морковкин, Е. В. Панова // Известия Алтайского государственного университета. – 2004. – № 3. – С. 66-70.

222. Мосолов, И. Ф. Физиологические основы применения минеральных удобрений / И. Ф. Мосолов. – М. : Наука, 1979. – 255 с.

223. Мухоморов, В. К. Динамика синергизма и антагонизма химических элементов в растениях в условиях первичного почвообразования / В. К. Мухоморов, Л. М. Аникина // Агрофизика. – 2011. – № 2. – С. 26-38.

224. Национальный атлас почв Российской Федерации / Под общ. ред. С.А. Шобы. – М. : Астрель, 2011. – 632 с.

225. Никитишен, В. И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии / В. И. Никитишен. – М.: Наука, 1984. – 214 с.

226. Никоноров, А. И. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. И. Никоноров, А. В. Жулидов. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 311 с.

227. Носов, А. М. Лекарственные растения. – М. : ЭКСМО-Пресс, 2001. – 350 с.

228. Орлова, Э. Д. Влияние микроудобрений на химический состав и урожай яровой пшеницы на почвах Омской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Орлова Эмма Дмитриевна. – Омск, 1968. – 26 с.

229. Орлова, Э. Д. Влияние повышенных доз меди на поступление ее в растения и урожай яровой пшеницы / Э. Д. Орлова, Г. Я. Козлова // Удобрения и химическая мелиорация почв Омской области : сб. науч. тр. / Ом. с.-х. ин-т. – Омск, 1973. – Т. 113. – С. 65-70.

230. Орлова, Э. Д. Влияние разных доз меди и марганца на поступление их в растения и урожай томатов / Э. Д. Орлова // Агрохимия. – 1975. – № 5. – С. 93-100.

231. Орлова, Э. Д. Влияние разных доз молибдена и бора на поступление их в растения и урожай томатов / Э. Д. Орлова // Агрохимия. – 1978. – № 1. – С. 119-123.

232. Орлова, Э. Д. Влияние цинка на продуктивность и химический состав растений / Э. Д. Орлова, Н. М. Прошивалко, С. Л. Летунова // Почвы, удобрения, урожай: сб. науч. тр. / Ом. гос. аграр. ун-т. – Омск, 1996. – С. 28-32.

233. Орлова, Э. Д. Микроэлементы в почвах Омской области и применение микроудобрений / учеб. пособие. – Омск : ОмСХИ, 1989. – 60 с.

234. Орлова, Э. Д. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие / Э. Д. Орлова, Е. Г. Пыхтарева. – Омск : Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 76 с.

235. Орлова, Э. Д. Содержание меди и молибдена в растениях яровой пшеницы и влияние питания на урожай / Э. Д. Орлова // Агрохимия. – 1971. – № 11. – С. 114-121.

236. Орлова, Э. Д. Содержание микроэлементов в различных культурах в зависимости от условий выращивания / Э.Д. Орлова, Ю.И. Ермохин // Докл. IV Сибирской конференции по микроэлементам. – Улан-Удэ, 1973. – С. 209-213.

237. Панасин, В. И. Микроэлементы и урожай. – Калининград, 1995. – 283 с.

238. Парибок, Т. А. Влияние цинка на поглощение и использование фосфора растениями / Т. А. Парибок, Н. В. Алексеева-Попова // Физиология растений. – 1965. – Т. 12. – № 4. – С. 591-598.

239. Пасешниченко, В. А. Растения – продуценты биологически активных веществ / В.А. Пасешниченко // Сорос. образоват. журн. – 2001. – Т. 7. – № 8. – С. 13-19.

240. Пейве, Я. В. Микроэлементы и их значение в сельском хозяйстве. – М. : Сельхозгиз, 1961. – 63 с.

241. Пейве, Я. В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. – М. : Наука, 1980. – 430 с.

242. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М. : В. Школа, 1975. – 341 с.
243. Персикова, Т. Ф. Влияние макро-, микроудобрений, бактериального препарата и регулятора роста на динамику накопления основных элементов питания в период вегетации и урожайность зерна проса / Т. Ф. Персикова, Ю. В. Коготько // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4. – С. 60-64.
244. Петербургский, А. В. Практикум по агрономической химии. – М. : Колос, 1963. – 592 с.
245. Петербургский, А. В. Почва, удобрения и урожай / А. В. Петербургский // Сельское хозяйство. – М. : Знание. – 1985. – №2. – С. 64.
246. Петрунина, Н. С. Микроэлементы и болезни сельскохозяйственных растений // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М., 1974. – С. 123-132.
247. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. – М. : Колос, 1965. – 447 с.
248. Плотников, А. А. Агроэкологическое обоснование технологии возделывания тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны : автореф... дис. канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Плотников Андрей Анатольевич. – Кострома, 2009. – 18 с.
249. Покровский, Н. П. Влияние соломы на микроорганизмы и несимбиотическую азотфиксацию в дерново-подзолистой почве / Н. П. Покровский // Докл. ТСХА. – 1979. – № 248. – С. 128-131.
250. Попов, Г. Н. Агрохимия микроэлементов в степном Поволжье. – Саратов : Изд-во Саратовского унив-та, 1984. – 184 с.
251. Попова, В. И. Оптимизация применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири : дис. канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Попова Валентина Ивановна. – Омск, 2018. – 173 с.

252. Почвоведение / Под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. – М. : «Высшая школа», 1988. – Ч. 2. – 368 с.
253. Практикум по агрохимии / В. В. Кидин [и др.]. – М.: Изд-во КолосС, 2008. – 599 с.
254. Практикум по агрохимии / И. В. Пустовой [и др.]. – М. : Колос, 1995. – 336 с.
255. Практикум по агрохимии / Б. А. Ягодин [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1987. – 512 с.
256. Проведение полевых опытов с лекарственными культурами / А. И. Брыкин [и др.]. – М.: Минмедпром, 1981. – Вып. 1. – 60 с. – (Обзорная информация / Лекарственное растениеводство).
257. Протасова, Н. А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных / Н. А. Протасова // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 12. – С. 32–37.
258. Прянишников, Д. Н. Агрохимия / Д. Н. Прянишников. – М. : Сельхозгиз, 1940. – 567 с.
259. Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения в трех томах / Д. Н. Прянишников. – М. : Сельхозиздат, 1963. – Т. 1. : Агрохимия. – 735 с.
260. Пушкина, Г. П. Эффективность применения регуляторов роста и микроудобрений на эфирномасличных культурах / Г. П. Пушкина, Е. Л. Маланкина, Р. Р. Тхаганов, А. И. Морозов // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №7. – С. 17-19.
261. Рабинович, М. И. Лекарственные растения Южного Урала. – Челябинск : Юж.-Урал. кн. изд-во, 1990. – 304 с.
262. Растения для нас: Справочное издание / Под ред. Г.П. Яковлева, К.Ф. Блиновой. – СПб.: Учебная книга, 1996. – 653 с.
263. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав и использование; Семейство *Asteraceae* (*Compositae*) / Г. М. Балабас; под ред. П. Д. Соколова. – СПб. : Наука, 1993. – 352 с.

264. РД 52.18.191-2018 «Массовая доля кислоторастворимых форм металлов в пробах почв, грунтов и донных отложений». – Обнинск, 2019. – 35 с.

265. Рейнгард, Я. Р. Деградация почв экосистем юга Западной Сибири : монография / Я. Р. Рейнгард ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Омский гос. аграрный ун-т». – Лодзь : [б. и.], 2009. – 71 с.

266. Романе, Э. Я. Проблема химического загрязнения природной среды и лекарственное растительное сырье / Э. Я. Романе, Н. А. Борисова // Фармация. – 1989. – С. 133-137.

267. Рыбалко, В. П. Использование эхинацеи пурпурной в рационах хряков / В. П. Рыбалко, Н. Д. Колесник // Зоотехния. – 2002. – № 3. – С.13-14.

268. Рябинина, Е. И. Фитохимическое исследование полифенольного комплекса из травы тысячелистника обыкновенного / Е. И. Рябинина, Е. Е. Зотова, Н. И. Пономарева // Наука и современность. – 2011. – С. 65-69.

269. Сабинин, Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д. А. Сабинин. – М. : Наука, 1971. – 512 с.

270. Савич, В. И. Взаимовлияние в системе «почва – растение» / В. И. Савич, Л. П. Родионова, И. И. Тазин, М. И. Топчий // Экология России: на пути к инновациям : Межвузовский сборник научных трудов. Астраханский государственный университет. – Астрахань : Издательство Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет». – 2019. – С. 48-53.

271. Савич, В. И. Взаимосвязи между свойствами почвы и плодородием / В. И. Савич, Д. С. Булгаков, Ю. А. Духанин, А. А. Оглоблина // Агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 5-13.

272. Савич, В. И. Комплексная оценка обеспеченности почв фосфатами / В. И. Савич, Р. Ф. Байбеков, Х. А. Амергужин [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2004. – № 1. – С. 3-15.

273. Садовникова, Л. К. Поглощение меди и цинка дерново-подзолистой почвой при разных уровнях техногенного загрязнения. Сообщение 1. Общая сорбция меди и цинка / Л. К. Садовникова, Д. В. Ладонин // Вести. Моск. ун-та. – Сер. 17. Почвоведение. – 2000. – № 3. – С. 33-36.

274. Садовникова, Л. К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении / Л. К. Садовникова, Д. С. Орлов, И. Н. Лозановская. – М. : Высш. школа, 2006. – 334 с.

275. Сальникова, Е. В. Эколого-геохимический мониторинг влияния меди, кадмия и свинца на цинковый статус населения Оренбургской области: дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / Сальникова Елена Владимировна. – Оренбург, 2018. – 274 с.

276. Сальникова, Е. В. Цинк – эссенциальный микроэлемент (обзор) / Е. В. Сальникова // Вестник ОГУ. – №10 (146). – 2012. – С. 170-172.

277. Самородов, В. Н. Эхинацея в Украине: полувековой опыт интродукции и возделывания / В. Н. Самородов, С. В. Поспелов – Полтава: «Верстка», 1999. – С. 52.

278. Самофалова, И. А. Лабораторно-практические занятия по химическому анализу почв : учебное пособие / И. А. Самофалова, Ю. А. Рогизная. – Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 133 с.

279. Самохин, А. П. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах Нижнего Дона : авторф. дисс. канд. биол. наук : 03.00.27 / Самохин Алексей Петрович. – Росто-на-Дону, 2003. – 28 с.

280. Сандстед, Х. Х. Выпечка, обогащенная цинком и комплексом микронутриентов. Схема создания специализированного продукта для профилактики и /или лечения дефицита цинка у человека / Х. Х. Сандстед, А. С. Прасад // Микроэлементы в медицине. – 2011. – Т. 12. – Вып. 1-2. – С. 57–62.

281. СанПИН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва : ЦЕНТРМАГ, 2021. – 736 с.

282. Сдобникова, О. В. Фосфорные удобрения и урожай / О. В. Сдобникова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 111 с.

283. Семенихин, Д. И. Биологические особенности роста и развития валерианы лекарственной, зверобоя продырявленного и пижмы обыкновенной в совместных посевах с однолетними культурами : автореф. ... дис. канд. биол. наук : 06.01.13 / Семенихин Дмитрий Иванович. – М., 2007. – 24 с.

284. Семенова, В. В. Аккумуляция тяжелых металлов представителями рода тысячелистник (*Achillea* L.) в условиях высотной зональности Северо-восточного Кавказа : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Семенова Виктория Валентиновна. – Нижний Новгород, 2020. – 199 с.

285. Семенова, В. В. Влияние экологических факторов на содержание некоторых тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. / В. В. Семенова, З. Г. Магомедалиев // Юг России: экология, развитие. – № 2. – 2009. – С. 58-61.

286. Серегина, И. И. Влияние обработки семян цинком на использование азота удобрений и почвы в разных условиях водообеспечения / И. И. Серегина // Агрохимические приемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: Матер. международной научной конференции (ВНИИА). – М.: ВНИИА, 2006. – С. 100-102.

287. Серегина, И. И. Действие микроэлементов (селена, цинка и молибдена) на рост и продуктивность яровой пшеницы в разных условиях азотного питания и водообеспечения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Серегина Инга Ивановна. – М., 2000. – 22 с.

288. Серегина, И. И. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе : монография. – М. : Проспект, 2018. – 208 с.

289. Сибиркина, А. Р. Содержание кадмия в органах сосны обыкновенной ленточных боров Прииртышья Республики Казахстан // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2013. – № 2. – С.130-137.

290. Сидельников, Н. И. Возделывание эхинацеи пурпурной в центрально-черноземном регионе России : методические рекомендации / Н. И. Сидельников, А. М. Киянов, Е.Л. Солдат. – М.: ВИЛАР, 2010. – 30 с.

291. Сидельников, Н. И. Особенности применения микроудобрений на лекарственных культурах / Н. И. Сидельников, Р. Р. Тхаганов, Ф. М. Хазиева // Агрохимический вестник. – 2018. – № 6. – С. 57-60.

292. Сидельников, Н. И. Экзогенная биорегуляция продуктивности лекарственных растений. – М. : Щербинская тип., 2016. – 214 с.

293. Сидельников, Н. И. Экзогенная регуляция биопродуктивности лекарственных культур при возделывании в Центрально-Черноземном регионе Российской Федерации : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.06 / Сидельников Николай Иванович. – М., 2014. – 294 с.

294. Сидельников, Н. И. Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench). Роль экзогенных факторов биорегуляции в технологии возделывания / Н. И. Сидельников, Г. П. Пушкина, Л. М. Бушковская. – М. : ВИЛАР, 2014. – 132 с.

295. Сидельников, Н. И. Фармакологически активные алкаамиды в сырье эхинацеи пурпурной / Н. И. Сидельников, В. И. Осипов, А. Н. Сидельников, Ф. М. Хазиева // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2015. – № 8. – С. 3-8.

296. Сикура, И. И. Эхинацея, история изучения, сокращение биологического разнообразия exsitu / И. И. Сикура, А. И. Сикура // Изучение и использование эхинацеи : Матер. междунар. науч. конф. – Полтава: Верстка, 1998. – С. 41-42.

297. Симонович, Е. И. Влияние удобрений на содержание некоторых тяжелых металлов и биологическую активность в черноземе обыкновенном при возделывании эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench.) / Е. И. Симонович, Л. Ю. Гончарова, Е. И. Шиманская // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-1. – С. 69-72.

298. Симонович, Е. И. К вопросу применения удобрений в культуре эхинацеи пурпурной / Е. И. Симонович, Л. Ю. Гончарова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 1-1. – С. 58-59.

299. Синдирёва, А. В. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Синдирёва Анна Владимировна. – Омск, 2001. – 199 с.

300. Синдирёва, А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное : автореф. дис. ... д-ра. биол. наук : 03.02.08 / Синдирёва Анна Владимировна. – Тюмень, 2012а. – 32 с.

301. Синдирёва, А. В. Региональные особенности содержания кадмия и цинка в почвах Омской области / А. В. Синдирёва, В. М. Красницкий, Ю. И. Ермохин // Плодородие. – 2012. – № 1. – С. 47-50.

302. Синдирёва, А. В. Содержание меди и цинка в системе почва-растение на примере Октябрьского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / А. В. Синдирева, Д. О. Пузанов, А. В. Букин, Е. В. Томилова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – №6. – С. 99-104.

303. Синдирёва, А. В. Экологические и геохимические особенности накопления селена в почве и растениях в условиях Омской области / А. В. Синдирева // Вестник ОмГАУ. – 2012б. – №2 (6). – С. 6-10.

304. Сиромля, Т. И. Система форм соединений химических элементов в почвах и растениях юго-востока Западной Сибири : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / Сиромля Татьяна Ивановна. – Новосибирск, 2019. – 294 с.

305. Сказалова, Н. Н. Микроэлементы (Co, Cu, Mo, Ni, Mn) в почвах поймы реки Иртыша : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Н. Н. Сказалова. – Омск: ОмСХИ. – 1973. – 17 с.

306. Скальный, А. В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. – М. : Изд. дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. –272 с.

307. Скальный, А. В. Цинк и здоровье человека. – Оренбург : РИСГОУ ОГУ, 2003. – 80 с.

308. Скальный, А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А. В. Скальный. – М. : Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.

309. Складорова, М. А. Диагностика и оптимизация цинкового питания кукурузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Складорова Марина Александровна. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2008. – 16 с.

310. Складорова, М. А. Влияние цинковых удобрений на содержание цинка в растениях кукурузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири / М. А. Складорова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014а. – Т. 2. – № 7. – С.189-193.

311. Складорова, М. А. Эффективность различных приемов применения цинка под кукурузу на лугово-чернозёмной почве Омской области / М. А. Складорова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014б. – № 1 (13). – С. 28-31.

312. Скудаева, Е. А. Влияние никеля и фосфора на урожайность и качество суданской травы на лугово-черноземной почве Западной Сибири : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Скудаева Елена Анатольевна. – Омск, 2004. – 169 с.

313. Сладкова, Н. А. Распределение цинка и кадмия в системе торфяная почва – растение под влиянием фосфорных и калийных удобрений : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03 / Сладкова Надежда Анатольевна. – Санкт-Петербург – Пушкин, 2016. – 187 с.

314. Смирнова, Т. Б. Влияние бора и цинка на урожайность и качество семян капусты белокочанной на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Смирнова Татьяна Борисовна. – Омск: ОмГАУ. – 2003. – 16 с.

315. Соколов, А. В. Роль методов растительной диагностики в решении агрохимических проблем / А. В. Соколов // Диагностика потребности растений в удобрениях. – М., 1970. – С. 8-10.

316. Соколов, А. В. Химический анализ почвы и применения удобрений / А. В. Соколов // Журн. Всесоюз. хим. о-ва. – 1965. – Т. 10. – № 4. – С. 375-381.

317. Соколов, Н. Н. Прописано самой природой / Н. Н. Соколов, А. А. Бахтин, Н. А. Бабич. – Архангельск ГУП «Сев.-Зап. кн. изд-во», 1998. – 152 с.

318. Строганова, М. А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. – 152 с.

319. Сысо, А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири : монография / А. И. Сысо. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 227 с.

320. Сысо, А. И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сиб. экол. журн. – 2004. – № 3. – С. 273-287.

321. Сысо, А. И. Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири / А. И. Сысо, Т. И. Сиромля // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы III Междунар. школы-семинара молодых исследователей (Тюмень, 23-28 апреля 2018 г.) – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2018. – С. 137-150.

322. Сысо, А. И. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири / А. И. Сысо, В. Б. Ильин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 33-36.

323. Сычев, В. Г. Диагностика минерального питания полевых культур и определение потребности в удобрениях / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, Т. М. Духанина. – М.: Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 220 с.

324. Сычев, В. Г. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, А. Ф.

Харитонов [и др.] ; Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2009. – 520 с.

325. Сычев, В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения : (К 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова) / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева ; Российская академия наук, Федеральное агентство научных организаций, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2015. – 204 с.

326. Сычев, В. Г. Экспрессные методы оценки обеспеченности почв элементами питания и уровня загрязнения токсикантами / В. Г. Сычев, Л. Л. Шишов, А. Г. Замираев, П. Санчес, А. В. Аларкон. – М.: Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова (Москва), 2004. – 152 с.

327. Технология возделывания лекарственных растений : учебно-методический комплекс (для студентов, обучающихся по специальности 110201 «Агрономия») / сост. Е. Л. Шаламова. – Горно-Алтайск : РИОГАГУ, 2009. – 54 с.

328. Технология лекарственных форм / Под ред. Л. А. Ивановой. – Т. 2. – М.: Медицина, 1991. – 554 с.

329. Тимирязев, К. А. Земледелие и физиология растений. – Избран. Соч.. М., 1948. – Т. 2. – 423 с.

330. Тищенко, Н. Н. Диагностика минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на лугово-черноземной почве Западной Сибири : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Тищенко Наталья Николаевна. – Омск, 2010. – 203 с.

331. 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.

332. Ткаченко, А. В. Элемент здоровья – цинк и его определение в различных компонентах / А. В. Ткаченко, Д. В. Маковкина, О. М. Дробышева // Здоровье и образование в XXI век. – 2017. – Вып. 19. – № 10. – С. 264-266.

333. Толстоусов, В. П. Удобрение и качество урожая / В. П. Толстоусов. – М.: Колос, 1974. – 259 с.

334. Торилов, В. Е. Экология, выращивание и элементный состав корней эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea Moench*) в Брянской области / В. Е. Торилов, И. И. Мешков // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2016. – №1 (53). – С. 58-64.

335. Тржецинский, С. Д. Фармакогностическое изучение видов рода *Achillea* L. / С. Д. Тржецинский В. И. Мозуль, Г. А. Жернова, Н. С. Фурса // Актуальні питання фармацевтичної медичної науки та практики – 2014. – № 1(14). – С. 16-19.

336. Тухфатова, Р. Ф. Эхинацея пурпурная: применение в животноводстве и ветеринарии / Р. Ф. Тухфатова // БИО: журнал для специалистов птицеводческих и животноводческих хозяйств. – 2011. – № 3. – С. 29-30.

337. Тютюнников, А. И. Химический состав нетрадиционных кормовых и лекарственных растений / А. И. Тютюнников, Б. Г. Цугкиев. – М., 1996. – 136 с.

338. Удрис, Г. А. Биологическая роль меди / Г. А. Удрис, Я. А. Нейланд. – Рига : Зинатне, 1990. – 189 с.

339. Уманец, Н. Н. Основные агротехнологические приемы возделывания эфиромасличного сорта тысячелистника Эней на орошении и богаре / Н. Н. Уманец // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 60. – С. 303-307.

340. Умаров, М. М. Азотфиксация в ассоциациях микроорганизмов с растениями / М. М. Умаров, Н. Г. Куракова, Б. Ф. Садыков // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М. : Наука, 1985. – С. 205-213.

341. Ушанова, В. М. Исследование влияния компонентов лекарственного растительного сырья на состав получаемых экстрактов / В. М. Ушанова, В. М. Воронин, С. М. Репях // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 105–110.

342. Фармакогнозия. Атлас : учеб. пособие / Под ред. Н. И. Гринкевич, Е. Я. Ладыгиной. – М. : Медицина, 1989. – 512 с.

343. Фарниева, К. Х. Эффективность интродукции и перспективы использования эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L) Moench) в условиях РСО-Алания : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.14 / Фарниева Фарниева Катерина Хаирбековна. – Владикавказ, 2015. – 118 с.

344. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдрасилов, Е. Н. Музафаров; [отв. ред. Е.И. Маевский] – Пушино: Synchronobook, 2013. – 310 с.

345. Фридланд, В. М. Классификация и диагностика почв СССР / В. М. Фридланд. – М., 1977. – 423 с.

346. Хабаров, А. А. Цинк: Актуальность и характеристики биодобавок (обзор литературы) [Электронный ресурс] / А. А. Хабаров, Е. В. Будко, К. А. Лушов, Л. А. Горбачева, Н. О. Ельцова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/103-6416> (Дата обращения: 20.12.2020).

347. Хасанова, З. М. Динамика накопления гидроксикоричных кислот растениями *Echinacea purpurea* в условиях водообеспечения / З. М. Хасанова, Л. А. Хасанова, Л. Г. Наумов, Н. А. Заманова // Вестник ОГУ. – 2007. – № 2. – С. 135-139.

348. Хусаинова, А. И. Фармакогностическое исследование цветков пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) : дис. ... канд. фарм. наук : 14.04.02 / Хусаинова Алия Ильясовна. – Самара, 2015. – 206 с.

349. Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М. : Наука, 1978. – 216 с.
350. Церлинг, В. В. Растительная диагностика и биологическое качество урожая / В. В. Церлинг // Агрохимия. – 1971. – № 3. – С. 135-147.
351. Церлинг, В. В. Диагностика питания растений по их химическому анализу / В. В. Церлинг // Агрохимические методы исследования почв. – М., 1975. – С. 486-525.
352. Черных, Е. П. Влияние экологических факторов и периода вегетации на содержание биологически активных веществ в некоторых видах растительного сырья Красноярского края / Е. П. Черных, Л. А. Мильшина, О. В. Гоголева, Г. Г. Первышина // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 11. – С. 128-131.
353. Чиков, П. С. Лекарственные растения / П. С. Чиков. – М. : Агропромиздат, 1989. – 431 с.
354. Чупахина, Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений : монография. – Калинингр. ун-т. – Калининград, 1997. – 120 с.
355. Чусовитина, К. А. Фармакологические особенности тысячелистника обыкновенного (*Achillea Millefolium* L.) / К. А. Чусовитина, М. Ю. Карпухин // Аграрное образование и наука. – 2019. – № 4. – С. 31.
356. Шайдуллина, Г. Г. Экологическая физиология *Echinacea purpurea* L. при интродукции в республике Башкартостан: дис. ... канд. биол. наук : 03.00.12 / Шайдуллина Галия Гаитнуровна. – Уфа, 2000. – 141 с.
357. Шараевская, И. М. Применение эхинацеи для стимуляции иммунитета у кур, подвергнутых вакцинации штаммом H5 N1 / И. М. Шараевская, Н. В. Садовников, К. С. Маловастый // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №12 (79). – С. 37-38.
358. Шатилов, И. С. Руководство по программированию урожаев / И. С. Шатилов, А. И. Столяров, А. А. Зиганшин. – М. : Колос, 1986. – 151 с.

359. Шашко, Л. Н. Влияние минеральных удобрений на урожай и радиологическое качество растительного сырья *Echinacea purpurea* М. и *Laphantus anisatus* L. при возделывании их в условиях радиоактивного загрязнения земель белорусского Полесья / Л. Н. Шашко, А. В. Шашко // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. – 2009. – С. 23-27.

360. Шевченко, И. Н. Эхинацея – от всех болезней панацея. Полезные свойства растения и способы его применения / И. Н. Шевченко // Пчеловодство. – 1999. – № 4. – С. 54-55.

361. Шерстов, Н. П. Диагностика потребности гороха в удобрениях по химическому анализу почвы и листьев в черноземной зоне Омской области : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Шерстов Николай Петрович. – Омск, 1968. – 337 с.

362. Шеуджен, А. Х. Агробιοгеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. / А. Х. Шеуджен. – Майкоп: ООО «Полиграф-Юг», 2018. – 308 с.

363. Шеуджен, А. Х. Агрохимия и физиология питания риса. – Майкоп : ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1010 с.

364. Шеуджен, А. Х. Биогеохимия. – Майкоп : ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.

365. Шеуджен, А. Х. Влияние микроудобрений на продуктивность агроценоза ячменя озимого при его размещении на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, С. С. Ковалев, М. А. Осипов // Энтузиасты аграрной науки : Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 310-летию Йогану Готтшальку Валлериусу и 90-летию академика Ефимова Виктора Никифоровича, Краснодар, 05–06 сентября 2019 года / Ответственный за выпуск А.Х. Шеуджен. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2019. – С. 156-165.

366. Шишов, Л. Л. Критерии и модели плодородия почв / Л. Л. Шишов, И. И. Карманов, Д. Н. Дурманов. – М. : Издательство «Агропромиздат», 1987. – 183 с.
367. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л. : Наука, 1974. – 324 с.
368. Шойкин, О. Д. Диагностика и оптимизация минерального питания пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus Gilib.*) на лугово-черноземной почве Западной Сибири : дис. ... канд. с.-х. наук : 06. 01. 04. / Шойкин Олжас Даулетжанович. – Омск, 2013. – 205 с.
369. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учеб. для вузов / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко / под ред. Б. А. Ягодина. – М. : Колос, 2002. – 584 с.
370. Ягодин, Б. А. Практикум по агрохимии / Б. А. Ягодин. – М. : Агропромиздат, 1987. – 512 с.
371. Ягодин, Б. А. Проблема микроудобрений в земледелии СССР / Б. А. Ягодин // Агрохимия. – 1981. – №10. – С. 146-153.
372. Яхтанигова, Ж. М. Применение удобрения в посевах эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) в условиях Центрально-Черноземного региона / Ж. М. Яхтанигова, И. В. Кулишова // Новые технологии. – 2021. – Т. 17. – № 5. – С. 145-154.
373. Abdoli, M. Zinc application method affect agronomy traits and grain micronutrients in bread and durum wheat under zins-deficient calcareous soil / M. Abdoli, E. Esfandiari, B. Sadeghzadeh, S.-B. Mousavi // Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences. – 2016. – № 26(2). – P. 202-214.
374. Adiloglu, A. The effect of boron (B) application on the growth and nutrient content of maize in zinc deficient soils / A. Adiloglu, S. Adiloglu // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2006. – Vol. 12. – P. 387-392.
375. Adriano, D. C. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L) seedlings as affected by mineral nutrition / D. C. Adriano, G. M. Paulsen, L. S. Murphy // Agronomy Journal. – 1971. – Vol. 63. – P. 36-39.

376. Adriano, D. C. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. – New York : Springer-Verlag, 2001. – 867 p.
377. Akram, M. Mini review on *Achillea millefolium* Linn. // J Membrane Biol. – 2013. – Vol. 246. – P. 661–663.
378. Allen, D. E. Medicinal plants in folk tradition: an ethnobotany of Britain & Ireland / D. E. Allen, G. Hatfield. – Cambridge : Hatfield Timber Press Portland, 2004. – 431 p.
379. Ali, S. I. Pharmacognosy, phytochemistry and pharmacological properties of *Achillea millefolium* L.: A Review. / S. I. Ali, B. Gopalakrishnan, V. Venkatesalu // Phytotherapy Research. – 2017. – Vol. 31. – P. 1140–1161.
380. Alloway, B. J. Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production / B. J. Alloway. – London : Springer Netherlands, 2008a. – 354 p.
381. Alloway, B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. – Brussels Belgium, Paris, France : IZA and IFA – 2008b. – 136 p.
382. Ambler, J. E. Effect of zinc on translocation of iron in soy bean plant / J. E. Ambler, J. C. Brown, H. G. Gauch // Plant Physiology. – 1970. – Vol. 46. – P. 320-323.
383. Amri, B. Copper-induced changes in nutrient uptake, enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems in horehound (*Marrubium vulgare* L.) / B. Amri, S. B. Kaab, H. Gouia, E. Martino, S. Collina, L. B. B. Kaab // Botanical Sciences. – 2017. – Vol. 95 (3). – P. 565-575.
384. Anandan, R. *Echinacea purpurea* to treat Novel Coronavirus (2019-nCoV) / R. Anandan, G. Suseendran, Noor Zaman, S. N. Brohi, D. Balaganesh, B. S. Deepak // Big Data in Social Sciences. – 2020.
385. Andrade, RG Jr. The antioxidant effect of tannic acid on the in vitro copper-mediated formation of free radicals / RG Jr. Andrade, L. T. Dalvi, JM Jr. Silva [et al.] // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2005. – Vol. 437(1). – P. 1-9.
386. Applequist, W. L. Yarrow (*Achillea millefolium* L.): a neglected panacea? A review of ethnobotany, bioactivity and biomedical research / W. L. Applequist, D. E. Moerman // Econo Bot. – 2011. – Vol. 65. – P. 209–225.

387. Araya, M. Understanding copper homeostasis in humans and copper effects on health / M. Araya, F. Pizarro, M. Olivares [et al.] // *Biological Research*. – 2006. – Vol. 39. – P. 183-187.

388. Aref, F. Concentration of zinc and boron in corn leaf as affected by zinc sulfate and boric acid fertilizers in a deficient soil / F. Aref // *Life Science Journal*. – 2011. – Vol. 8. – P. 26-31.

389. Aref, F. The effect of boron and zinc application on concentration and uptake of nitrogen, phosphorus and potassium uptake in corn grain / F. Aref // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2001. – Vol. 4. – P. 785-791.

390. Ault, J. R. Coneflower: Echinacea species. In book: Anderson NO, editor. *Flower breeding and genetics*. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. – P. 801-824.

391. Aziz, E .E. Comparative study on the effect of ammonium nitrate and ammonium sulphate through the application of poultry manure on the productivity of *Achillea millefolium* L. plants / E. E. Aziz, S. E. EL-Sherbeny // *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, Ain Shams Univ., Cairo. – 2004. – Vol. 12 (1). – P. 371-389.

392. Aziz, E. E. Yield and Chemical Composition of Essential Oil of *Achillea millefolium* L. as Affected by Harvest Time / E. E. Aziz, E. M. Badawy, V. D. Zheljazkov, S. M. Nicola, H. Fouad // *Egyptian Journal of Chemistry*. – 2019. – Vol. 62, № 3. – P. 533 – 540.

393. Babaei, M. Antimotility effect of hydroalcolic extract of yarrow (*Achillea millefolium*) on the guinea-pig ileum / M. Babaei, M. E. Abarghoei, M. M. Akhavan [et al.] // *Pakistan Journal of Biological Sciences*. – 2010. – Vol. 10 (20). – P. 3673-77.

394. Baker, D. E. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health / D. E. Baker, L. Chensin // *Advances in agronomy*. – 1975. – V. 27. – P. 306-366.

395. Bandoniene, D. Preliminary screening of antioxidant activity of some plant extracts in rapeseed oil / D. Bandoniene, A. Pukalskas, P. R. Venskutonis, D. Gruzdiene // *Food Research International*. – 2000. – Vol. 33. – P. 785-791.

396. Barker, A. J. M. The uptake of zinc and calcium from solution culture by zinc tolerant and nontolerant *Silene maritima* in relation to calcium supply / A. J. M. Barker // *New Phytologist*. – 1978. – Vol. 81. – P. 321-330.
397. Barnes, J. *Echinacea* species (*Echinacea angustifolia* (DC.) Hell., *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt., *Echinacea purpurea* (L.) Moench): a review of their chemistry, pharmacology and clinical properties / J. Barnes, L. A. Anderson, S. Gibbons, J. D. Phillipson // *Pharmacy and pharmacology*. – 2005. – Vol. 57. – P. 929-954.
398. Barrett, B. Medicinal properties of *Echinacea*: a critical review / B. Barrett // *Phytomedicine*. – 2003. – Vol. 10 (1). – P. 66–86.
399. Basak, A. Interaction of phosphorus and molybdenum on the availability of Zn, Cu, Mn, Mo and P in waterlogged soils / A. Basak, L. N. Mandal, M. Halder // *Plant and Soil*. – 1982. – Vol. 68. – P. 271-278.
400. Baser, K. H. C. Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Achillea multifida* / K. H. C. Baser, B. Demirci, F. Demirci [et al.] // *Planta Medica*. – 2008. – Vol. 68. – P. 941-943.
401. Baudh, A.K. Interaction effects of different doses of sulfur and zinc on growth and productivity of mustard (*Brassica campestris*) / A.K. Baudh, G. Prasad // *Indian Journal of Scientific Research*. – 2012. – Vol. 3. – P. 141-144.
402. Bauer, R. Standardization of *Echinacea purpurea* expressed juice with reference to cichoric acid and alkylamides / R. Bauer // *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. – 1999. – Vol. 6. – P. 51–62.
403. Bauer, R. *Echinacea* species as potential immunostimulatory drugs. In book: Econ. and med. plants res. / R. Bauer, H. Wagner. – London : Acad. Press, 1991. – P. 253-321.
404. Begum, M. C. Auxin signaling is closely associated with Zn efficiency in rice (*Oryza sativa* L.) / M. C. Begum, M. Islam, M. R. Sarkar [et al.] // *J. Plant Interact.* – 2016. – Vol. 11. – P. 124-129.

405. Benedek, B. Distribution of phenolic compounds in Middle European Taxa of the *Achillea millefolium* L. aggregate / B. Benedek, N. Gjoncaj, J. Saukel, B. Kopp // Chem Biodivers. – 2007. – Vol. 4. – 849–857.

406. Bernal, M. Foliar and root Cu supply affect differently Fe and Zn uptake and photosynthetic activity in soybean plants / M. Bernal, R. Cases, R. Picorel, I. Yruela // Environmental and Experimental Botany. – 2007. – Vol. 60. – P. 145-150.

407. Bernal, M. Excess copper effect on growth, chloroplast ultrastructure, oxygen-evolution activity and chlorophyll fluorescence in Glycine max cell suspensions / M. Bernal, M. V. Ramiro, R. Cases, R. Picorel, I. Yruela // Physiologia Plantarum. – 2006. – Vol. 127. – P. 312-325.

408. Bezic, N. M. Composition and Antimicrobial Activity of *Achillea clavennae* L. Essential Oil / N. M. Bezic, V. Skocibucic, A. Dunkic, A. Radonic // Phyto. Res. – 2003. – Vol. 17. – P. 1037–1040.

409. Billah, M. *Echinacea*. In book: Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements / M. Billah, B. Hosen, Kh. Fazlullah, N. Kamal. – Academic Press Elsevier Publisher, 2019. – P. 205-210.

410. Binns, S. E. Phytochemical variation in *Echinacea* from roots and flower heads of wild and cultivated populations / S. E. Binns, J. F. Livesey, J. T. Arnason, B. R. Baum // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2002. – Vol. 50. – P. 3673–3687.

411. Boawn, L. C. Effects of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes and sugar beet / L. C. Boawn, F. G. Jr. Viets, C. L. Crawford // Soil Science. – 1960. – Vol. 90. – P. 329-332.

412. Brar M. S. Interaction of zinc with other micronutrient cations - Effect of Fe on Zn by wheat seedlings and its translocation within the plant / M. S. Brar, G. S. Sekhon // Plant and Soil. – 1976. – Vol. 45. – P. 145-150.

413. Brun, L. A. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils / L. A. Brun, J. Maillet, P. Hinsinger, M. Pepin // Environmental Pollution. – 2001. – Vol. 11. – 293-302.

414. Bukovic, G. Effect of P and Zn fertilization on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays L.*). / G. Bukovic, M. Antunovic, C. Popvic, M. Rastija // Plant, Soil and Environment. – 2003. – Vol. 49. – P. 505-510.
415. Burkhead, J. L. Copper homeostasis / J. L. Burkhead, K. A. Gogolin Reynolds, S. E. Abdel-Ghany [et al.] // New Phytologist. – 2009. – Vol. 182. – P. 799–816.
416. Cakmak, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic bio fortification? / I. Cakmak // Plant Soil. – 2008. – Vol. 302. – P. 1-17.
417. Cakmak, I. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants / I. Cakmak, H. Marschner // Journal of Plant Physiology. – 1988. – Vol. 132. – P. 356-361.
418. Camp, A. F. Zinc as a nutrient in plant growth / A. F. Camp, B. R. Fudge // Soil Science. – 1945. – Vol. 60. – P. 157-164.
419. Carrillo-González, R. Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes / R. Carrillo-González, M. C. González-Chávez // Environ. Pollut. – 2006. – Vol. 144. – P. 84-92.
420. Chandler, R. F. Herbal remedies of the maritime Indians: Sterols and triterpenes of *Tanacetum vulgare* L. (Tansy) / R. F. Chandler, S. N. Hooper, D. L. Hooper [et al.] // Lipids. – 1982. – Vol. 17(2). – P. 102-106.
421. Chang, H. B. Zinc-induced cell death in rice (*Oryza sativa L.*) roots / H. B. Chang, C. W. Lin, H. J. Huang // Plant Growth Regul. – 2005. – Vol. 46. – P. 261-266.
422. Chasapis, C. T. Zinc and human health: an update / C. T. Chasapis, A. C. Loutsidou, C. A. Spiliopoulou [et al.] // Arch Toxicol. – 2012. – Vol. 86. – P. 521–534.
423. Charuylu, P. B. B. N. Influence of carbon substrates and moisture regime on nitrogen fixation in paddy soils / P. B. B. N. Charuylu, R. V. Rao // Soil Biol. And Biochem. – 1981. – V. 13. – № 1. – P. 39-42.
424. Chauhan, S. Effect of potassium, sulphur and zinc on growth, yield and oil content in soybean (*Glycine max L.*) in vertisols of central India / S. Chauhan, A. Titov, D. S. Tomar // Science. – 2013. – Vol. 3, № 6. – P. 489-491.

425. Christensen, N. W. Potential for phosphorus toxicity in zinc-stressed corn and potato / N. W. Christensen, T. L. Jackson // Soil Science Society of America Journal. – 1981. – Vol. 45. – P. 904-909.

426. Chaignon, V. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area / V. Chaignon, I. Sanchez-Neira, P. Herrmann, B. Jaillard, P. Hinsinger // Environmental Pollution. – 2003. – V. 123(2). – P. 229-238.

427. Chaignon, V. Fe-Deficiency Increases Cu Acquisition by Wheat Cropped in a Cu-Contaminated Vineyard Soil / V. Chaignon, D. Di Malta, P. Hinsinger // The New Phytologist. – 2002. – Vol. 154, № 1. – P. 121–130.

428. Chen, Y. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis* / Y. Chen, J. Shi, G. Tian, Sh. Zheng, Q. Lin // Plant Science. – 2004. – Vol. 166. – P. 1371-1377.

429. Chizzola, R. Monitoring metallic micronutrients and heavy metals in herbs, spices and medicinal plants from Austria / R. Chizzola, H. Michitsch, Ch. Franz // European Food Research and Technology. – 2003. – Vol. 216. – P. 407-411.

430. Collin, G. Essential oil of Tansy (*Tanacetum vulgare* L.) of Canadian origin / G. Collin, H. Deslauriers, N. Pageau [et al.] // Journal of Essential Oil Research. – 1993. – Vol. 5(6). – P. 629-663.

431. Collins, J. F. Copper. Food Science & Human Nutrition / J. F. Collins, L. M. Klevay // Advances in Nutrition. – 2011. – Vol. 2(6). – P. 520-522.

432. Cornu, J. Y. Copper concentration in plants and in the rhizosphere as influenced by the iron status of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) / J. Y. Cornu, S. Staunton, P. Hinsinger // Plant Soil. – 2007. – Vol. 292. – P. 63-77.

433. Croteau, R. Biosynthesis of monoterpenes: demonstration of a geranyl pyrophosphate: (-)-bornyl pyrophosphate cyclase in soluble enzyme preparations from tansy (*Tanacetum vulgare*) / R. Croteau, J. Shaskus // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 1985. – Vol. 236(2). – P. 535-545.

434. Cui, Y. Interaction effect of zinc and elemental Sulphur on their uptake by spring wheat / Y. Cui, Q. Wang // *Journal of Plant Nutrition*. – 2005. – Vol. 28. – P. 39-649.

435. Davis-Carter, J. G. Interaction of soil zinc, calcium and pH with zinc toxicity in peanuts / J. G. Davis-Carter, M. B. Parker, T. P. Gaines // *Plant and Soil*. – 1991. – Vol. 145. – P. 339-347.

436. Derda, M. *Tanacetum vulgare* L. jako roślina o potencjalnych właściwościach leczniczych w Acanthamoeba keratitis (*Tanacetum vulgare* L. as a plant with potential medicinal properties for Acanthamoeba keratitis) / M. Derda, E. Hadas, B. Thiem [et al.] // *Journal of Medical Science*. – 2012. – Vol. 81(6). – P. 620-625.

437. De Sant'anna, J. R. Genotoxicity of *Achillea millefolium* essential oil in diploid cells of *Aspergillus nidulans* / J. R. De Sant'anna, C. C. Franco, C. T. Miyamoto, M. M. Cunico [et al.] // *Phytother Res*. – 2009. – Vol. 23. – P. 231–235.

438. Dimpka, C. O. Fortification on micronutrients for efficient agronomic production / C. O. Dimpka, P. Bindraban // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2016. – Vol. 36. – P. 1-26.

439. Diaconu, D. Assessment of some heavy metals in soils, drinking water, medicinal plants and other liquid extracts / D. Diaconu, V. Nastase, M. M. Nanau, O. Nechifor, E. Nechifor // *Environment Engineering Management Journal*. – 2009. – Vol. 8. – P. 569-573.

440. Diaz, J. Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification / J. Diaz, A. Bernal, F. Pomar, F. Merino // *Plant Science*. – 2001. – Vol. 161. – P. 179-188.

441. Dokhani, S. Analysis of Aroma and Phenolic Components of Selected *Achillea* Species / S. Dokhani, T. Cottrell, J. Khajeddin, G. Mazza // *Plant Foods Hum. Nut.* – 2005. – Vol. 60. – P. 55-62.

442. Elliott, H. A. Competitive adsorption of heavy metals by soils / H. A. Elliott, M. R. Liberati, C. P. Huang // *Journal of Environmental Quality*. – 1986. – Vol. 15. – P. 214-219.

443. Fageria, N. K. Deficiency problems in south America / N. K. Fageria, L. F. Stone // *Micronutrient deficiencies in global crop production*. – 2008. – P. 245-266.

444. Fageria, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops / N. K. Fageria // *Pesq. Agropec. Bras.* – 2002. – Vol. 37. – P. 1765-1772.

445. Fageria, N. K. Dry matter yield and nutrient uptake by lowland rice at different growth stages / N. K. Fageria // *J. Plant Nutr.* – 2004. – Vol. 27(6). – P. 947-958.

446. Faiku, F. In vitro antibacterial activity of different solvent extracts of *Achillea millefolium* (L.) growing wild in Kosovo / F. Faiku, A. Haziri, I. Mehmeti, A. Mehmeti, G. Hoti // *Fresenius Environ. Bull.* – 2018. – Vol. 27. – P. 3878–3883.

447. FEECO International, Inc. [сайт] – URL: <https://feeco.com/global-zinc-deficiency-and-the-growing-zinc-fertilizer-market/> (дата обращения: 05.09.2019). – Текст : электронный.

448. Ferreira da Silva, R. de C. Assessing the Content of Micronutrients in Soils and Sugarcane in Different Pedogeological Contexts of Northeastern Brazil / R. de C. Ferreira da Silva, F. B. Vieira da Silva, C. M. Biondi, C. W. Araújo do Nascimento, E. C. Almeida de Oliveira // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. – 2019. – Vol. 43. – P. 1-15.

449. Firdous, S. The Effect of Zinc Fertilization on Rice Productivity and Economics in Acid Alfisol of Jharkhand, India / S. Firdous, B. K. Agarwal, D. K. Shahi, S. Bhushan // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 7. – P. 2676-2682.

450. Fontes, R. L. F. Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution / R. L. F. Fontes, F. R. S. Cox // *Journal of Plant Nutrition*. – 1998. – Vol. 21. – P. 1723-1730.

451. Foster, S. *Echinacea: Nature's Immune Enhancer*. – Vermont: Healing Arts Press, Rochester, 1991. – 160 p.
452. Foy, C. D. The physiology of metal toxicity in plants / C. D. Foy, R. L. Chaney, M. C. White // *Annual Review of Plant Physiology*. – 1978. – Vol. 29. – P. 511-566.
453. Gibson, R. S. Population groups at risk of zinc deficiency in Australia and New Zealand / R. S. Gibson, A. L. Heath // *Nutr. Diet.* – 2011. – P. 97-108.
454. Ghasemi-Fasael, R. Interaction of iron with copper, zinc and manganese in wheat as affected by iron and manganese in a calcareous soil / R. Ghasemi-Fasael, A. Ronaghi // *Journal of Plant Nutrition*. – 2008. – Vol. 31. – P. 839-848.
455. Ghorbanpour, M. Influence of Copper and Zinc on Growth, Metal Accumulation and Chemical Composition of Essential Oils in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) / M. Ghorbanpour, B. Asgari Lajayer, J. Hadian // *Journal of Medicinal Plants*. – 2016. – Vol. 15(59). – P. 132-144.
456. Graham, R. D. Effect of zinc deficiency on the accumulation of boron and other mineral nutrients in barley / R. D. Graham, R. M. Welch, D. L. Grunes [et al.] // *Soil Science Society of America Journal*. – 1987. – Vol. 51. – P. 642-657.
457. Grieve, M. A. *Modern herbal: The medicinal, culinary, cosmetic and economic properties, cultivation and folk-lore of herbs, grasses, fungi, shrubs and trees, with all their modern scientific uses*. – Dover, New York, NY, 1971. – 912 p.
458. Guangqiu, Q. Influence of heavy metals on the carbohydrate and phenolics in mangrove, *Aegiceras corniculatum* L., seedlings / Q. Guangqiu, Y. Chongling, L. Haoliang // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2007. – Vol. 78. – P. 440-444.
459. Gunes, A. The effect of zinc alleviating boron toxicity / A. Gunes, M. Alpaslam, Y. Cikili, H. Ozen // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. – 2000. – Vol. 24. – P. 506-509.

460. Gupta M. A Review on Purple Cone Flower (*Echinacea purpurea* L. Moench) / M. Gupta, D. Sharma, A. Sharma, V. Kumari, O. P. Goshain // Journal of Pharmacy Research. – 2012. – Vol. 5(8). – P. 4076-4081.
461. Gupta, U. Micronutrients in Soils, Crops, and Livestock / U. Gupta, K. Wu, S. Liang // Earth Science Frontiers. – 2008. – Vol. 15(5). – P. 110-125.
462. Haase, H. Zinc signals and immune function / H. Haase, L. Rink // Biofactors. – 2014. – Vol. 40. – № 1. – P. 27–40.
463. Haldar, M. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice / M. Haldar, L. N. Mandal // Plant and Soil. – 1981. – Vol. 59. – P. 415-425.
464. Hassanpour, S. Plants and secondary metabolites (*Tannins*): A Review / S. Hassanpour, N. Maheri-Sis, B. Eshratkhah, F. B. Mehmandar // International Journal of Forest, Soil and Erosion. – 2011. – Vol. 1 (1). – P. 47-53.
465. Hegazy, M. H. The Effects of Zinc Application and Cutting on Growth, Herb, Essential Oil and Flavonoids in Three Medicinal Lamiaceae Plants / M. H. Hegazy, F. M. A. Alzuaibr, A. A. Mahmoud [et al.] // European Journal of Medicinal Plants. – 2016. – Vol. 12. – P. 1-12.
466. Hemmati, A. A. Yarrow (*Achillea millefolium* L.) extract impairs the fibrogenic effect of bleomycin in rat lung / A. A. Hemmati, A. Arzi, A. Adinehvand [et al.] // Journal of Medicinal Plant Research. – 2011. – Vol. 5 (10). – P. 1843-1849.
467. Heinzer, F. Ein Beitrag zur Klassifizierung der therapeutisch verwendeten Arten der Gattung Echinacea / F. Heinzer, M. Chavanne, J. P. Meusy [et al.] // Pharm. Acta. Helv. – 1988. – Vol. 63, № 4-5. – P. 132-136.
468. Herbik, A. The involvement of a multicopper oxidase in iron uptake by the green algae *Chlamydomonas reinhardtii* / A. Herbik, C. Bölling, T. J. Buckhout // Plant Physiology. – 2002. – Vol. 130. – P. 2039-2048.
469. Heywood, V. H. A catalogue of the wild relatives of cultivated plants native to Europe / V. H. Heywood, D. Zohary // Flora Mediterranea. – 1995. – Vol. 5. – P. 375–415.

470. Hinsinger, P. and Courchesne, F. In: A. Violante, P.M. Huang, and G.M. Gadd (eds.) *Biophysico-chemical Processes of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments*. Vol. 1 Wiley-IUPAC Series Biophysico-Chemical Processes in Environmental Systems. – Chichester, UK, 2008. – 680 p.

471. Hobbs, C. *Echinacea*. A literature review / C. Hobbs // *HerbalGram*. – 1994. – Vol. 30. – P. 33–47.

472. Holetz, F. B. Screening of some plants used in the Brazilian folk medicine for the treatment of infectious diseases / F. B. Holetz, G. L. Pessini, N. R. Sanches, A. G. Cortez Diogenes, C. V. Nakamura // *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. – 2002. – Vol. 97. – P. 1027-1031.

473. Holpainen, M. A study on Tansy Chemotypes / M. Holpainen, R. Hiltunen, M. Schantz // *Planta Medica*. – 1987. – Vol. 53(3). – P. 284-287.

474. Hornok, L. The Effect of nutrients supply on peppermint yields and essential oil content / L. Hornok // *Kerteszeti Egyetem Kozlemenyei*. – 1974. – Vol. 38 (6). – P. 73-82.

475. Hu, D. Zinc and phosphorus responses in transplanted oilseed rape / D. Hu, R. W. Bell, Z. Xie // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1996. – Vol. 42. – P. 333-344.

476. Huang, C. Zinc-deficiency up-regulation expression of high affinity phosphate transporter genes in both P deficient and sufficient barley / C. Huang, S. J. Barker, P. Langridge, F. W. Smith, R. D. Graham // *Plant Physiology*. – 2000. – Vol. 124. – P. 415-422.

477. Hussein, M. Effect of zinc x boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration / M. Hussein, M. Maftoun, N. Karimian, A. Ronaghie, Y. Eman // *Journal of Plant Nutrition*. – 2007. – Vol. 30. – P. 773-781.

478. Ivanova, E. M. Biological effects of copper concentrations and their interactions in rapeseed plants / E. M. Ivanova, V. P. Kholodova, V. I. V. Kuznetsov // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2010. – Vol. 57. – P. 806-815.

479. Innocentia, G. In vitro Estrogenic Activity of *Achillea millefolium* L. / G. Innocentia, E. Vegetob, S. Dall-Acqua [et al.] // *Phytomedicine*. – 2007. – Vol. 14. – P. 147-152.
480. Jansen, F. H. The herbal tea approach for artemisinin as a therapy for malaria / F. H. Jansen // *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. – 2006. – Vol. 100(3). – P. 285-286.
481. Jurinak, J. J. Zinc solubility under alkaline conditions in a zinc-bentonite system / J. J. Jurinak, D. W. Thorne // *Soil Science Society of America Proceedings*. – 1955. – Vol. 19. – P. 446-468.
482. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – CRC Press, Boca Raton, 2001. – 403 p.
483. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. – Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – 548 p.
484. Kaiser, C. The Role of Copper and Vitamin A Deficiencies Leading to Neurological Signs in Captive Cheetahs (*Acinonyx jubatus*) and Lions (*Panthera leo*) in the United Arab Emirates / C. Kaiser, U. Wernery, J. Kinne [et al.] // *Food and Nutrition Sciences*. – 2014. – Vol. 5. – P. 1978-1990.
485. Kalyansundaram, N. K. Availability of zinc, phosphorus and calcium in soils treated with varying levels of zinc and phosphorus - A soil incubation study / N. K. Kalyansundaram, B. V. Mehta // *Plant and Soil*. – 1970. – Vol. 33. – P. 699-706.
486. Karaalp, C. Evaluation of antimicrobial properties of *Achillea* L. flower head extracts / C. Karaalp, A. N. Yurtman, N. U. K. Yavasoglu // *Pharmaceutical Biology*. – 2009. – Vol. 47 (1). – P. 86-91.
487. Kawasaki, T. Effect of calcium on the absorption of heavy metals in excised barley roots: Multi-component transport box experiment / T. Kawasaki, M. Maritsugu // *Plant and Soil*. – 1987. – Vol. 100. – P. 21-34.
488. Khan, A. The site of Zn-P interaction in plants / A. Khan, G. K. Zende // *Plant and Soil*. – 1977. – Vol. 46. – P. 259-262.

489. Khan, D. M. Studies on magnesium, boron and zinc deficiencies in acid 'Wilder' soil of California / D. M. Khan // *Plant and Soil*. – 1970. – Vol. 32. – P. 177-188.
490. Kharma, A. The Antimicrobial activity and genetic relationship of *Achillea* species / A. Kharma, D. Hassawi // *Biotechnology*. – 2006. – Vol. 5 (4). – P. 501-507.
491. Khathutshelo, M. V. Effects of Foliar Spray Application of Selected Micronutrients on the Quality of Bush Tea / M. V. Khathutshelo, N. Mpumelelo, N. Wonder, M. N. Fhatuwani // *HortScience*. – 2016. – Vol. 51(7). – P. 873–879.
492. Kim, B. Phytotoxic effects of Cu and Zn on soybeans grown in field-aged soils: Their additive and interactive actions / B. Kim, M. B. McBride // *Journal of Environmental Quality*. – 2009. – Vol. 38. – P. 2253-2258.
493. Kitagishi, K. Heavy metal pollution in soils of Japan / K. Kitahishi, I. Yamane. – Japan Science Society Press, Tokyo, 1981. – P. 1-302.
494. Knowles, R. The significance of a symbiotic dinitrogen fixation by bacteria In book: *A Treatise on Dinitrogen Fixation*. – N.Y., 1977. – P. 33-83.
495. Konopa, J. Screening of antitumor substances from plants / J. Konopa, E. Jereczek, A. Matuszkiewicz, T. Nazarewicz // *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*. – 1967. – Vol. 15. – P. 129-132.
496. Konyalioglu, S. The protective effects of *Achillea* L. species native in Turkey against H₂O₂-induced oxidative damage in human erythrocytes and leucocytes / S. Konyalioglu, C. F. Karamenderes // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2005. – Vol. 102. – P. 221-227.
497. Kordali, S. Antifungal and herbicidal properties of essential oils and n-hexane extracts of *Achillea gypsicola* Hub-Mor and *Achillea biebersteinii* Afan. (*Asteraceae*) / S. Kordali, A. Gakir, T.A. Arkin [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2000. – Vol. 29. – P. 562-570.
498. Kremper, R. The effect of zinc fertilization on the yield and element content of ryegrass / R. Kremper, S. László // *Journal of Agricultural sciences*. – 2010. – № 38. – P. 27-31.

499. Kumar, K. M. Pharmacological importance of *Echinacea purpurea* / K. M. Kumar, S. Ramaiah // International Journal of Pharma and Bio Sciences. – 2011. – Vol. 2. – № 4. – P. 304-314.

500. Kupper, H. Cellular compartmentation of cadmium and zinc in relation to other elements in the hyper-accumulator *Arabidopsis halleri* / H. Kupper, E. Lombi, F.G. Zhao, S.P. Mc Garth // Plant arum. – 2000. – Vol. 212. – P. 75-84.

501. Kutman, U. B. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in whole grain and the endosperm fraction of wheat / U. B. Kutman, B. Yidiz, I. Cakmak // Journal of Cereal Science. – 2011a. – Vol. 53. – P. 118-125.

502. Kutman, U. B. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of Zn and Fe throughout the development of durum wheat / U. B. Kutman, B. Yidiz, I. Cakmak // Plant and Soil. – 2011b. – Vol. 342. – P. 149-164.

503. Lahlou, S. Vascular effect of *Tanacetum vulgare* L. leaf extract: In vitro pharmacological study / S. Lahlou, K. C. Tangi, B. Lyoussi, N. Morel // Journal of Ethnopharmacology. – 2008. – Vol. 120. – P. 98-102.

504. Lakshimi, T. Yarrow (*Achillea millefolium* Linn.) a herbal medicinal plant with broad therapeutic use – a review / T. Lakshimi, R. V. Geetha, A. Roy, S. A. Kumar // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. – 2011. – Vol. 9 (2). – P. 136-141.

505. Lakshmanan, R. Yield and uptake of micronutrients by rice as influenced by duration of variety and nitrogen fertilization / R. Lakshmanan, R. Prasad, M. C. Jain // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2005. – Vol. 51. – P. 1-14.

506. Lanaras, T. Plant metal content, growth responses and some photosynthetic measurements on field-cultivated wheat growing on ore bodies enriched in Cu / T. Lanaras, M. Moustakas, L. Symeonidis, S. Diamantoglou, S. Karataglis // Physiologia Plantarum. – 1993. – Vol. 88. – P. 307-314.

507. Lang, E. Einfluss einer Echinacea-Fütterung auf Immunstatus und Verhalten bei Ferkeln in den ersten Lebenswochen. – Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät, 2004 – 127 p.

508. Lebourg, A. Trace metal speculation in three unbuffered salt solutions used to assess their bioavailability in soil / A. Lebourg, T. Sterckeman, H. Ciesielski, N. Proix // J. Environ. Qual. – 1998. – Vol. 27. – P. 584-590.
509. LeCain, R., Sheley, R. Common tansy (*Tanacetum vulgare*) / R. LeCain, R. Sheley. – Montana : Montana State University. – 2006. – P. 1-3.
510. Lessman, G. M. Response of *Phaseolus vulgaris* to zinc level as influenced by phosphorus level and source / G. M. Lessman, B. J. Ellis // Soil Science Society of America Proceedings. – 1971. – Vol. 35. – P. 935-938.
511. Lin, C. C. Rapid effect of copper on lignin biosynthesis in soybean roots / C. C. Lin, L. M. Chen, Z. H. Lui // Plant Science. – 2005. – Vol. 168. – P. 855-861.
512. Lindsay, W. L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soil. In book: Micronutrients in Agriculture. – Soil Science Society of America, Madison, WI, 1991. – P. 89-112.
513. Lombardi, L. Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in Vitro grown plants / L. Lombardi, L. Sebastiani // Plant Science. – 2005. – Vol. 168. – P. 797-802.
514. Loneragan, J. F. Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants / J. F. Loneragan, M. J. Webb. In: Zinc in Soils and Plants. – Dordrecht: Springer, 1993. – pp. 119-134.
515. Lopes, F. C. M. Effect of the essential oil of *Achillea millefolium* L. in the production of hydrogen peroxide and tumor necrosis factor- α in murine macrophages / F. C. M. Lopes, F. P. Benzatti, C. M. J. Junir [et al.] // Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas. – 2005. – Vol. 31 (3). – P. 401-405.
516. Lopez-Millan, A. F. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and raz mutant plants / A. F. Lopez-Millan, D. R. Ellis, M. A. Grusak // Plant Sci. – 2015. – Vol. 168. – P. 1015-1022.

517. Loponen, J. Patterns in content of phenolic compounds in leaves of mountain birches along a strong pollution gradient / J. Loponen, K. Lempa, V. Ossipov [et al.] // *Chemosphere*. – 2001. – Vol. 45. – P. 291-301.

518. Luo, X. B. Simultaneous analysis of caffeic acid derivatives and alkaloids in roots and extracts of *Echinacea purpurea* by high-performance liquid chromatography-photodiode array detection-electrospray mass spectrometry / X. B. Luo, B. Chen, S. Z. Yao, J. G. Zeng // *Journal of Chromatography A*. – 2003. – Vol. 986 (1). – P. 73–81.

519. Luo, Y. Zinc-copper interaction affecting plant growth on a metal contaminated soil / Y. Luo, D. L. Rimmer // *Environmental Pollution*. – 1995. – Vol. 88. – P. 79-83.

520. MacBride, J. F. Flora of Peru. Family Compositae. II. Tribe Anthemideae / J. F. MacBride, M. O. Dillon // *Fieldiana: Botany. New Series (USA)*. – 1981. – Vol. 7. – P. 1-21.

521. Magiatis, P. Chemical composition and in vitro antimicrobial activity of the essential oils of three Greek *Achillea* species / P. Magiatis, A.-L. Skaltsouis, S. A. Haroutounian // *Zeitschrift für Naturforschung C*. – 2002. – Vol. 57. – P. 287-290.

522. Mantle, D. Comparison of relative antioxidant activities of British medicinal plant species in vitro / D. Mantle, F. Eddeb, A. T. Pickering // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2000. – Vol. 72. – P. 47-51.

523. Maret, W. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation / W. Maret, H. H. Sandstead // *J. Trace Elem. Med. Biol.* – 2006. – Vol. 20, № 1. – P. 3–18.

524. Marschner, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence for impaired shoot control of P uptake and translocation under zinc deficiency / H. Marschner, I. Cakmak // *Physiologia Plantarum*. – 1986. – Vol. 68. – P. 491-496.

525. Marschner, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. – London: Academic Press, 2012. – 649 p.

526. McKeown, K.A. A review of the taxonomy of the genus *Echinacea*. In: J. Janick (ed.), Perspectives on new crops and new uses. – American Society for Horticultural Science Press, Alexandria, Virginia, USA, 1999. – P. 482–489.

527. Mechanda, S. M. Analysis of diversity of natural populations and commercial lines of *Echinacea* using AFLP. / S. M. Mechanda, B. R. Baum, D. A. Johnson, J. T. Arnason // Canadian Journal of Botany. – 2004. – Vol. 82(4). – P. 461–484.

528. Merrill, S. Jr. Responses of tung trees on Lakeland fine sand to less common elements / S. Jr. Merrill, G. F. Potter, R. T. Brown // Proceedings of American Society of Horticultural Science – 1953. – Vol. 62. – P. 94-102.

529. Michaud, A. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils / A. Michaud, M. Bravin, M. Galleguillos, Ph. Hinsinger // Plant & Soil. – 2007. – Vol. 298. – P. 99-111.

530. Middleton, E. J. Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function / E. J. Middleton // Adv. Exp. Med. Biol. – 1998. – Vol. 439. – P. 175–182.

531. Miller, S. C. *Echinacea* in vivo: a prophylactic agent in normal mice and a therapeutic agent in leukemic mice. In book: *Echinacea. The genus Echinacea* / S. C. Miller, H. Yu. – CRC Press, Boca Raton, 2004. – P. 150-158.

532. Mirvat, E. G. Effect of phosphorus fertilization and foliar spraying with zinc on growth, yield and quality of groundnut under reclaimed sandy soils / E.G. Mirvat, M. H. Mohamed, M. M. Tawfiq // Journal of Applied Science Research. – 2006. – Vol. 2. – P. 491-496.

533. Mishima, S. Antioxidant and immune enhancing effects of *Echinacea purpurea* / S. Mishima, K. Saito, H. Maruyama, M. Inoue, T. Yamashita, T. Ishida, Y. Gu // Biological and Pharmaceutical Bulletin. – 2004. – Vol. 27. – P. 1004–1009.

534. Mistríkova, I. *Echinacea* – chemical composition, immunostimulatory activities and uses / I. Mistríkova, S. Vaverkova // *Thaiszia - Journal of botany*. – 2006. – Vol. 16. – P. 11-26.
535. Mitich, L. W. Tansy / L. W. Mitich // *Weed Technology*. – 1992. – Vol. 6 (1). – P. 242-244.
536. Miyazawa, M. Absorption and toxicity of copper and zinc in bean plants cultivated in soil treated with chicken manure / M. Miyazawa, S. M. N. Gimenez, M. J. S. Yabe [et al.] // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2002. – Vol. 138. – P. 211-222.
537. Nair, K. P. P. Zinc-phosphorus interaction studies in maize / K. P. P. Nair, R. G. Babu // *Plant and Soil*. – 1975. – Vol. 42. – P. 517-536.
538. Nano, G.M. Piedmontese plants. II. A rare chemotype of *Tanacetum vulgare* L., abundant in Piedmont (Italy) / G. M. Nano, C. Bicchi, C. Frattini [et al.] // *Planta Medica*. – 1979. – Vol. 35. – P. 270-274.
539. Napoli, J. L. Vitamin A. Biochemistry and Physiological Role / J. L. Napoli // *Encyclopedia of Human Nutrition (Second Edition)*. – 2005. – P. 339-347.
540. Nayak, A. K. Phosphorus, zinc and organic matter interaction in relation to uptake, tissue concentration, absorption rate of phosphorus in wheat / A.K. Nayak, M. L. Gupta // *Journal of the Indian Society of Soil Science*. – 1995. – Vol. 43. – P. 633-636.
541. Nene, Y. L. Symptoms, cause and control of Khaira disease of Paddy / Y. L. Nene // *Bulletin Indian Phytopathology Society*. – 1966. – Vol. 3. – P. 97-101.
542. Niazmand, S. The effects of *Achillea wilhelmsii* extract on rat's gastric motility at basal and vagal stimulated conditions / S. Niazmand, E. Khoshnood // *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. – 2010. – Vol. 14 (2). – P. 151-157.
543. Ognyanov, I. Sesquiterpene lactones and flavonoids in flowers of *Tanacetum vulgare* / I. Ognyanov, M. Todorova // *Planta Medica*. – 1983. – Vol. 48. – P. 181-183.

544. Ozanne, P. G. The effect of nitrogen on zinc deficiency in subterranean clover / P. G. Ozanne // Australian Journal of Biological Sciences. – 1955. – Vol. 8. – P. 47-55.

545. Pande, P. Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint / P. Pande, M. Anwar, S. Chand, V. K. Yadav, D. D. Patra // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2007. – Vol. 38(5-6). – P. 561-578.

546. Panou-Filotheou, H. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*) / H. Panou-Filotheou, A. M. Bosabalidis, S. Karataglis // Annals of Botany. – 2001. – Vol. 88. – P. 207-214.

547. Panou-Filotheou, H. Root structural aspects associated with copper toxicity in oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*) / H. Panou-Filotheou, A. M. Basabalidis // Plant Science. – 2004. – Vol. 166. – P. 1497-1504.

548. Parashar, A. Recurring transformation of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit / A. Parashar, Sh. Gupta, M. A. Ansari, A. Rajawat, // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 4(5). – P. 271-278.

549. Pätsikkä, E. Excess copper predisposes photosystem II to photoinhibition in vivo by outcompeting iron and causing decrease in leaf chlorophyll / E. Pätsikkä, M. Kairavuo, F. Sersen, E-M. Aro, E. Tyystjärvi // Plant Physiol. – 2002. – Vol. 129. – P. 1359-1367.

550. Pavelkova, M. Biological role of copper as an essential trace element in the human organism / M. Pavelkova, J. Vysloužil, K. Kubova, D. Vetchy // Czech and Slovak Pharmacy. – 2018. – Vol. 67 (4). – P. 143-153.

551. Potrich, F. B. Antiulcerogenic activity of hydroalcoholic extract of *Achillea millefolium* L. involvement of the antioxidant system / F. B. Potrich, A. Allemand, L. M. da Silva [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2010. – Vol. 130. – P. 85-92.

552. Poudel, R. R. Role of zinc in insulin regulation and diabetes / R. R. Poudel, Y. Bhusal, B. Tharu, N. K. Kafle // J Soc Health Diabetes. – 2017. – Vol. 5. – P. 83-87.

553. Prasad, A. S. Discovery of human zinc deficiency: 50 years later / A. S. Prasad // J Trace Elem Med Biol. – 2012. – Vol. 26. – № 2–3. – P. 66–69.
554. Prasad, R. Interactions of Zinc with Other Nutrients in Soils and Plants - A Review / R. Prasad, Y. Singh Shivay, D. Kumar // Indian Journal of Fertilisers. – 2016. – Vol. 12 (5). – P. 16-26.
555. Printz, B. Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics / B. Printz, S. Lutts, J.-F. Hausman, K. Sergeant // Frontiers in Plant Science. – 2016. – Vol. 7. – P. 601.
556. Pullaiah, T. Encyclopedia of world medicinal plants. – Vol. 1. – Regency Publications, 2006. – 2442 p.
557. Ragažinskienė, O. Vaistinių augalų Enciklopedija / O. Ragažinskienė, S. Rimkienė, V. Sasnauskas. – Kaunas : Lututė, 2005. – 440 p.
558. Rajaie, M. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings on a calcareous soil / M. Rajaie, A. K. Ejaraie, H. R. Owlaie, A. R. Tavakoli // International Journal of Plant Production. – 2009. – Vol. 3. – P. 39-50.
559. Ražic, S. Investigation on bioavailability of some essential and toxic elements in medicinal herbs / S. Ražic, S. Dogo, L. Slavkovic // Journal of Natural Medicine. – 2008. – Vol. 62. – P. 340-344.
560. Ražić, S. S. Trace elements analysis of *Echinacea purpurea* – Herbal medicinal / S. S. Ražić, A. Onjia, B. Slavica Potkonjak // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2003. – Vol. 33(4). – P. 845-850.
561. Reavesm, G. A. Total copper content of Scottish soils / G. A. Reavesm, L. Berrow // European Journal of Soil Science. – 2006. – Vol. 35(4). – P. 583-592.
562. Rininger, J. A. In vitro immuno-pharmacology of *Echinacea*. In book: *Echinacea. The genus Echinacea* / J. A. Rininger, K. Ringer, M. Savarese. – CRC Press, Boca Raton, 2004. – P. 168-176.

563. Rogers, L. H. Zinc uptake by oats as influenced by application of lime and phosphate / L. H. Rogers, C. H. Wu // Journal of American Society of Agronomy. – 1948. – Vol. 40. – P. 563-566.

564. Rohloff J. Production of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in Norway: Essential oil content and quality / J. Rohloff, E. B. Skagen, A. H. Steen, T. H. Iversen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2000. – Vol. 48. – P. 6205-6209.

565. Rombolà, A. D. Iron deficiency-induced changes in carbon fixation and leaf elemental composition of sugar beet (*Beta vulgaris*) plants / A. D. Rombolà, Y. Gogorcena, A. Larbi, F. Morales, E. Balde, B. Marangoni, M. Tagliavini, J. Abadía // Plant Soil. – 2005. – Vol. 271. – P. 39-45.

566. Romheld, V. Genotypic differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron / V. Romheld, H. Marschner // Plant and Soil. – 1990. – Vol. 123. – P. 147-153.

567. Rosselli, S. Cytotoxic effect of Eudes-manolides isolated from flowers of *Tanacetum vulgare* ssp. *siculum*. / S. Rosselli, M. Bruno, F. M. Raimondfo [et al.] // Molecules. – 2012. – Vol. 17 (7). – P. 8186-8195.

568. Rupa, T. R. Effect of FYM and phosphorus on Zn transformations and phyto availability in two Alfisols of India / T. R. Rupa, , Rao Ch. Srinivasa, Rao A. Subba, M. Singh // Bio resource Technology. – 2003. – Vol. 87. – P. 279-288.

569. Rupa, T. R. Zinc desorption kinetics as influenced by pH and phosphorus in soils. / T. R. Rupa, K. P. Tomar // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 1999. – Vol. 30. – P. 1951-1962.

570. Sadana, U. S. Zinc equilibria in submerged soils as affected by application of amendments / U. S. Sadana, P. N. Takkar // Fertilizer Research. – 1985. – Vol. 6. – P. 91-96.

571. Said-Al Ahl, H. A. H. Effect of spraying with zinc and / or iron on growth and chemical composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) harvested at three stages of development / H. A. H. Said-Al Ahl, E. A. Omer // J. Medicinal Food Plants. – 2009. – Vol. 1(2). – P. 30-46.

572. Said-Al Ahl, H. A. H. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress / H. A. H. Said-Al Ahl, A. A. Mahmoud // Ozean Journal of Applied Sciences. – 2010. – Vol. 3(1). – P. 97-111.

573. Safaya, N. M. Differential susceptibility of corn cultivars to zinc deficiency / N. M. Safaya, A. P. Gupta // Agronomy Journal. – 1979. – Vol. 71. – P. 132-136.

574. Salama, Z. A. Genotypic variations in phenolic, flavonoids and their antioxidant activities in maize plants treated with Zn (II) HEDTA grown in salinized media / Z. A. Salama, A. A. Gaafar, M. M. El Fouly // Agricultural Sciences. – 2015. – Vol. 6. – P. 397-405.

575. Salimi1, A. Effect of salinity on quality and quantity of essential oil components and antioxidant activity in yarrow (*Achillea millefolium* L.) / A. Salimi1, V. Rowshan, E. Khanpoor // Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. – 2017. – Vol. 32(6). – P. 948-957.

576. Salvagnini, L. E. Evaluation of efficacy of preservatives associated with *Achillea millefolium* L. extract against *Bacillus subtilis* / L. E. Salvagnini, K. F. Migliato, V. L. B. Isaac [et al.] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2006. – Vol. 37. – P. 75-77.

577. Santiago, L. J. M. Compartmentation of phenolic compounds and phenylalanine ammonialyase in leaves of *Phyllanthus tenellus* Roxb. and their induction by copper sulphate / L. J. M. Santiago, R. P. Louro, D. E. Oliveira // Ann Botany. – 2000. – Vol. 86. – P. 1023-1032.

578. Santos, R. M. Influence of foliar nutrients on phenol levels in leaves of *Eugenia uniflora* / R. M. Santos, G. A. C. Fortes, P. H. Ferri, S. C. Santos // Revista Brasileira de Farmacognosia. – 2011. – Vol. 21(4). – P. 581-586.

579. Sarret, G. Accumulation forms of Zn and Pb in *Phaseolus vulgaris* in the presence of EDTA / G. Sarret, J. Vnsgronsveld, A. Manceau [et al.] // Environmental Science and Technology. – 2001. – Vol. 35. – P. 2854-2859.

580. Sauvé, S. Copper Solubility and Speciation of In Situ Contaminated Soils: Effects of Copper Level, pH and Organic Matter / S. Sauvé, M. B. McBride, W. A. Norvell, W. H. Hendershot // *Water Air and Soil Pollution*. – 1997. – V. 100 (1). – 133-149.
581. Sawan, Z. M. Influence of potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus on growth yield components, yield and fibreproperties of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.) / Z. M. Sawan, M. H. Mahmoud, A. H. El Guibali // *Journal of Plant Ecology*. – 2008. – Vol. 1. – P. 259-270.
582. Schearer, W. R. Components of oil of tansy (*Tanacetum vulgare*) that repel Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) / W.R. Schearer // *Journal of Natural Products*. – 1984. – Vol. 47. – P. 964–969.
583. Scheffer, M. C. Influence of organic fertilization on the biomass, yield and composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. / M. C. Scheffer, P. Ronzelli Junior, H. S. Koehler // *Acta Horticulturae*. – 1993. – Vol. 331. – P. 109-114.
584. Schinella, G. R. Anti-inflammatory effects of South American *Tanacetum vulgare* / G. Schinella, R. M. Giner, M. C. Recio [et al.] // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 1998. – Vol. 50 (9). – P. 1069-1074.
585. Schmidt, W. Mechanisms and regulation of reduction-based iron uptake in plants / W. Schmidt // *New Phytologist*. – 1999. – Vol. 141. – P. 1-26.
586. Seatz, L. F. Zinc availability and uptake by plants as affected by calcium and magnesium saturation and phosphorus content of the soil / L. F. Seatz // *Transactions of the Seventh International Congress of Soil Science*. – 1960. – Vol. 7(2). – P. 271-280.
587. Sestakova, H. Effect of *Echinacea* on cells involved in disease defense. In book: *Echinacea. The genus Echinacea* / H. Sestakova, B. Turek. – CRC Press, Boca Raton, 2004. – P. 163-168.
588. Shah, A. L. Sulfur and zinc interactions in low land rice / A. L. Shah, S. K. De Datta, // *Philippine Journal of Crop Science*. – 1991. – Vol. 26. – P. 15-18.

589. Sharififar, F. Immunomodulatory activity of aqueous extract of *Achillea wilhelmsii* C. Kosh. in mice / F. Sharififar, S. Pournourmohammadi, M. Arabnejad // Indian Journal of Experimental Biology. – 2009. – Vol. 47. – P. 668-671.
590. Sharma, K. Interaction of zinc and phosphorus in top and root of corn and tomato / K. Sharma, B. A. Krantz, A. L. Brown, S. Quick // Agronomy Journal. – 1986. – Vol. 80. – P. 453-456.
591. Sharma, M. *Echinacea* as an antiinflammatory agent: the influence of physiologically relevant parameters / M. Sharma, R. Schoop, J. B. Hudson // Phytother Res. – 2009. – Vol. 23(6). – P. 863-867.
592. Sheffer, S.E.B. Influence of substrate conditions of the *Phragmites australis* after a reduction in oxygen transport to belowground parts / S. E. B. Sheffer, W. Stach // Aquatic botany. – 1989. – Vol. 35. – № 1. – P. 71-80.
593. Shittu, O. S. Phosphorus-zinc interaction for soybean production in soil developed on charnockite in Ekiti State / O. S. Shittu, J. A. Ogunwale // Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Science. – 2012. – Vol. 3. – P. 938-942.
594. Shivay, Y. S. Effect of variety and zinc application on yield, profitability, protein content and zinc and nitrogen uptake by chickpea (*Cicer arietinum*) / Y.S. Shivay, R. Prasad, M. Pal // Indian Journal of Agronomy. – 2014a. – Vol. 59. – P. 317-321.
595. Shivay, Y. S. Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system / Y. S. Shivay, D. Kumar, R. Prasad // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 2008. – Vol. 81(3). – P. 229-243.
596. Shivay, Y. S. Effect of zinc fertilization on grain and protein yield, nitrogen uptake and fertilizer use efficiency in chickpea / Y.S. Shivay, R. Prasad, M. Pal // Indian Journal of Fertilizers. – 2014b. – Vol. 10 (3). – P. 24-27.
597. Shtulfaut, I. Pharmedicum / I. Shtulfaut // Spec. Issue. – 1994. – P. 16–17.
598. Shukla, A. K. Micronutrients in Soils, Plants, Animals and Humans / A. K. Shukla, S. K. Behera, A. Pakhre, S. K. Chaudhari // Indian Journal of Fertilisers. – 2018. – Vol. 14 (4). – P. 30-54.

599. Shukla, U. C. Sulphur-zinc interaction in ground nut / U. C. Shukla, K. G. Prasad // Journal of the Indian Society of Soil Science. –1979. – Vol. 27. – P. 60-64.
600. Sievers, A. F. The Herb Hunters Guide / A. F. Sievers // Miscellaneous Publication. – Washington DC, USA: US Department of Agriculture. – 1930. – Vol. 77.
601. Singh, J. P. Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply / J. P. Singh, , D. J. Dahiya, R. P. Narwal // Fertiliser Research. – 1990. – Vol. 24. – P. 105-110.
602. Singh, B. Improving zinc deficiency of cereals under zinc deficiency / B. Singh, A. M. Senthil Kumar, B. K. Singh, K. Usha // Current Science. – 2005. – Vol. 88. – P. 36-44.
603. Sinha, P. Interaction effect of boron and zinc on growth and metabolism of mustard / P. Sinha, R. Jain, C. Chatterjee // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2000. –Vol. 31. – P. 41-49.
604. Sofi Imtiyaz Ali Pharmacognosy, Phytochemistry and Pharmacological Properties of *Achillea millefolium* L.: A Review / Sofi Imtiyaz Ali, B. Gopalakrishnan, V. Venkatesalu // Phytotherapy Research. – 2017. – Vol. 31(8). – P. 1140-1161.
605. Solecki, R. S. Shanidar IV, a Neanderthal flower burial in northern Iraq / R. S. Solecki // Science. – 1975. – Vol. 190 – P. 880–881.
606. Solfanelli, C. Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in Arabidopsis / C. Solfanelli, A. Poggi, E. Loreti, A. Alpi, P. Perata // Plant Physiol. – 2006. – Vol. 140. – P. 637-646.
607. Soltanpour, P. N. Effect of N, P and Zn placement on yield and composition of potatoes / P. N. Soltanpour // Agronomy Journal. – 1969. – Vol. 61. – P. 288-289.
608. Song, C. Effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil / C. Song, M. Liu, J. Meng, M. Chi, Z. Xi, Z. Zhang // Molecules. – 2015. – Vol. 20. – P. 2536-2554.

609. Soumare, M. Distribution and Availability of Iron, Manganese, Zinc, and Copper in Four Tropical Agricultural Soils / M. Soumare, F. M. G. Tack, M. G. Verloo // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2003. – Vol. 34. – P. 7-8.

610. Srivastava, N. K. Effect of zinc deficiency on net photosynthetic rate, ¹⁴C partition, and oil accumulation in leaves of peppermint / N. K. Srivastava, A. Misra, S. Sharma // *Photosynthetica*. – 1997. – Vol. 33(1). – 71-79.

611. Stevovic, S. Environmental adaptability of tansy (*Tanacetum vulgare* L.) / S. Stevovic, V. Surcinski Mikovilovic, D. Calic-Dragosavac // *African Journal of Biotechnology*. – 2009. – Vol. 8 (22). – P. 6290-6294.

612. Sukhenko, L. T. Biologically active substances of some plants and the mechanisms of their antimicrobial activity / L. T. Sukhenko // *Natural Sciences*. – 2010. – Vol. 3. – P. 166-176.

613. Tharun G. Phytochemical and Pharmacological Review on *Echinacea* / G. Tharun, G. Ramana, R. Sandhya, M. Shravani // *Journal of Pharmacy Research*. – 2017. – Vol. 11(3). – P. 249-256.

614. Thomsen, M. Seasonal variations in the concentrations of lipophilic compounds and phenolic acids in the roots of *Echinacea purpurea* and *Echinacea pallid* / M. Thomsen, X. Frette, K. Christensen, L. Christensen, K. Grevsen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2012. – V. 60. – № 49. – P. 12131–12141.

615. Tournier, H. Effect of the Chloroform Extract of *Tanacetum vulgare* and one of its Active Principles, Parthenolide, on Experimental Gastric Ulcer in Rats / H. Tournier, G. Schinella, Elba m. de Balsa [et al.] // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 1999. – Vol. 51 (2). – P. 215–219.

616. Tripathi, D. K. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective / D. K. Tripathi, Sh. Singh, Sw. Singh [et al.] // *Acta Physiol Plant*. – 2015. – Vol. 37. – P. 139.

617. Turkoglu, I. Antioxidant and antimicrobial activities of Turkish endemic *Achillea* species / I. Turkoglu, S. Turkoglu, S. Celik, N. Kahyaoglu // *African Journal of Microbiology Research*. – 2010. – Vol. 4 (19). – P. 2034-2042.

618. Turner, R. B. Ineffectiveness of *Echinacea* for prevention of experimental rhinovirus colds / R. B. Turner, D. K. Riker, J. D. Gangemi // Antimicrobial agents and chemotherapy. – 2000. – Vol. 44. – P. 1708–1709.

619. Van de Mortel, J. E. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyper accumulator *Thlaspi caerulescens* / J. E. Van de Mortel, L. Almar-Villanueva, H. Schat [et al.] // Plant Physiology. – 2006. – Vol. 142. – P. 1127–1147.

620. Vanlauwe, B. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation / B. Vanlauwe, K. Descheemaeker, K.E. Giller [et al.] // Soil. – 2015. – Vol. 1. – P. 491-508.

621. Valença, A. W. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa Author links open overlay panel / A. W. Valença, A. Bake, I. D. Brouwer, K. E. Giller // Global Food Security. – 2017. – Vol. 12. – P. 8-14.

622. Vavoulidou, E. E. Copper Content in Agricultural Soils Related to Cropping Systems in Different Regions of Greece / E. E. Vavoulidou, E. J. Avramides, P. Papadopoulos [et al.] // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2005. – Vol. 36 (4-6). – P. 759-773.

623. Venkatazaman, G. S. Non-symbiotic nitrogen fixation / G. S. Venkatazaman // Rev. Soil Res. Inndia, 12 Int. Congr. Soil Sci. – New Dehly, 1982. – P. 205-235.

624. Verloo, V. Analytical and biological criteria with regard to soilpollution / V. Verloo, A. Cottenie., G. Landschoot // Laudwirtschaftliche Forschung – 1982. – Vol. 39. – P. 394-403.

625. Verma, T. S. Zinc and iron interaction in submerged paddy / T. S. Verma, B.R. Tripathi // Plant and Soil. – 1983. – Vol. 72. – P. 107-116.

626. Vilhelmova N. Antiviral, Cytotoxic and Antioxidant Effects of *Tanacetum vulgare* L. Crude Extract In Vitro / N. Vilhelmova, L. Simeonova, N. Nikolova [et al.] // Folia medica. – 2020. – Vol. 62(1). – P. 172-179.

627. Vilmalanatham, S. Echinacea purpurea Aerial Parts Contain Multiple Antiviral Compounds / S. Vilmalanatham, L. Kang, V. T. Amiguet, J. Livesey, J. T. Arnason, J. Hudson // *Pharmaceutical Biology*. – 2005. – Vol. 43, № 9. – P. 740–745.
628. Vitalini, S. Phenolic compounds from *Achillea millefolium* L. and their bioactivity / S. Vitalini, G. Beretta, M. Iriti [et al.] // *Acta Biochimica Polonica*. – 2011. – Vol. 58 (2). – P. 203-209.
629. Vose, P. B. Development in nonlegume N₂ - Fixing systems / P. B. Vose // *Canadian J. of Microbiology*. – 1983. – Vol. 29. – № 8. – P. 837– 850.
630. Wallace, A. Interactions involving copper toxicity and phosphorous deficiency in bush bean plants grown in solutions of low and high pH / A. Wallace, J. W. Cha // *Soil Science*. – 1989. – Vol. 147. – P. 430-431.
631. Wears, J. I. Effect of soil pH and calcium on the uptake of zinc by plant / J. I. Wears // *Soil Science*. – 1956. – Vol. 81. – P. 311-315.
632. Webb, C. J. Flora of New Zealand. Volume IV. Naturalised pteridophytes, gymnosperms, dicotyledons / C. J. Webb, W. R. Sykes, P. J. Garnock-Jones. – New Zealand: DSIR Botany Division, 1988. – 1365 p.
633. Webb, M. J. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration and phosphorus toxicity of wheat plants / M. J. Webb, J. F. Loneragan // *Soil Science Society of America Journal*. – 1988. – Vol. 52. – P. 1676-1680.
634. Welch, R. M. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv *Herta*): Studies using N-(2-hydroxyethyl) ethylenedinitrolotri acetic acid-buffered nutrient solution technique / R. M. Welch, W. A. Norvell // *Plant Physiology*. – 1993. – Vol. 101. – P. 627-631.
635. Welch, R. M. Micronutrient nutrition of plants / R. M. Welch // *Crit. Rev. Plant Sci*. – 1995. – Vol. 14. – P. 49–82.
636. Wessells, K. R. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting / K. R. Wessells, K. H. Brown // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7, № 11. – P. 505–568.

637. Williams, A. C. The flavonoids of *Tanacetum parthenium* and *Tanacetum vulgare* and their anti-inflammatory properties / A. C. Williams, J. B. Harborne, H. Geiger, J. R. S. Holst // *Phytochemistry*. – 1999. – Vol. 51. – P. 417–423.

638. Williams, C. The flavonoids of *Tanacetum parthenium* and *T. vulgare* and their anti-inflammatory properties / C. Williams, J. Harborne, Geiger [et al.] // *Phytochemistry*. – 1999. – Vol. 52(6). – P. 1181–1182.

639. Williams, C. H. Trace metals and superphosphate: toxicity problems / C. H. Williams // *Aust. Inst. Agric. Sci. J.* – 1977. – Vol. 43. – P. 99–109.

640. Wuehler, S. E. Use of national food balance data to estimate the adequacy of zinc in national food supplies: methodology and regional estimates / S. E. Wuehler, J. M. Pearson, K. H. Brown // *Public Health Nutr.* – 2005. – Vol. 8. – P. 812–819.

641. Xu, Y. F. Grain and shoot zinc accumulation in winter wheat affected by nitrogen management / Y. F. Xu, S. C. Yue, Y. Q. Zhang [et al.] // *Plant and Soil*. – 2012. – Vol. 361. – P. 153–163.

642. Yoshida, S. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils / S. Yoshida, A. Tanaka // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1969. – Vol. 15. – P. 75–80.

643. Yoshida, S. Occurrence, diagnosis and correction of zinc deficiency of low land rice / S. Yoshida, J. S. Ahn, D. A. Forne // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1973. – Vol. 19. – P. 89–93.

644. Yruela, I. Copper in plants / I. Yruela // *Brazilian Journal of Plant Physiology*. – 2005. – Vol. 17(1). – P. 145–156.

645. Zagumennikov, V. B. Accumulation of Ascorbic Acid in Fresh Echinacea Purpurea Plants and Their Processing Products / V. B. Zagumennikov, A. V. Molchanova, E. Yu. Babaeva, A. L. Petrova // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2015. – Vol. 48(10). – P. 671–674.

646. Zhang, F. Effect of zinc deficiency in wheat on the release of zinc and iron mobilizing root exudates / F. Zhang, V. Romheld, H. Marschner // *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. – 1989. – Vol. 152. – P. 205–210.

647. Zhang, F. Release of zinc mobilizing root exudates indifferent plant species as affected by zinc nutritional status / F. Zhang, V. Romheld, H. Marschner // *Journal of Plant Nutrition*. – 1991. – Vol. 14. – P. 675-686.

648. 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*. – 2020. – № 624. – E6241179.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Физические свойства лугово-черноземной маломощной малогумусовой тяжело- и среднесуглинистой почвы опытного поля Омского ГАУ

Слой почвы, см	Объемная масса, г/см ³	Удельная масса, г/см ³	Скважность, %	Аэрация, %
0-20	1,20	2,64	54,6	33,5
20-40	1,25	2,56	52,7	30,6
40-50	1,32	2,70	51,2	31,7
50-70	1,44	2,70	46,8	29,1

Приложение 2

Физико-химические свойства лугово-черноземной черноземной маломощной малогумусовой тяжело- и среднесуглинистой опытного поля Омского ГАУ

Слой почвы, см	Гумус, %	рН водной вытяжки	Сумма катионов мг экв/100	Обменные катионы мг экв/100г		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
0-5	4,92	6,7	25,22	20,4	4,8	0,01
5-15	4,91	6,5	23,22	23,3	4,9	0,02
15-30	4,91	7,1	27,72	19,8	7,9	0,02
30-50	1,70	7,4	19,82	13,4	6,4	0,02

Приложение 3

Средняя температура воздуха вегетационного периода 2012-2015 гг.

Опыт №1-2

В градусах по Цельсию

Месяц, декада	Год исследований				Среднемноголетний показатель
	2012	2013	2014	2015	
Май					
1	6,6	9,9	13,6	14,5	9,9
2	13,5	7,8	15,0	14,1	12,1
3	16,3	13,0	9,5	13,2	14,0
Средняя	12,3	10,3	12,6	13,9	12,0
Июнь					
1	20,3	13,7	12,8	20,3	16,0
2	19,8	16,9	20,4	19,4	18,3
3	21,4	19,4	21,4	20,9	18,9
Средняя	20,5	16,7	18,2	20,2	17,7
Июль					
1	20,1	16,6	19,2	16,5	19,8
2	25,6	19,3	15,4	20,7	19,7
3	22,8	21,1	14,8	18,4	18,8
Средняя	22,8	19,1	16,4	18,5	19,4
Август					
1	19,8	19,4	19,4	16,7	17,8
2	19,6	17,7	19,7	17,7	16,9
3	14,4	14,2	18,4	12,1	14,6
Средняя	17,9	17,1	19,2	15,5	16,4

Приложение 4

Количество осадков за период вегетации 2012-2015 гг. Опыт №1-2

В миллиметрах

Месяц, декада	Год исследований				Средне многолетний показатель
	2012	2013	2014	2015	
Май					
1	27,0	23,0	0,3	10,0	10,0
2	8,0	13,0	2,0	15,0	10,0
3	3,0	9,0	19,0	19,0	14,0
За месяц	38,0	45,0	21,0	44,0	34,0
Июнь					
1	14,0	5,0	3,0	18,0	14,0
2	16,0	8,0	5,0	41,0	17,0
3	17,0	0	7,0	0	22,0
За месяц	47,0	13,0	15,0	59,0	53,0
Июль					
1	2,0	24,0	20,0	29,0	21,0
2	5,0	54,0	17,0	0,7	21,0
3	1,0	21,0	19,0	24,0	25,0
За месяц	8,0	99,0	56,0	54,0	67,0
Август					
1	19,0	36,0	16,0	8,0	20,0
2	7,0	1,0	22,0	33,0	16,0
3	23,0	23,0	5,0	28,0	17,0
За месяц	49,0	60,0	43,0	69,0	53,0

Приложение 5

Температура воздуха вегетационного периода 2016-2018 гг. Опыт №3

в градусах по Цельсию

Месяц, декада	Год исследований			Среднемноголетнее значение
	2016	2017	2018	
Май				
1	8,8	10,8	5,8	9,9
2	11,9	12,9	6,7	12,1
3	17,2	15,5	10,3	14,0
Средняя	12,6	13,1	7,6	12,0
Июнь				
1	17,3	17,0	16,9	16,0
2	18,6	21,8	16,6	18,3
3	18,8	21,4	18,2	18,9
Средняя	18,2	20,1	17,2	17,7
Июль				
1	19,6	18,1	21,2	19,8
2	20,9	17,0	21,8	19,7
3	18,8	20,2	16,7	18,8
Средняя	19,8	18,4	19,9	19,4
Август				
1	19,7	19,7	17,8	17,8
2	20,9	14,5	16,9	16,9
3	17,2	20,2	13,7	14,6
Средняя	19,3	18,1	16,1	16,4
Сентябрь				
1	16,8	13,3	10,6	12,7
2	13,1	11,2	11,1	10,8
3	9,4	3,1	12,7	8,1
Средняя	13,1	9,2	11,5	10,5

Приложение 6

Количество осадков за вегетационный период 2016-2018 гг. Опыт №3

в миллиметрах

Месяц, декада	Год исследований			Среднемноголетнее значение
	2016	2017	2018	
Май				
1	2,0	7,0	25,0	10,0
2	2,0	8,0	10,0	10,0
3	1,0	11,0	37,0	14,0
Средняя	5,0	26,0	72,0	34,0
Июнь				
1	0,6	29,0	8,0	14,0
2	40,0	1,0	5,0	17,0
3	55,0	0,9	49,0	22,0
Средняя	95,6	30,9	62,0	53,0
Июль				
1	36,0	11,0	0	21,0
2	20,0	32,0	5,0	21,0
3	40,0	27,0	40,0	25,0
Средняя	96,0	70,0	45,0	67,0
Август				
1	0	10,0	10,0	20,0
2	9,0	0	18,0	16,0
3	7,0	4,0	34,0	17,0
Средняя	16,0	14,0	62,0	53,0
Сентябрь				
1	5,0	12,0	7,0	13,0
2	6,0	16,0	0,3	10,0
3	0	2,0	11,0	8,0
Средняя	11,0	30,0	17,3	31,0

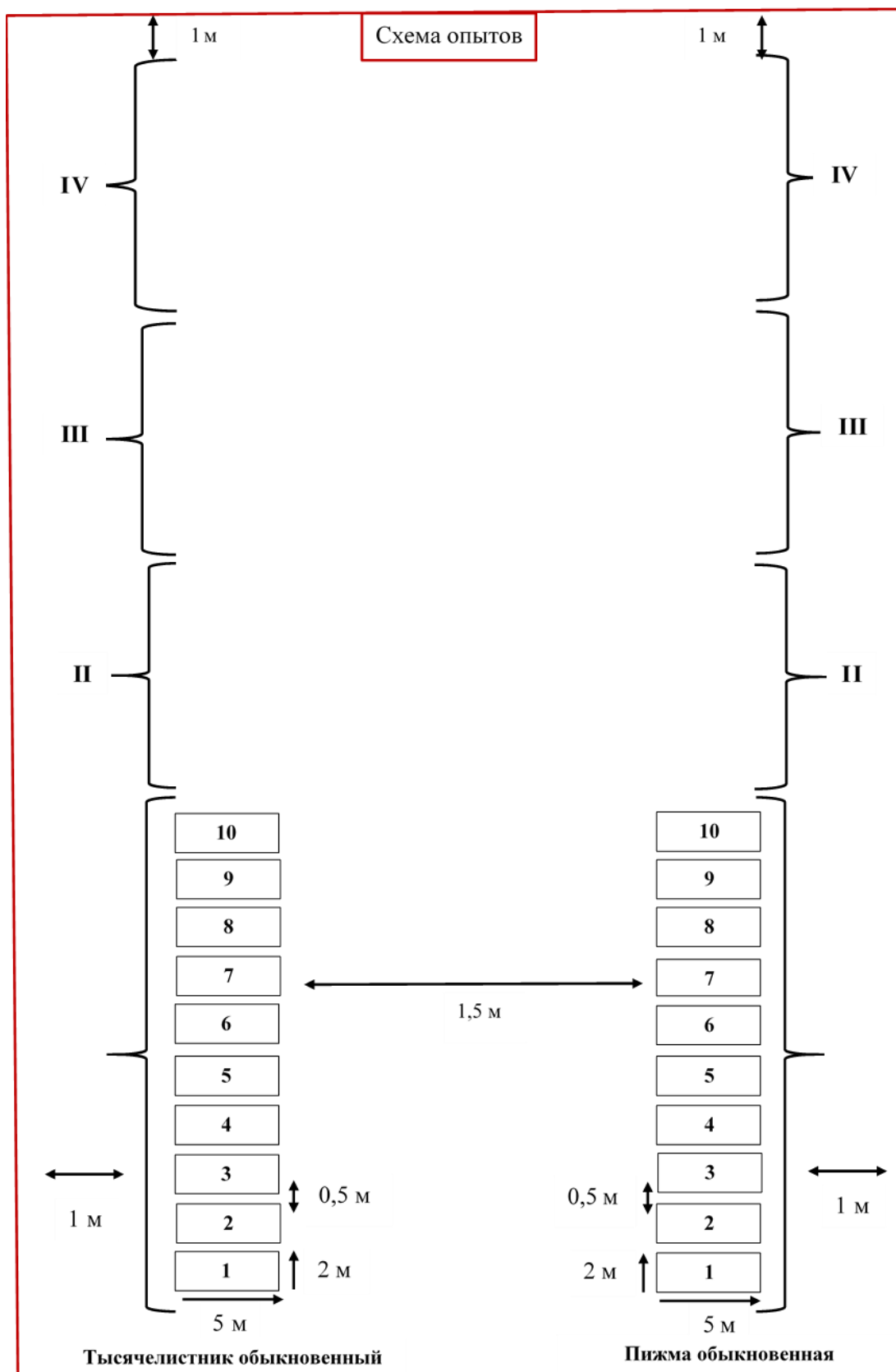


Схема опытов №1-2

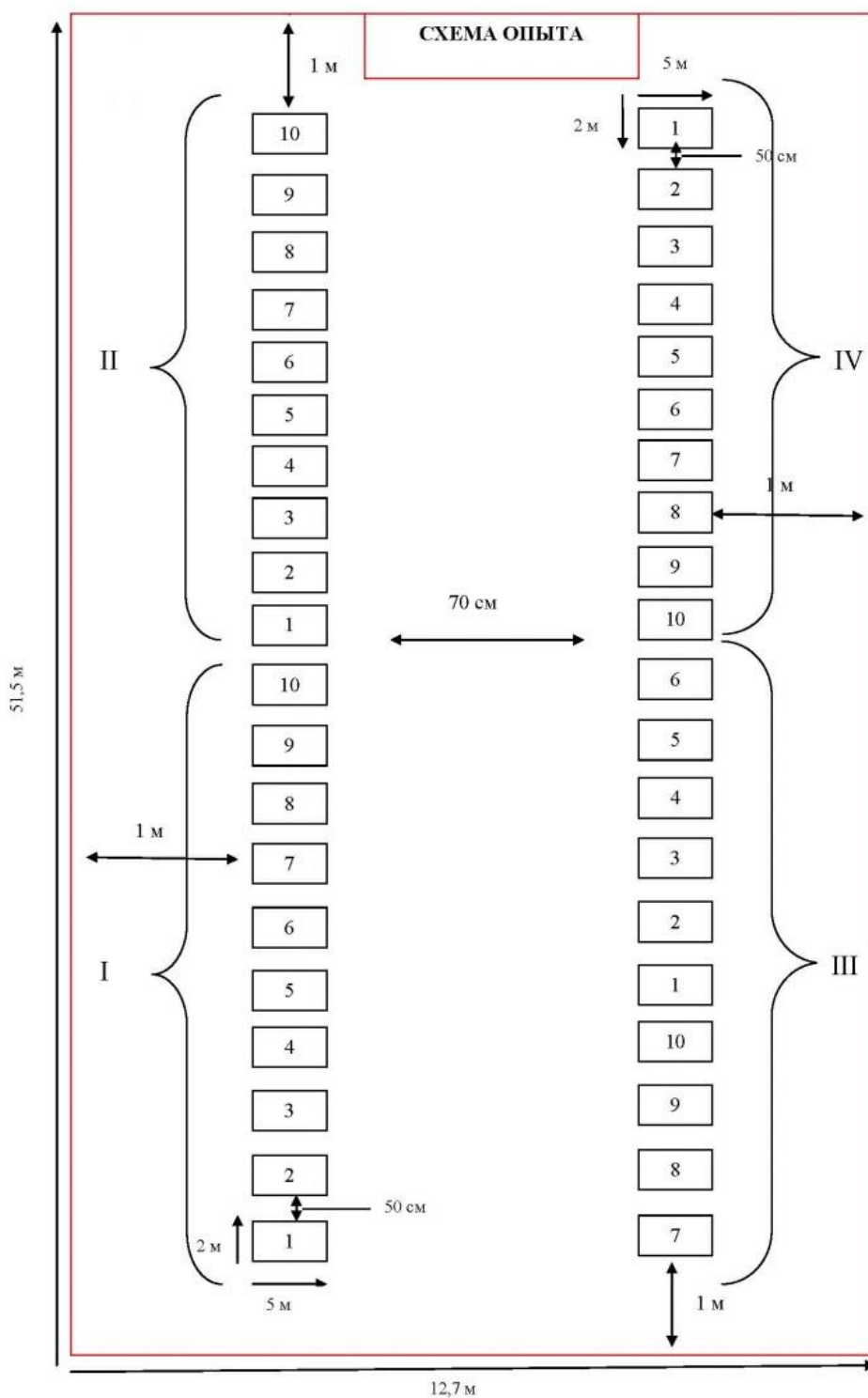


Схема опыта №3

Приложение 9

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на урожайность тысячелистника обыкновенного в пересчете на абсолютно сухое вещество. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Урожайность по годам жизни растений, т/га				Средняя урожайность, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость 1 кг д.в./га урожаем, т	
		1-й год	2-й год	3-й год	4-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		0,92±0,03	13,0±0,32	17,3±0,28	5,5±0,42	9,2±0,26	-	-	36,8±1,05	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		1,00±0,02	13,8±0,23	18,2±0,18*	4,5±0,54	9,4±0,24	$\frac{0,2}{-}$	$\frac{1,9}{-}$	37,5±0,97	$\frac{0,71}{-}$	$\frac{1,9}{-}$	-	-
Фон	Zn ₂₀	1,26±0,01*	16,0±0,01*	18,9±0,10*	7,7±0,18*	11,0±0,06*	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{19,4}{17,1}$	43,9±0,26*	$\frac{7,1}{6,4}$	$\frac{19,4}{17,1}$	0,32	-
	Zn ₄₀	1,28±0,01*	16,7±0,08*	18,9±0,10*	10,5±0,14*	11,9±0,03*	$\frac{2,7}{2,5}$	$\frac{28,9}{26,5}$	47,4±0,14*	$\frac{10,6}{9,9}$	$\frac{28,9}{26,5}$	0,25	-
	Zn ₆₀	0,88±0,03	16,9±0,10*	19,7±0,02*	12,1±0,31*	12,4±0,09*	$\frac{3,2}{3,0}$	$\frac{34,6}{32,1}$	49,5±0,37*	$\frac{12,7}{12,0}$	$\frac{34,6}{32,1}$	0,20	-
	Zn ₈₀	0,98±0,02	15,0±0,10*	18,8±0,11*	10,4±0,12*	11,3±0,03*	$\frac{2,1}{1,9}$	$\frac{22,9}{20,5}$	45,2±0,11*	$\frac{8,4}{7,7}$	$\frac{22,9}{20,5}$	0,10	-
	Cu _{2,4}	1,25±0,01*	15,8±0,01*	20,5±0,07*	8,9±0,04*	11,6±0,01*	$\frac{2,4}{2,2}$	$\frac{26,2}{23,8}$	46,4±0,02*	$\frac{9,6}{8,9}$	$\frac{26,2}{23,8}$	-	3,72
	Cu _{4,9}	1,43±0,03*	16,4±0,06*	21,3±0,17*	9,6±0,03*	12,2±0,07*	$\frac{3,0}{2,8}$	$\frac{32,6}{30,1}$	48,8±0,29*	$\frac{12,0}{11,3}$	$\frac{32,6}{30,1}$	-	2,30
	Cu _{7,2}	1,34±0,02*	17,5±0,17*	22,7±0,32*	11,3±0,22*	13,2±0,18*	$\frac{4,0}{3,8}$	$\frac{43,5}{40,8}$	52,8±0,74*	$\frac{16,0}{15,3}$	$\frac{43,5}{40,8}$	-	2,13
	Cu _{9,7}	1,43±0,03*	18,1±0,24*	21,8±0,22*	12,5±0,35*	13,4±0,21*	$\frac{4,2}{4,1}$	$\frac{46,0}{43,3}$	53,7±0,84*	$\frac{16,9}{16,2}$	$\frac{46,0}{43,3}$	-	1,67
НСР ₀₅		0,17	0,43	0,77	0,81	0,55							

Примечание: * различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0.05$

Приложение 10

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на урожайность соцветий тысячелистника обыкновенного, в пересчете на абсолютно сухое вещество. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Урожайность по годам жизни растений, т/га				Средняя урожайность, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость 1 кг д.в. урожаем, т	
		1-й год	2-й год	3-й год	4-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		0,20±0,008	3,1±0,09	3,9±0,18	3,0±0,13	2,5 ± 0,10	-	-	10,1 ± 0,41	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,25±0,003	3,5±0,04*	4,6±0,09*	3,6±0,07*	3,0 ± 0,05*	$\frac{0,5}{-}$	$\frac{18,7}{-}$	12,0 ± 0,20	$\frac{1,9}{-}$	$\frac{187}{-}$	-	-
Фон	Zn ₂₀	0,30±0,003*	4,0±0,01*	5,2±0,03*	4,4±0,02*	3,5±0,002*	$\frac{1,0}{0,5}$	$\frac{37,4}{15,8}$	13,9±0,01*	$\frac{3,8}{1,9}$	$\frac{37,4}{15,8}$	0,10	-
	Zn ₄₀	0,32±0,005*	4,3±0,05*	5,2±0,03*	4,3±0,01*	3,5 ± 0,01*	$\frac{1,0}{0,5}$	$\frac{38,9}{17,0}$	14,0±0,03*	$\frac{3,9}{2,0}$	$\frac{38,9}{17,0}$	0,05	-
	Zn ₆₀	0,18±0,01	4,2±0,04*	5,5±0,0003*	4,6±0,04*	3,6 ± 0,02*	$\frac{1,1}{0,6}$	$\frac{42,6}{20,2}$	14,4±0,07*	$\frac{4,3}{2,4}$	$\frac{42,6}{20,2}$	0,04	-
	Zn ₈₀	0,20±0,008	3,6±0,03*	6,6±0,13*	4,6±0,04*	3,8 ± 0,03*	$\frac{1,2}{0,8}$	$\frac{48,6}{25,2}$	15,0±0,14*	$\frac{4,9}{3,0}$	$\frac{48,6}{25,2}$	0,04	-
	Cu _{2,4}	0,31±0,004*	3,8±0,01*	5,2±0,03*	3,8±0,04*	3,3 ± 0,02*	$\frac{0,8}{0,3}$	$\frac{30,1}{9,6}$	13,2±0,07*	$\frac{3,0}{1,2}$	$\frac{30,1}{9,6}$	-	0,48
	Cu _{4,9}	0,37±0,01*	3,8±0,01*	5,7±0,02*	4,0±0,03*	3,5±0,0003*	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{36,6}{15,1}$	13,8±0,001*	$\frac{3,7}{1,8}$	$\frac{36,6}{15,1}$	-	0,37
	Cu _{7,2}	0,30±0,003*	4,1±0,02*	6,7±0,14*	4,8±0,07*	4,0 ± 0,06*	$\frac{1,5}{1,0}$	$\frac{57,3}{32,5}$	15,9±0,23*	$\frac{5,8}{3,9}$	$\frac{57,3}{32,5}$	-	0,54
	Cu _{9,7}	0,33±0,006*	4,3±0,05*	6,1±0,07*	5,0±0,09*	3,9 ± 0,05*	$\frac{1,4}{0,9}$	$\frac{55,8}{31,3}$	15,8±0,22*	$\frac{5,6}{3,8}$	$\frac{55,8}{31,3}$	-	0,39
НСР ₀₅		0,05	0,48	0,56	0,58	0,42							

Примечание: *различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Приложение 11

Действие и последствие цинковых и медных удобрений на урожайность пижмы обыкновенной, в пересчете на абсолютно сухое вещество. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Урожайность по годам жизни растений, т/га				Средняя урожайность, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость 1 кг д.в. урожаем, т	
		1-й год	2-й год	3-й год	4-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		0,66±0,003	13,8±0,44	25,2±0,46	15,2±0,23	13,7 ± 0,28	-	-	54,8 ± 1,14	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,55±0,02	14,3±0,39*	26,3±0,32*	15,5±0,20	14,2 ± 0,23*	$\frac{0,5}{-}$	$\frac{3,4}{-}$	56,6 ± 0,93*	$\frac{1,8}{-}$	$\frac{3,4}{-}$	-	-
Фон	Zn ₂₀	0,70±0,001	16,8±0,10*	31,3±0,23*	15,5±0,20	16,1 ± 0,02*	$\frac{2,4}{1,9}$	$\frac{17,5}{13,6}$	64,3 ± 0,07*	$\frac{9,6}{7,7}$	$\frac{17,5}{13,7}$	0,39	-
	Zn ₄₀	0,88±0,02*	18,3±0,06*	32,5±0,36*	16,5±0,08*	17,0 ± 0,09*	$\frac{3,4}{2,9}$	$\frac{24,5}{20,4}$	68,2 ± 0,36*	$\frac{13,4}{11,6}$	$\frac{24,5}{20,5}$	0,29	-
	Zn ₆₀	0,61±0,008	24,3±0,74*	33,1±0,42*	22,9±0,63*	20,2 ± 0,45*	$\frac{6,5}{6,1}$	$\frac{47,7}{42,9}$	80,9 ± 1,78*	$\frac{26,1}{24,3}$	$\frac{47,7}{42,9}$	0,40	-
	Zn ₈₀	0,48±0,02	19,3±0,18*	25,6±0,41	21,4±0,46*	16,7 ± 0,05*	$\frac{3,0}{2,6}$	$\frac{22,0}{18,0}$	66,8 ± 0,21*	$\frac{12,1}{10,2}$	$\frac{22,0}{18,1}$	0,13	-
	Cu _{2,4}	0,41±0,03	16,3±0,16*	29,9±0,07*	12,2±0,56	14,7 ± 0,17	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{7,4}{3,9}$	58,8 ± 0,69*	$\frac{4,0}{2,2}$	$\frac{7,4}{3,9}$	-	0,92
	Cu _{4,9}	0,80±0,01*	17,8±0,01*	30,0±0,08*	15,2±0,24	16,0 ± 0,03*	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{16,5}{12,7}$	63,8 ± 0,12*	$\frac{9,1}{7,2}$	$\frac{16,5}{12,8}$	-	1,47
	Cu _{7,2}	0,87±0,02*	19,3±0,18*	32,4±0,35*	18,6±0,14*	17,8 ± 0,17*	$\frac{4,1}{3,6}$	$\frac{29,9}{25,7}$	71,2 ± 0,70*	$\frac{16,4}{14,6}$	$\frac{30,0}{25,7}$	-	2,02
	Cu _{9,7}	0,91±0,03*	16,9±0,09*	26,3±0,33	19,8±0,28*	16,0 ± 0,03*	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{16,7}{12,9}$	63,9 ± 0,11*	$\frac{9,2}{7,3}$	$\frac{16,8}{13,0}$	-	0,76
НСР ₀₅		0,32	2,82	2,79	2,70	2,16							

Примечание: *различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Приложение 12

Действие и последствие цинковых и медных удобрений на урожайность сухого вещества соцветий пижмы обыкновенной. Полевой опыт 2012-2015 гг.

Вариант опыта		Урожайность по годам жизни растений, т/га				Средняя урожайность, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 4 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость 1 кг д.в. урожая, т	
		1-й год	2-й год	3-й год	4-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		0,16±0,007	4,2±0,20	6,3±0,23	2,6±0,09	3,3±0,13	-	-	13,2±0,53	-	-	-	-
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		0,18±0,004	4,9±0,12*	6,4±0,22	2,7±0,08	3,5±0,11*	$\frac{0,2}{-}$	$\frac{6,6}{-}$	14,1±0,43*	$\frac{0,9}{-}$	$\frac{6,6}{-}$	-	-
Фон	Zn ₂₀	0,21±0,001*	5,6±0,04*	8,6±0,03*	2,9±0,05	4,3±0,02*	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{30,7}{22,6}$	17,3±0,07*	$\frac{4,1}{3,2}$	$\frac{30,7}{22,6}$	0,16	-
	Zn ₄₀	0,30±0,009*	7,2±0,14*	10,2±0,21*	3,9±0,05*	5,4±0,10*	$\frac{2,1}{1,9}$	$\frac{63,1}{53,0}$	21,6±0,40*	$\frac{8,3}{7,5}$	$\frac{63,1}{53,0}$	0,19	-
	Zn ₆₀	0,22±0,00001*	7,7±0,19*	12,4±0,46*	4,0±0,07*	6,1±0,18*	$\frac{2,8}{2,6}$	$\frac{84,3}{72,9}$	24,4±0,72*	$\frac{11,1}{10,3}$	$\frac{84,3}{72,9}$	0,17	-
	Zn ₈₀	0,14±0,009	6,7±0,09*	7,2±0,13*	2,9±0,06*	4,2±0,03*	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{28,3}{20,4}$	17,0±0,11*	$\frac{3,7}{2,9}$	$\frac{28,3}{20,4}$	0,04	-
	Cu _{2,4}	0,15±0,008	5,4±0,07*	8,2±0,02*	3,4±0,0002*	4,3±0,02*	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{29,2}{21,2}$	17,1±0,10*	$\frac{3,9}{3,0}$	$\frac{29,2}{21,2}$	-	1,25
	Cu _{4,9}	0,25±0,003*	6,1±0,02*	8,7±0,04*	3,8±0,04*	4,7±0,02*	$\frac{1,4}{1,2}$	$\frac{42,5}{33,7}$	18,8±0,10*	$\frac{5,6}{4,8}$	$\frac{42,5}{33,7}$	-	0,96
	Cu _{7,2}	0,27±0,006*	6,5±0,06*	9,0±0,07*	4,4±0,11*	5,0±0,06*	$\frac{1,7}{1,5}$	$\frac{52,6}{43,2}$	20,2±0,25*	$\frac{7,0}{6,1}$	$\frac{52,6}{43,2}$	-	0,84
	Cu _{9,7}	0,32±0,01*	5,4±0,06*	6,6±0,20	3,6±0,02*	4,0±0,06*	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20,4}{12,9}$	15,9±0,23*	$\frac{2,7}{1,8}$	$\frac{20,4}{12,9}$	-	0,19
НСР ₀₅		0,05	1,1	0,77	0,64	0,64							

Примечание: *различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Приложение 13

Действие и последствие цинковых и медных удобрений на урожайность эхинацеи пурпурной, в пересчете на абсолютно сухое вещество. Полевой опыт 2016-2018 гг.

Вариант опыта		Урожайность по годам жизни растений, т/га			Средняя урожайность, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 3 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость, 1 кг д.в. урожай, т	
		1-й год	2-й год	3-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		1,5±0,03	10,1±0,29	11,0±0,40	7,5 ± 0,24	-	-	22,6 ± 0,72	-	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)		1,4±0,04	11,2±0,17*	12,1±0,28*	8,2 ± 0,16*	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{9,3}{-}$	24,7 ± 0,48*	$\frac{2,1}{-}$	$\frac{9,3}{-}$	-	-
Фон	Zn _{10,7}	1,8±0,006**	11,5±0,14*	13,0±0,17**	8,8 ± 0,10*	$\frac{1,2}{0,5}$	$\frac{16,3}{7,0}$	26,3 ± 0,30**	$\frac{3,7}{1,6}$	$\frac{16,4}{6,5}$	0,15	-
	Zn _{21,4}	1,9±0,02**	12,5±0,02**	15,4±0,09**	9,9 ± 0,03**	$\frac{2,4}{1,7}$	$\frac{31,9}{20,7}$	29,8 ± 0,09**	$\frac{7,2}{5,1}$	$\frac{31,9}{20,7}$	0,24	-
	Zn _{32,4}	1,8±0,006**	9,2±0,39	12,1±0,28*	7,7 ± 0,22	$\frac{0,2}{-}$	$\frac{2,3}{-}$	23,1 ± 0,66	$\frac{0,5}{-}$	$\frac{2,2}{-}$	-	-
	Zn _{42,8}	1,5±0,03	9,9±0,31	12,3±0,25*	7,9 ± 0,20	$\frac{0,4}{-}$	$\frac{4,9}{-}$	23,7 ± 0,59	$\frac{1,1}{-}$	$\frac{4,9}{-}$	-	-
	Cu _{2,3}	1,6±0,02	12,2±0,06**	15,2±0,07**	9,7 ± 0,0007**	$\frac{2,1}{1,4}$	$\frac{28,3}{19,0}$	29,0 ± 0,002**	$\frac{6,4}{4,3}$	$\frac{28,3}{17,4}$		1,87
	Cu _{4,7}	1,8±0,006**	14,7±0,22**	16,9±0,26**	11,1 ± 0,16**	$\frac{3,6}{2,9}$	$\frac{47,8}{35,2}$	33,4 ± 0,49**	$\frac{10,8}{8,7}$	$\frac{47,8}{35,2}$		1,85
	Cu _{7,0}	2,1±0,04**	17,3±0,51**	18,6±0,45**	12,7 ± 0,33**	$\frac{5,1}{4,4}$	$\frac{68,1}{53,8}$	38,0 ± 1,00**	$\frac{15,4}{13,3}$	$\frac{68,1}{53,9}$		1,90
	Cu _{9,4}	2,1±0,04**	18,5±0,65**	19,0±0,50**	13,2 ± 0,39**	$\frac{5,7}{5,0}$	$\frac{75,3}{60,4}$	39,6 ± 1,18**	$\frac{17,0}{14,9}$	$\frac{75,2}{60,3}$		1,59
HCP ₀₅		0,10	0,40	0,32								

Примечание: * – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

" – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Приложение 14

Действие и последствие цинковых и медных удобрений на урожайность сухого вещества соцветий и корневищ эхинацеи пурпурной. Полевой опыт 2016-2018 гг.

Вариант опыта		Урожай- ность корневищ, т/га	Урожайность соцветий по годам жизни растений, т/га		Средняя урожайность соцветий, т/га	Прибавка к контролю / фону		Общая урожайность за 2 года, т/га	Прибавка к контролю / фону		Окупаемость, 1 кг д.в. удобрений урожаем, т	
		3-й год	2-й год	3-й год		т/га	%		т/га	%	Zn	Cu
Контроль (без удобрений)		7,9±0,25	1,5±0,10	2,2±0,20	1,9 ± 0,21	-	-	3,7 ± 0,43	-	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)		8,4±0,19*	1,4±0,11	2,4±0,18	1,9 ± 0,21	-	-	3,8 ± 0,41	$\frac{0,10}{-}$	$\frac{2,7}{-}$	-	-
Фон	Zn _{10,7}	8,8±0,15**	2,2±0,02**	4,2±0,02**	3,2 ± 0,003**	$\frac{1,4}{1,3}$	$\frac{73,0}{68,4}$	6,4 ± 0,002**	$\frac{2,7}{2,6}$	$\frac{73,0}{68,4}$	0,24	-
	Zn _{21,4}	10,5±0,04**	2,8±0,05**	4,8±0,09**	3,8 ± 0,09**	$\frac{2,0}{1,9}$	$\frac{105,4}{100,0}$	7,6 ± 0,19**	$\frac{3,9}{3,8}$	$\frac{105,4}{100,0}$	0,18	-
	Zn _{32,4}	8,7±0,16**	1,9±0,05**	3,6±0,05**	2,8 ± 0,07**	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{48,7}{44,7}$	5,5 ± 0,14**	$\frac{1,8}{1,7}$	$\frac{48,7}{44,7}$	0,05	-
	Zn _{42,8}	8,5±0,18**	1,7±0,07**	3,2±0,09**	2,5 ± 0,11**	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{32,4}{29,0}$	4,9 ± 0,24**	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{32,4}{29,0}$	0,03	-
	Cu _{2,3}	10,8±0,08**	2,2±0,02**	3,3±0,08**	2,8 ± 0,07**	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{48,7}{44,7}$	5,5 ± 0,14**	$\frac{1,8}{1,7}$	$\frac{48,7}{44,7}$	-	0,74
	Cu _{4,7}	11,8±0,19**	2,5±0,02**	4,7±0,07**	3,6 ± 0,06**	$\frac{1,8}{1,7}$	$\frac{94,6}{89,5}$	7,2 ± 0,13**	$\frac{3,5}{3,4}$	$\frac{94,6}{89,5}$	-	0,72
	Cu _{7,0}	12,7±0,29**	3,5±0,13**	5,8±0,20**	4,7 ± 0,23**	$\frac{2,8}{2,8}$	$\frac{151,4}{144,7}$	9,3 ± 0,46**	$\frac{5,6}{5,5}$	$\frac{151,4}{144,7}$	-	0,79
	Cu _{9,4}	13,1±0,33**	3,9±0,17**	6,1±0,23**	5,0 ± 0,28**	$\frac{3,2}{3,1}$	$\frac{170,3}{163,2}$	10,0 ± 0,57**	$\frac{6,3}{6,2}$	$\frac{170,3}{163,2}$	-	0,66
НСР ₀₅			0,19	0,25								

Примечание: * – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;

'' – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Приложение 15

Расчетные дозы макро- и 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				
N-NO ₃	9	N	135	$D_N = \frac{1215}{N-NO_3}$
P ₂ O ₅	60	P	45	$D_P = \frac{2700}{P_2 O_5}$
K ₂ O	138	K	45	$D_K = \frac{6210}{K_2 O}$
Zn	0,65	Zn	60	$D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$
Cu	0,08	Cu	9,7	$D_{Cu} = \frac{0,78}{Cu}$
Пижма обыкновенная				
N-NO ₃	9	N	135	$D_N = \frac{1215}{N-NO_3}$
P ₂ O ₅	60	P	45	$D_P = \frac{2700}{P_2 O_5}$
K ₂ O	138	K	45	$D_K = \frac{6210}{K_2 O}$
Zn	0,65	Zn	60	$D_{Zn} = \frac{39}{Zn}$
Cu	0,08	Cu	7,2	$D_{Cu} = \frac{0,58}{Cu}$
Эхинацея пурпурная				
N-NO ₃	12,5	N	125	$D_N = \frac{1563}{N-NO_3}$
P ₂ O ₅	109,8	P	-	—
K ₂ O	247	K	-	—
Zn	1,1	Zn	21,4	$D_{Zn} = \frac{23,5}{Zn}$
Cu	0,10	Cu	9,4	$D_{Cu} = \frac{0,94}{Cu}$

Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве под тысячелистником обыкновенным в фазу отрастания, мг/кг ($M \pm SEM$, $n = 24$)

Вариант		Период исследований			
		год действия	год последствия		
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Цинк					
Контроль		$0,8 \pm 0,06$	$1,2 \pm 0,06$	$0,9 \pm 0,11$	$1,6 \pm 0,06$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$1,0 \pm 0,03$	$1,3 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,10$	$1,7 \pm 0,05$
Фон	Zn ₂₀	$1,1 \pm 0,02$	$1,1 \pm 0,08$	$1,1 \pm 0,08$	$2,1 \pm 0,01$
	Zn ₄₀	$1,5 \pm 0,04$	$1,7 \pm 0,01$	$1,9 \pm 0,03$	$2,5 \pm 0,06$
	Zn ₆₀	$1,6 \pm 0,06$	$2,8 \pm 0,17$	$3,1 \pm 0,20$	$2,7 \pm 0,09$
	Zn ₈₀	$1,3 \pm 0,01$	$1,7 \pm 0,01$	$2,1 \pm 0,06$	$1,7 \pm 0,05$
Медь					
Контроль		$0,09 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,004$	$0,09 \pm 0,007$	$0,09 \pm 0,004$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$0,10 \pm 0,001$	$0,11 \pm 0,003$	$0,12 \pm 0,002$	$0,11 \pm 0,001$
Фон	Cu _{2,4}	$0,10 \pm 0,001$	$0,12 \pm 0,001$	$0,13 \pm 0,001$	$0,11 \pm 0,001$
	Cu _{4,9}	$0,11 \pm 0,0002$	$0,13 \pm 0,0002$	$0,14 \pm 0,0005$	$0,12 \pm 0,0002$
	Cu _{7,2}	$0,12 \pm 0,002$	$0,14 \pm 0,002$	$0,16 \pm 0,003$	$0,13 \pm 0,002$
	Cu _{9,7}	$0,13 \pm 0,003$	$0,17 \pm 0,006$	$0,18 \pm 0,006$	$0,15 \pm 0,005$

Приложение 17

Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве под пижмой обыкновенной в фазу
отрастания, мг/кг ($M \pm SEM$, $n = 24$)

Вариант		Период исследований			
		год действия	год последействия		
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Цинк					
Контроль		$0,67 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,18$	$0,89 \pm 0,46$	$1,9 \pm 0,78$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$0,71 \pm 0,01$	$0,9 \pm 0,15$	$1,0 \pm 0,44$	$1,7 \pm 0,81$
Фон	Zn ₂₀	$0,74 \pm 0,001$	$1,3 \pm 0,09$	$1,5 \pm 0,37$	$3,3 \pm 0,58$
	Zn ₄₀	$0,77 \pm 0,003$	$1,9 \pm 0,002$	$7,0 \pm 0,42$	$15,0 \pm 1,11$
	Zn ₆₀	$0,79 \pm 0,01$	$5,0 \pm 0,45$	$8,8 \pm 0,68$	$19,2 \pm 1,72$
	Zn ₈₀	$0,82 \pm 0,01$	$1,7 \pm 0,03$	$5,3 \pm 0,18$	$2,8 \pm 0,65$
Медь					
Контроль		$0,09 \pm 0,004$	$0,11 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,007$
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		$0,10 \pm 0,003$	$0,12 \pm 0,008$	$0,18 \pm 0,007$	$0,13 \pm 0,003$
Фон	Cu _{2,4}	$0,11 \pm 0,001$	$0,17 \pm 0,001$	$0,24 \pm 0,002$	$0,14 \pm 0,001$
	Cu _{4,9}	$0,13 \pm 0,001$	$0,19 \pm 0,002$	$0,26 \pm 0,005$	$0,14 \pm 0,001$
	Cu _{7,2}	$0,14 \pm 0,003$	$0,21 \pm 0,005$	$0,29 \pm 0,009$	$0,18 \pm 0,004$
	Cu _{9,7}	$0,15 \pm 0,004$	$0,27 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,007$

Приложение 18

Содержание подвижных форм цинка и меди в лугово-чернозёмной почве при выращивании эхинацеи пурпурной в фазу отрастания, мг/кг ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Период исследований					
		2016 г.		2017 г.		2018 г.	
		Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Контроль		$0,11 \pm 0,002$	$1,8 \pm 0,42$	$0,13 \pm 0,01$	$1,7 \pm 0,65$	$0,15 \pm 0,04$	$1,2 \pm 0,33$
N ₁₂₅ (Фон)		$0,12 \pm 0,001$	$1,7 \pm 0,43$	$0,14 \pm 0,01$	$1,6 \pm 0,66$	$0,50 \pm 0,003$	$1,1 \pm 0,34$
Фон	Zn _{10,7}	$0,14 \pm 0,001$	$5,6 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,008$	$8,7 \pm 0,13$	$0,52 \pm 0,001$	$4,2 \pm 0,004$
	Zn _{21,4}	$0,17 \pm 0,005$	$6,9 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,01$	$9,9 \pm 0,26$	$0,54 \pm 0,001$	$5,3 \pm 0,13$
	Zn _{32,4}	$0,11 \pm 0,002$	$8,5 \pm 0,33$	$0,23 \pm 0,0001$	$13,2 \pm 0,63$	$0,56 \pm 0,003$	$6,4 \pm 0,25$
	Zn _{42,8}	$0,10 \pm 0,003$	$11,6 \pm 0,67$	$0,22 \pm 0,001$	$18,0 \pm 1,17$	$0,59 \pm 0,007$	$7,5 \pm 0,37$
	Cu _{2,3}	$0,09 \pm 0,004$	$2,9 \pm 0,30$	$0,16 \pm 0,008$	$3,3 \pm 0,47$	$0,51 \pm 0,002$	$3,0 \pm 0,13$
	Cu _{4,7}	$0,10 \pm 0,003$	$4,1 \pm 0,16$	$0,20 \pm 0,003$	$4,7 \pm 0,32$	$0,58 \pm 0,006$	$3,5 \pm 0,07$
	Cu _{7,0}	$0,14 \pm 0,001$	$5,3 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,0001$	$6,2 \pm 0,15$	$0,64 \pm 0,01$	$4,3 \pm 0,02$
	Cu _{9,4}	$0,19 \pm 0,007$	$7,3 \pm 0,19$	$0,35 \pm 0,01$	$8,1 \pm 0,06$	$0,70 \pm 0,02$	$5,1 \pm 0,11$

Приложение 19

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании тысячелистника
обыкновенного в фазу отрастания

В мг/кг

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		8	76	130	6	80	176	6	70	99	3	62	85	6	72	123
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		11	80	145	7	85	207	7	84	88	3,5	63	88	7	78	132
Фон	Zn ₂₀	13	83	130	10	90	186	7	87	126	4	52	106	9	78	137
	Zn ₄₀	13	98	145	11	98	229	7	89	136	4	48	123	9	83	158
	Zn ₆₀	13	89	130	14	98	264	8	91	140	4	47	128	10	81	166
	Zn ₈₀	9	101	145	13	85	196	8	94	126	4	47	103	9	82	143
	Cu _{2,4}	12	105	130	8	90	196	7	94	101	4	44	94	8	83	130
	Cu _{4,9}	13	99	145	7	100	202	8	98	124	4	48	105	8	86	144
	Cu _{7,2}	13	113	130	10	120	224	8	101	131	5	62	103	9	99	147
	Cu _{9,7}	17	135	145	10	140	261	10	122	118	5	90	118	11	122	161

Приложение 20

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании тысячелистника
обыкновенного в фазу цветения

В мг/кг

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		16	82	97	8	83	92	7	60	86	2	39	70	8	66	86
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		18	89	98	8	84	105	8	63	106	2	41	79	9	69	97
Фон	Zn ₂₀	20	93	100	8	89	115	7	67	123	4	41	84	10	73	106
	Zn ₄₀	21	100	106	9	94	135	9	60	125	5	52	85	11	77	113
	Zn ₆₀	22	112	115	9	106	150	9	57	116	6	57	86	12	83	117
	Zn ₈₀	30	116	108	11	89	127	9	51	102	6	56	84	14	78	105
	Cu _{2,4}	18	98	99	8	88	113	7	68	108	4	43	79	9	74	100
	Cu _{4,9}	21	108	115	8	93	118	8	71	110	5	47	80	11	80	106
	Cu _{7,2}	22	116	108	9	101	136	8	79	118	6	51	84	11	87	112
	Cu _{9,7}	23	116	114	9	113	141	8	66	115	6	56	84	12	88	114

Приложение 21

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании пижмы обыкновенной
в фазу отрастания

В мг/кг

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		5	77	87	13	84	150	5	94	140	2	40	113	6	74	123
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		11	81	98	18	98	170	7	91	155	3	47	102	10	79	131
Фон	Zn ₂₀	14	83	106	20	118	210	7	92	200	5	64	131	11	89	162
	Zn ₄₀	16	89	116	21	125	235	7	94	215	5	75	129	12	96	174
	Zn ₆₀	15	95	123	24	130	250	11	105	230	5	98	152	14	107	189
	Zn ₈₀	11	109	128	23	132	200	8	85	190	5	64	125	12	97	161
	Cu _{2,4}	9	81	105	19	133	230	8	99	205	4	53	119	10	91	165
	Cu _{4,9}	11	91	109	22	135	232	8	104	210	4	56	131	11	97	171
	Cu _{7,2}	13	105	134	25	135	233	12	113	218	4	59	140	14	103	181
	Cu _{9,7}	17	100	138	22	138	246	11	125	199	4	54	133	14	104	179

Приложение 22

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании пижмы обыкновенной
в фазу цветения

В мг/кг

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		18	86	97	7	85	140	3	70	130	2	56	80	8	74	112
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		23	91	100	7	87	160	5	76	150	2	67	88	9	80	125
Фон	Zn ₂₀	29	104	123	9	89	200	7	81	195	3	71	90	12	86	152
	Zn ₄₀	25	107	124	9	101	220	7	84	210	4	75	93	11	92	162
	Zn ₆₀	29	121	128	10	110	245	6	90	220	5	93	97	12	103	173
	Zn ₈₀	23	92	133	11	119	191	5	91	185	5	83	97	11	96	152
	Cu _{2,4}	31	91	122	12	94	195	7	91	190	4	77	91	13	88	150
	Cu _{4,9}	32	114	127	15	99	205	10	96	200	4	79	95	15	97	157
	Cu _{7,2}	35	119	133	15	99	214	12	98	210	5	74	111	17	98	167
	Cu _{9,7}	26	104	144	12	117	221	9	101	185	5	72	100	13	98	163

Приложение 23

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании эхинацеи пурпурной в фазу отрастания

В мг/кг

Вариант		2016 г.			2017 г.			2018 г.			В среднем за 2016-2018 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		9	74	111	16	41	96	8	30	93	11	48	100
N ₁₂₅ (Фон)		12	99	136	22	53	130	10	28	99	15	60	121
Фон	Zn _{10,7}	17	104	174	26	73	143	12	31	111	18	69	142
	Zn _{21,4}	22	116	184	28	79	176	13	32	122	21	76	161
	Zn _{32,4}	15	111	162	26	56	161	10	41	107	17	69	143
	Zn _{42,8}	14	97	133	24	56	164	7	41	99	15	65	132
	Cu _{2,3}	14	119	166	25	55	227	9	40	93	16	71	162
	Cu _{4,7}	15	122	176	28	59	219	10	40	103	18	74	166
	Cu _{7,0}	16	152	201	31	64	211	11	49	128	19	88	180
	Cu _{9,4}	16	157	199	32	69	200	11	52	134	20	92	178

Приложение 24

Содержание минеральных форм элементов питания в лугово-черноземной почве при возделывании эхинацеи пурпурной в фазу цветения

В мг/кг

Вариант		2016 г.			2017 г.			2018 г.			В среднем за 2016-2018 гг.		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		8	89	101	12	32	100	8	33	84	10	52	95
N ₁₂₅ (Фон)		14	100	100	14	39	120	11	48	85	13	62	102
Фон	Zn _{10,7}	20	194	103	14	43	183	18	64	89	18	100	125
	Zn _{21,4}	25	232	133	22	55	205	25	72	91	24	120	143
	Zn _{32,4}	18	225	156	24	42	209	21	80	108	21	116	157
	Zn _{42,8}	18	263	202	17	48	240	17	61	93	17	124	178
	Cu _{2,3}	16	130	157	15	46	173	12	67	93	14	81	141
	Cu _{4,7}	17	136	184	19	55	215	15	73	97	17	88	165
	Cu _{7,0}	17	182	217	25	61	220	17	80	100	20	108	179
	Cu _{9,4}	23	195	245	28	62	232	19	80	107	23	112	195

Приложение 25

Зависимость содержания макроэлементов в почве в фазу цветения от разового
внесения цинковых и медных удобрений в опыте тысячелистником
обыкновенным

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	Коэффициент корреляции (r)
1-й (2012 г.)	$Y_N = 0,07 \text{ Zn} + 18,36$	0,07	r = 0,99
	$Y_N = 0,58 \text{ Cu} + 17,60$	0,58	r = 0,96
	$Y_P = 0,38 \text{ Zn} + 87,22$	0,38	r = 0,97
	$Y_P = 2,98 \text{ Cu} + 90,76$	2,98	r = 0,97
	$Y_K = 0,28 \text{ Zn} + 96,25$	0,28	r = 0,97
	$Y_K = 1,70 \text{ Cu} + 98,35$	1,70	r = 0,82
2-й (2013 г.)	$Y_N = 0,02 \text{ Zn} + 7,90$	0,02	r = 0,89
	$Y_N = 0,12 \text{ Cu} + 7,80$	0,12	r = 0,86
	$Y_P = 0,36 \text{ Zn} + 82,6$	0,36	r = 0,96
	$Y_P = 2,93 \text{ Cu} + 81,6$	2,93	r = 0,97
	$Y_K = 0,78 \text{ Zn} + 103,0$	0,78	r = 0,99
	$Y_K = 3,92 \text{ Cu} + 103,7$	3,92	r = 0,97
3-й (2014 г.)	$Y_N = 0,03 \text{ Zn} + 7,50$	0,03	r = 0,67
	$Y_N = 0,04 \text{ Cu} + 7,60$	0,04	r = 0,36
	$Y_P = -0,13 \text{ Zn} + 65,5$	-0,13	r = 0,76
	$Y_P = 0,69 \text{ Cu} + 66,04$	0,69	r = 0,43
	$Y_K = 0,16 \text{ Zn} + 112,7$	0,16	r = 0,48
	$Y_K = 1,15 \text{ Cu} + 105,8$	1,15	r = 0,88
4-й (2015 г.)	$Y_N = 0,07 \text{ Zn} + 2,30$	0,07	r = 0,98
	$Y_N = 0,41 \text{ Cu} + 2,60$	0,41	r = 0,94
	$Y_P = 0,30 \text{ Zn} + 38,9$	0,30	r = 0,95
	$Y_P = 1,57 \text{ Cu} + 40,0$	1,57	r = 0,99
	$Y_K = 0,11 \text{ Zn} + 80,2$	0,11	r = 0,91
	$Y_K = 0,62 \text{ Cu} + 78,21$	0,62	r = 0,91
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_N = 0,05 \text{ Zn} + 9,0$	0,05	r = 0,99
	$Y_N = 0,33 \text{ Cu} + 8,80$	0,33	r = 0,95
	$Y_P = 0,23 \text{ Zn} + 68,6$	0,23	r = 0,99
	$Y_P = 2,10 \text{ Cu} + 69,41$	2,10	r = 0,98
	$Y_K = 0,34 \text{ Zn} + 98,2$	0,34	r = 0,99
	$Y_K = 1,90 \text{ Cu} + 96,61$	1,90	r = 0,99

Зависимость содержания макроэлементов в почве в фазу цветения от разового внесения цинковых и медных удобрений в опыте пижмой обыкновенной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	r, η
1-й (2012 г.)	$Y_N = 0,07 \text{ Zn} + 24,26$	0,07	r = 0,63
	$Y_N = 1,50 \text{ Cu} + 24,79$	1,50	r = 0,94
	$Y_P = 0,48 \text{ Zn} + 91,30$	0,48	r = 0,98
	$Y_P = 4,52 \text{ Cu} + 87,39$	4,52	r = 0,93
	$Y_K = 0,42 \text{ Zn} + 106,15$	0,42	r = 0,86
	$Y_K = 4,32 \text{ Cu} + 104,70$	4,32	r = 0,94
2-й (2013 г.)	$Y_N = 0,05 \text{ Zn} + 7,4$	0,05	r = 0,92
	$Y_N = 1,12 \text{ Cu} + 8,17$	1,12	r = 0,93
	$Y_P = 0,41 \text{ Zn} + 84,6$	0,41	r = 0,97
	$Y_P = 1,71 \text{ Cu} + 88,56$	1,71	r = 0,94
	$Y_K = 1,38 \text{ Zn} + 165,0$	1,38	r = 0,99
	$Y_K = 7,15 \text{ Cu} + 167,6$	7,15	r = 0,94
3-й (2014 г.)	$Y_N = 0,02 \text{ Zn} + 5,8$	0,02	r = 0,40
	$Y_N = 1,0 \text{ Cu} + 4,89$	1,0	r = 0,99
	$Y_P = 0,23 \text{ Zn} + 76,0$	0,23	r = 0,99
	$Y_P = 2,95 \text{ Cu} + 79,55$	2,95	r = 0,92
	$Y_K = 1,13 \text{ Zn} + 160,0$	1,13	r = 0,94
	$Y_K = 7,89 \text{ Cu} + 158,89$	7,89	r = 0,93
4-й (2015 г.)	$Y_N = 0,05 \text{ Zn} + 2,0$	0,05	r = 0,99
	$Y_N = 0,37 \text{ Cu} + 2,40$	0,37	r = 0,92
	$Y_P = 0,41 \text{ Zn} + 64,2$	0,41	r = 0,92
	$Y_P = 0,97 \text{ Cu} + 70,75$	0,97	r = 0,57
	$Y_K = 0,16 \text{ Zn} + 87,14$	0,16	r = 0,98
	$Y_K = 3,02 \text{ Cu} + 84,98$	3,02	r = 0,92
средние данные (2012-2015 гг.)	$Y_N = 0,04 \text{ Zn} + 9,89$	0,04	r = 0,86
	$Y_N = 0,97 \text{ Cu} + 10,08$	0,97	r = 0,98
	$Y_P = 0,38 \text{ Zn} + 78,98$	0,38	r = 0,98
	$Y_P = 2,57 \text{ Cu} + 81,40$	2,57	r = 0,96
	$Y_K = 0,77 \text{ Zn} + 129,9$	0,77	r = 0,97
	$Y_K = 5,52 \text{ Cu} + 129,74$	5,52	r = 0,96

Зависимость содержания макроэлементов в почве в фазу цветения от разового внесения цинковых и медных удобрений в опыте эхинацей пурпурной

Год жизни культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент интенсивности действия «b»	r, η
1-й (2016 г.)	$Y_N = 0,53 \text{ Zn} + 13,94$	0,07	r = 0,63
	$Y_N = 0,81 \text{ Cu} + 13,51$	1,50	r = 0,94
	$Y_P = 3,32 \text{ Zn} + 131,47$	0,48	r = 0,98
	$Y_P = 10,27 \text{ Cu} + 100,69$	4,52	r = 0,93
	$Y_K = 2,39 \text{ Zn} + 87,71$	0,42	r = 0,86
	$Y_K = 14,89 \text{ Cu} + 111,01$	4,32	r = 0,94
2-й (2017 г.)	$Y_N = 0,35 \text{ Zn} + 13,13$	0,35	r = 0,87
	$Y_N = 1,62 \text{ Cu} + 12,72$	1,62	r = 0,97
	$Y_P = 0,75 \text{ Zn} + 37,61$	0,75	r = 0,96
	$Y_P = 2,56 \text{ Cu} + 40,52$	2,56	r = 0,97
	$Y_K = 3,97 \text{ Zn} + 126,93$	3,97	r = 0,96
	$Y_K = 14,62 \text{ Cu} + 130,82$	14,62	r = 0,95
3-й (2018 г.)	$Y_N = 0,67 \text{ Zn} + 10,94$	0,67	r = 0,99
	$Y_N = 0,90 \text{ Cu} + 10,37$	0,90	r = 0,99
	$Y_P = 1,10 \text{ Zn} + 49,64$	1,10	r = 0,98
	$Y_P = 3,21 \text{ Cu} + 54,37$	3,21	r = 0,92
	$Y_K = 0,25 \text{ Zn} + 85,57$	0,25	r = 0,99
	$Y_K = 2,10 \text{ Cu} + 86,75$	2,10	r = 0,99
средние данные (2016-2018 гг.)	$Y_N = 0,52 \text{ Zn} + 12,67$	0,52	r = 0,99
	$Y_N = 1,11 \text{ Cu} + 12,20$	1,11	r = 0,99
	$Y_P = 1,29 \text{ Zn} + 76,74$	1,29	r = 0,87
	$Y_P = 5,35 \text{ Cu} + 65,20$	5,35	r = 0,98
	$Y_K = 1,73 \text{ Zn} + 104,08$	1,73	r = 0,99
	$Y_K = 9,49 \text{ Cu} + 111,96$	9,49	r = 0,97

Оптимальные уровни содержания подвижных форм Zn и Cu

в слое почвы 0-30 см

Культура	Год жизни растений	«b», мг/кг		Оптимальное содержание, мг/кг		Оптимальное соотношение, мг/кг
		Zn	Cu	Zn	Cu	
Тысячелистник обыкновенный		Цинковое питание (Zn ₆₀)				
	1 год (2012 г.)	0,01	-	1,6	-	-
	2 год (2013 г.)	0,03	-	2,8	-	-
	3 год (2014 г.)	0,04	-	3,1	-	-
	4 год (2015 г.)	0,02	-	2,7	-	-
	в среднем за 4 года	0,02	-	2,5	0,14	Zn мг/кг ≈ 18 Cu
		Медное питание (Cu _{9,7})				
	1 год (2012 г.)	-	0,003	-	0,13	-
	2 год (2013 г.)	-	0,006	-	0,17	-
	3 год (2014 г.)	-	0,006	-	0,18	-
	4 год (2015 г.)	-	0,004	-	0,15	-
	в среднем за 4 года	-	0,005	2,0	0,17	Zn мг/кг ≈ 12 Cu
Пижма обыкновенная		Цинковое питание (Zn ₆₀)				
	1 год (2012 г.)	0,001	-	0,8	-	-
	2 год (2013 г.)	0,007	-	5,0	-	-
	3 год (2014 г.)	0,14	-	8,8	-	-
	4 год (2015 г.)	0,32	-	19,2	-	-
	в среднем за 4 года	0,13	-	8,5	0,20	Zn мг/кг ≈ 43 Cu
		Медное питание (Cu _{7,2})				
	1 год (2012 г.)	-	0,006	-	0,14	-
	2 год (2013 г.)	-	0,012	-	0,21	-
	3 год (2014 г.)	-	0,015	-	0,29	-
	4 год (2015 г.)	-	0,006	-	0,18	-
	в среднем за 4 года	-	0,01	3,8	0,21	Zn мг/кг ≈ 18 Cu
Эхинацея пурпурная		Цинковое питание (Zn _{21,4})				
	1 год (2016 г.)	0,24	0,002	6,9	0,17	Zn мг/кг ≈ 41 Cu
	2 год (2017 г.)	0,39	0,009	9,9	0,33	Zn мг/кг ≈ 30 Cu
	3 год (2018 г.)	0,19	0,002	5,3	0,54	Zn мг/кг ≈ 10 Cu
	в среднем за 3 года	0,28	0,005	7,4	0,35	Zn мг/кг ≈ 21 Cu
		Медное питание (Cu _{9,4})				
	1 год (2016 г.)	0,58	0,008	7,2	0,20	Zn мг/кг ≈ 36 Cu
	2 год (2017 г.)	0,68	0,02	8,1	0,35	Zn мг/кг ≈ 23 Cu
	3 год (2018 г.)	0,40	0,02	5,1	0,70	Zn мг/кг ≈ 7 Cu
	в среднем за 3 года	0,54	0,02	6,8	0,41	Zn мг/кг ≈ 17 Cu

Приложение 29

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов тысячелистником обыкновенным

Вариант		Вынос, кг/га									Вынос единиц продукции, кг/т		
		2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.		в среднем за годы исследований		в среднем за годы исследований	
		Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,009	0,002	0,14	0,038	0,17	0,052	0,05	0,011	0,09	0,026	0,0010	0,0027
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		0,012	0,002	0,18	0,035	0,19	0,036	0,05	0,009	0,11	0,021	0,0011	0,0024
Фон	Zn ₂₀	0,025	0,010	0,34	0,040	0,55	0,076	0,15	-	0,27	0,042	0,022	0,0053
	Zn ₄₀	0,032	0,012	0,45	0,047	0,61	0,076	0,23	-	0,33	0,045	0,026	0,0061
	Zn ₆₀	0,026	0,011	0,52	0,051	0,71	0,079	0,27	-	0,38	0,047	0,030	0,0071
	Zn ₈₀	0,033	0,018	0,53	0,045	0,73	0,075	0,24	-	0,38	0,046	0,033	0,0088
	Cu _{2,4}	0,025	0,003	0,33	0,049	0,55	0,082	-	0,019	0,30	0,038	0,023	0,0033
	Cu _{4,9}	0,029	0,004	0,35	0,072	0,62	0,128	-	0,025	0,33	0,057	0,023	0,0046
	Cu _{7,2}	0,027	0,004	0,42	0,117	0,73	0,181	-	0,032	0,39	0,08	0,025	0,0064
	Cu _{9,7}	0,029	0,008	0,49	0,148	0,70	0,218	-	0,039	0,41	0,10	0,026	0,0084

Приложение 30

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов пижмой обыкновенной

Вариант		Вынос, кг/га										Вынос единицей продукции, кг/т	
		2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.		в среднем за годы исследований		в среднем за годы исследований	
		Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,013	0,007	0,303	0,034	0,503	0,075	0,122	0,021	0,235	0,034	0,017	0,0042
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		0,009	0,006	0,356	0,036	0,500	0,082	0,125	0,020	0,248	0,036	0,017	0,0044
Фон	Zn ₂₀	0,025	0,008	0,554	0,034	0,626	0,094	0,236	-	0,360	0,045	0,026	0,0057
	Zn ₄₀	0,031	0,012	0,639	0,046	0,877	0,114	0,269	-	0,454	0,057	0,028	0,0065
	Zn ₆₀	0,043	0,010	1,069	0,085	0,893	0,132	0,403	-	0,602	0,076	0,040	0,0077
	Zn ₈₀	0,043	0,008	0,909	0,068	0,818	0,102	0,493	-	0,566	0,059	0,048	0,0083
	Cu _{2,4}	0,008	0,004	0,570	0,041	0,627	0,093	-	0,018	0,402	0,039	0,025	0,0043
	Cu _{4,9}	0,023	0,008	0,624	0,052	0,720	0,100	-	0,026	0,456	0,047	0,029	0,0045
	Cu _{7,2}	0,030	0,009	0,752	0,068	0,875	0,136	-	0,033	0,552	0,062	0,034	0,0049
	Cu _{9,7}	0,042	0,012	0,762	0,071	0,814	0,118	-	0,036	0,539	0,059	0,041	0,0060

Приложение 31

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос микроэлементов эхинацей пурпурной

Вариант		Вынос, кг/га								Вынос единицей продукции, кг/т	
		2016 г.		2017 г.		2018 г.		в среднем за годы исследований		в среднем за годы исследований	
		Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль		0,008	0,003	0,041	0,020	0,044	0,021	0,031	0,015	0,004	0,0021
N ₁₂₅ (Фон)		0,007	0,003	0,047	0,021	0,052	0,023	0,035	0,016	0,005	0,0021
Фон	Zn _{10,7}	0,014	0,005	0,098	0,021	0,221	0,023	0,111	0,016	0,011	0,0021
	Zn _{21,4}	0,016	0,006	0,134	0,035	0,288	0,033	0,146	0,025	0,013	0,0027
	Zn _{32,4}	0,018	0,009	0,111	0,031	0,238	0,027	0,122	0,022	0,014	0,0035
	Zn _{42,8}	0,017	0,010	0,149	0,039	0,260	0,031	0,142	0,027	0,016	0,0044
	Cu _{2,3}	0,011	0,005	0,113	0,034	0,207	0,030	0,110	0,023	0,010	0,0025
	Cu _{4,7}	0,014	0,005	0,209	0,057	0,306	0,034	0,176	0,032	0,013	0,0028
	Cu _{7,0}	0,019	0,005	0,265	0,083	0,366	0,062	0,217	0,050	0,015	0,0035
	Cu _{9,4}	0,021	0,005	0,381	0,107	0,395	0,091	0,266	0,068	0,017	0,0043

Приложение 32

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов тысячелистником обыкновенным

Вариант		Вынос, кг/га											Вынос единиц продукции, кг/т			
		2012 г.			2013 г.			2014 г.			в среднем за годы исследований			в среднем за годы исследований		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		12,2	16,7	15,2	404,2	50,9	327,3	466,3	79,4	247,0	294,2	49,0	196,5	23,8	8,9	18,6
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		16,7	19,9	20,0	585,0	78,8	355,4	516,0	112,7	279,8	372,6	70,5	218,4	29,1	10,6	20,4
Фон	Zn ₂₀	23,6	21,3	26,5	521,3	62,6	402,6	583,4	108,0	325,8	376,1	64,0	251,6	27,3	8,8	21,1
	Zn ₄₀	29,1	24,1	28,2	750,6	83,4	463,7	618,7	111,6	363,3	466,1	73,0	285,1	33,5	9,9	23,0
	Zn ₆₀	22,3	19,5	19,4	789,0	92,7	529,4	646,5	129,7	383,2	485,9	80,6	310,7	35,0	11,4	24,3
	Zn ₈₀	17,6	18,4	23,0	606,8	75,1	417,6	634,8	116,4	300,5	419,7	70,0	247,0	30,7	10,0	22,4
	Cu _{2,4}	25,0	24,4	25,6	676,2	61,6	380,8	636,0	116,6	345,6	445,7	67,5	250,7	31,3	9,7	20,5
	Cu _{4,9}	29,6	28,7	30,0	711,4	64,1	415,7	688,3	125,7	366,5	476,4	72,8	270,7	32,1	10,0	21,2
	Cu _{7,2}	29,5	27,3	29,5	778,3	75,2	486,2	739,4	145,2	399,2	515,7	82,6	305,0	33,0	10,4	22,5
	Cu _{9,7}	32,5	29,5	32,9	812,7	124,6	476,8	765,6	150,1	371,9	536,9	101,4	293,9	34,3	11,5	22,2

Приложение 33

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов пижмой обыкновенной

Вариант		Вынос, кг/га												Вынос единиц продукции, кг/т		
		2012 г.			2013 г.			2014 г.			в среднем за годы исследований			в среднем за годы исследований		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		15,5	5,9	34,7	440,3	78,4	381,2	515,6	98,1	455,2	323,8	60,8	290,4	25,33	6,17	32,77
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		13,4	5,1	36,3	484,5	94,1	411,8	552,9	113,2	524,0	350,3	70,8	324,0	26,43	6,70	38,27
Фон	Zn ₂₀	17,5	6,4	48,3	587,7	115,9	535,6	688,6	150,2	666,7	431,3	90,8	416,9	27,33	6,97	40,73
	Zn ₄₀	22,4	8,3	62,5	666,9	133,4	615,7	766,3	162,4	724,1	485,2	101,4	467,4	28,50	7,23	42,33
	Zn ₆₀	17,3	6,2	48,8	899,1	194,4	862,7	826,5	181,8	757,1	581,0	127,5	556,2	30,13	7,87	46,13
	Zn ₈₀	12,0	4,7	34,1	638,2	137,3	646,0	679,9	117,6	493,3	443,4	86,5	391,1	28,20	7,17	41,23
	Cu _{2,4}	9,2	3,9	25,4	578,3	115,7	511,5	743,3	143,3	647,7	443,6	87,6	394,9	27,63	7,10	38,37
	Cu _{4,9}	20,5	7,7	51,2	660,1	135,6	601,2	749,8	158,9	656,8	476,8	100,7	436,4	29,20	7,50	39,87
	Cu _{7,2}	23,4	8,5	59,1	752,3	140,8	684,8	871,8	178,3	742,2	549,2	109,2	495,4	30,93	7,53	42,10
	Cu _{9,7}	25,2	8,4	61,0	677,2	116,8	611,2	709,0	126,0	606,6	470,5	83,7	426,3	31,57	6,97	42,07

Приложение 34

Влияние различных доз цинковых и медных удобрений на вынос макроэлементов эхинацей пурпурной

Вариант		Вынос, кг/га												Вынос единиц продукции, кг/т		
		2016 г.			2017 г.			2018 г.			в среднем за годы исследований			в среднем за годы исследований		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		53,7	5,0	91,27	130,29	30,3	316,0	249,7	39,6	173,4	144,56	24,97	193,6	23,8	3,3	36,0
N ₁₂₅ (Фон)		51,8	4,9	89,57	137,76	29,12	357,2	308,6	48,4	196,6	166,05	27,47	214,4	24,9	3,4	37,4
Фон	Zn _{10,7}	69,12	5,94	129,90	154,1	35,65	365,3	321,1	55,9	222,1	181,44	32,50	239,1	25,5	3,6	40,3
	Zn _{21,4}	74,1	7,03	137,12	180,0	38,75	410,6	348,0	75,5	296,5	200,70	40,43	281,4	25,3	3,9	41,4
	Zn _{32,4}	70,74	8,28	129,90	140,76	23,92	335,5	318,2	61,7	225,7	176,57	31,30	230,3	27,0	4,1	42,4
	Zn _{42,8}	54,9	5,85	108,25	151,47	27,72	302,6	278,0	72,6	229,4	161,46	35,39	213,4	24,8	4,2	40,5
	Cu _{2,3}	64,64	6,72	113,54	163,48	37,82	393,5	335,9	63,8	265,2	188,01	36,11	257,4	25,3	3,8	40,2
	Cu _{4,7}	75,06	7,56	127,73	199,92	45,57	486,5	381,9	77,7	305,1	218,96	43,61	306,4	26,0	4,0	40,7
	Cu _{7,0}	87,57	9,45	151,55	249,12	55,36	601,6	465,0	91,1	358,1	267,23	51,97	370,4	27,0	4,2	42,1
	Cu _{9,4}	100,8	10,5	159,65	284,9	64,75	679,0	370,5	102,6	379,5	252,07	59,28	406,1	27,6	4,6	44,2

Приложение 35

Коэффициенты использования питательных элементов тысячелистником обыкновенным из почвы

Год использования	Вариант опыта	Содержание в почве, кг/га					Вынос, кг/га					КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
1 год	Контроль	109,39	294,01	348,77	2,81	0,32	53,7	16,7	15,2	0,009	0,002	17,5	5,64	4,35	0,33	0,62
	Фон	117,68	321,01	352,51	3,64	0,36	51,8	20,0	20,5	0,012	0,002	20,5	6,21	5,67	0,33	0,56
	Фон+Zn ₆₀	151,34	404,10	412,49	5,76	-	70,7	19,5	19,4	0,026	-	21,9	4,85	4,68	0,46	-
	Фон+ Cu _{9,7}	182,88	418,50	408,74	-	0,47	100,8	25,5	32,9	-	0,008	28,2	7,05	8,01	-	1,77
2 год	Контроль	155,32	140,62	468,0	4,18	0,36	130,3	49,6	326,0	0,14	0,038	93,4	17,0	98,8	3,28	10,56
	Фон	165,20	147,17	522,0	4,50	0,40	137,8	80,2	355,4	0,18	0,035	95,3	26,1	94,0	3,96	8,84
	Фон+Zn ₆₀	172,08	205,31	583,2	10,00	-	140,8	91,0	529,4	0,52	-	96,1	24,3	98,0	5,22	-
	Фон+ Cu _{9,7}	314,10	201,10	626,4	-	0,61	284,9	79,5	258,3	-	0,148	96,2	30,6	93,9	-	24,20
3 год	Контроль	278,18	297,00	355,50	3,13	0,32	249,7	77,7	247,0	0,17	0,052	94,9	36,8	79,8	5,46	16,05
	Фон	336,10	303,01	315,00	3,56	0,43	308,6	114,5	279,8	0,19	0,036	94,7	49,7	73,3	5,25	8,33
	Фон+Zn ₆₀	352,11	380,99	504,00	11,16	-	318,2	129,7	383,2	0,71	-	95,2	63,2	91,8	6,34	-
	Фон+ Cu _{9,7}	404,05	406,01	425,27	-	0,65	370,5	150,1	371,9	-	0,22	96,4	63,2	89,8	-	33,56
4 год	Контроль	-	-	-	5,62	0,32	-	-	-	0,05	0,011	-	-	-	0,89	3,40
	Фон	-	-	-	6,12	0,40	-	-	-	0,05	0,009	-	-	-	0,74	2,27
	Фон+Zn ₆₀	-	-	-	9,68	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	2,78	-
	Фон+ Cu _{9,7}	-	-	-	-	0,54	-	-	-	-	0,004	-	-	-	-	7,15
средние данные	Контроль	214,90	243,88	390,76	4,10	0,32	178,5	91,6	193,6	0,09	0,023	88,8	18,1	59,5	2,22	6,95
	Фон	244,76	257,06	396,50	4,46	0,40	204,5	117,7	225,9	0,11	0,020	90,1	24,9	58,9	2,37	5,16
	Фон+Zn ₆₀	256,21	330,13	499,90	9,14	-	207,6	142,1	302,9	0,37	-	91,0	24,4	68,0	4,03	-
	Фон+ Cu _{9,7}	413,08	341,87	486,80	-	0,61	364,8	133,3	249,3	-	0,094	91,8	28,6	66,2	-	15,38

Приложение 36

Коэффициенты использования питательных элементов пижмой обыкновенной из почвы

Год использования	Вариант опыта	Содержание в почве, кг/га					Вынос, кг/га					КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
1 год	Контроль	79,9	308,6	348,8	2,41	0,32	15,5	5,9	34,7	0,01	0,007	19,4	1,9	9,9	0,52	2,16
	Фон	96,8	236,3	360,0	2,56	0,36	13,4	5,1	36,3	0,009	0,006	13,8	1,5	10,1	0,34	1,67
	Фон+Zn ₆₀	121,3	437,2	461,3	2,84	-	15,5	6,2	48,8	0,04	-	12,8	1,4	10,6	1,50	-
	Фон+ Cu _{7,2}	144,7	428,6	478,1	-	0,50	19,6	8,5	53,9	-	0,009	13,6	2,0	12,3	-	1,73
2 год	Контроль	449,9	202,5	504,0	2,56	0,40	440,3	78,4	326,0	0,30	0,034	94,3	25,6	75,6	11,84	8,59
	Фон	504,0	240,0	576,0	3,13	0,43	484,5	94,1	355,4	0,36	0,036	94,9	30,0	71,5	11,37	8,33
	Фон+Zn ₆₀	918,9	333,8	882,0	17,96	-	899,1	194,4	529,4	1,07	-	96,2	49,1	97,8	5,95	-
	Фон+ Cu _{7,2}	794,7	266,3	770,4	-	0,76	752,3	140,8	425,0	-	0,068	93,3	39,5	88,9	-	8,93
3 год	Контроль	542,4	304,5	468,0	3,20	0,58	515,6	98,1	455,2	0,50	0,075	98,2	38,9	97,3	15,7	13,02
	Фон	578,8	314,2	540,0	3,56	0,65	552,9	113,2	524,0	0,50	0,082	96,6	41,4	97,0	14,04	12,65
	Фон+Zn ₆₀	861,6	396,0	792,0	31,75	-	826,3	181,8	757,1	0,89	-	97,7	56,1	95,6	2,81	-
	Фон+ Cu _{7,2}	925,7	357,4	756,0	-	1,04	871,8	178,3	742,2	-	0,136	95,4	50,5	98,2	-	13,04
4 год	Контроль	-	-	-	6,70	0,40	-	-	-	0,12	0,021	-	-	-	1,84	5,37
	Фон	-	-	-	5,98	0,47	-	-	-	0,12	0,020	-	-	-	2,10	4,29
	Фон+Zn ₆₀	-	-	-	69,12	-	-	-	-	0,40	-	-	-	-	0,58	-
	Фон+ Cu _{7,2}	-	-	-	-	0,65	-	-	-	-	0,033	-	-	-	-	5,16
средние данные	Контроль	367,3	271,9	440,26	3,71	0,43	323,8	60,8	193,6	0,24	0,058	90,6	21,0	65,9	6,38	13,43
	Фон	404,9	293,5	492,00	3,82	0,47	350,3	70,8	225,9	0,24	0,062	89,1	23,2	65,9	6,31	13,25-
	Фон+Zn ₆₀	615,9	389,0	711,76	30,42	-	581,0	127,5	302,9	0,80	-	91,6	33,1	78,2	2,64	-
	Фон+ Cu _{7,2}	590,7	350,7	668,17	-	0,76	549,2	109,2	294,7	-	0,087	88,2	28,8	74,1	-	11,47

Приложение 37

Коэффициенты использования питательных элементов эхинацей пурпурной из почвы

Год использования	Вариант опыта	Содержание в почве, кг/га					Вынос, кг/га					КИП, %				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
1 год	Контроль	29,8	321,0	364,7	6,48	0,40	53,7	5,0	91,3	0,008	0,004	64,3	1,5	25,0	0,12	0,87
	Фон	49,9	360,0	360,7	6,12	0,43	51,8	4,9	89,6	0,007	0,003	50,9	1,4	24,8	0,12	0,79
	Фон+Zn _{21,4}	90,9	834,9	480,2	24,84	0,61	74,1	7,0	137,1	0,016	0,006	44,9	0,8	26,8	0,07	0,93
	Фон+ Cu _{9,4}	81,8	701,2	883,0	26,28	0,68	100,8	10,5	159,7	0,021	0,005	55,2	1,5	18,1	0,08	0,69
2 год	Контроль	43,1	116,2	360,0	6,12	0,47	130,3	30,3	316,0	0,007	0,02	75,1	26,1	87,8	0,68	4,32
	Фон	51,6	140,1	432,0	5,62	0,50	137,8	29,1	357,2	0,008	0,02	72,8	20,8	82,7	0,84	4,22
	Фон+Zn _{21,4}	78,4	198,2	738,0	35,64	1,19	180,0	38,8	410,6	0,004	0,04	69,7	19,5	55,6	0,38	2,95
	Фон+ Cu _{9,4}	102,3	221,9	834,1	29,16	1,26	284,9	64,8	679,0	0,013	0,11	73,6	29,2	81,4	1,31	8,49
3 год	Контроль	29,9	119,9	301,1	4,28	1,44	249,7	39,6	173,4	0,04	0,02	89,3	33,0	57,6	1,03	1,45
	Фон	39,0	173,8	307,4	3,96	1,80	308,6	48,4	196,6	0,05	0,02	88,8	27,8	63,9	1,31	1,28
	Фон+Zn _{21,4}	90,7	258,4	326,4	18,97	1,94	348,0	75,5	296,5	0,29	0,03	79,3	29,2	90,8	1,52	1,72
	Фон+ Cu _{9,4}	68,0	286,2	383,4	18,36	2,52	370,5	102,6	379,5	0,40	0,09	84,5	35,8	99,0	2,15	3,62
средние данные	Контроль	34,3	185,7	341,9	5,63	0,77	178,5	25,0	193,6	0,03	0,016	83,9	13,4	56,6	0,59	2,02
	Фон	46,8	224,7	366,7	5,23	0,91	204,5	27,5	214,4	0,04	0,017	81,4	12,2	58,5	0,71	1,87
	Фон+Zn _{21,4}	86,07	430,6	514,9	26,48	1,25	250,8	40,4	381,4	0,13	0,026	74,3	9,4	54,7	0,47	2,11
	Фон+ Cu _{9,4}	84,0	403,1	700,2	24,60	1,49	364,8	59,3	406,1	0,23	0,056	81,3	14,7	58,0	0,92	3,79

Приложение 38

Содержание валовых макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания в зависимости от доз микроудобрений, %

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			В среднем за 2012-2014 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		2,0	0,80	3,3	5,0	0,20	3,5	3,6	0,32	1,6	3,5	0,44	2,8
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		2,2	0,90	3,5	5,2	0,25	3,6	4,0	0,44	1,8	3,8	0,53	3,0
Фон	Zn ₂₀	1,7	0,68	3,5	5,3	0,26	3,7	4,6	0,42	2,0	3,9	0,45	3,1
	Zn ₄₀	1,8	0,87	4,6	6,4	0,28	3,7	4,9	0,44	2,3	4,4	0,53	3,5
	Zn ₆₀	2,1	0,89	4,8	6,6	0,34	3,9	4,9	0,49	2,3	4,5	0,57	3,7
	Zn ₈₀	2,0	0,87	4,2	6,0	0,25	3,4	5,0	0,47	1,9	4,3	0,53	3,2
	Cu _{2,4}	1,8	0,85	3,3	5,3	0,24	3,5	4,7	0,42	2,0	3,9	0,50	2,9
	Cu _{4,9}	1,9	0,87	4,4	5,7	0,26	3,8	4,9	0,45	2,1	4,2	0,53	3,4
	Cu _{7,2}	2,0	0,89	4,6	6,6	0,29	4,0	4,9	0,48	2,1	4,5	0,55	3,6
	Cu _{9,7}	1,8	0,91	4,7	6,9	0,24	3,7	5,0	0,50	2,0	4,6	0,55	3,5

Приложение 39

Содержание валовых макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений, %

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			В среднем в годы последствия 2013- 2014 гг.			В среднем за 2012- 2014 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		1,3	0,79	1,4	3,1	0,17	2,1	2,7	0,20	1,19	2,9	0,19	1,6	2,4	0,39	1,6
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		1,7	0,87	1,7	4,2	0,25	2,1	2,8	0,27	1,28	3,5	0,26	1,7	2,9	0,46	1,7
Фон	Zn ₂₀	1,9	0,74	1,7	3,3	0,17	2,1	3,1	0,25	1,43	3,2	0,21	1,8	2,7	0,39	1,8
	Zn ₄₀	2,3	0,82	1,8	4,5	0,22	2,3	3,3	0,26	1,59	3,9	0,24	2,0	3,4	0,43	1,9
	Zn ₆₀	2,5	0,97	1,8	4,7	0,24	2,6	3,3	0,29	1,62	4,0	0,27	2,1	3,5	0,50	2,0
	Zn ₈₀	1,8	0,82	2,0	4,0	0,22	2,3	3,4	0,27	1,33	3,7	0,25	1,8	3,1	0,44	1,9
	Cu _{2,4}	2,0	0,85	1,7	4,3	0,17	2,0	3,1	0,25	1,40	3,7	0,21	1,7	3,1	0,42	1,7
	Cu _{4,9}	2,1	0,88	1,7	4,3	0,17	2,1	3,2	0,26	1,43	3,8	0,22	1,8	3,2	0,44	1,8
	Cu _{7,2}	2,2	0,89	1,8	4,5	0,19	2,3	3,3	0,28	1,46	3,9	0,24	1,9	3,3	0,45	1,9
	Cu _{9,7}	2,3	0,90	1,9	4,5	0,30	2,2	3,5	0,30	1,42	4,0	0,30	1,8	3,4	0,50	1,8

Приложение 40

Содержание валовых макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в фазу отрастания в зависимости от доз микроудобрений, %

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			В среднем в годы последствия 2013- 2014 гг.			В среднем за 2012- 2014 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		3,1	0,66	4,3	4,1	0,40	3,7	2,6	0,22	2,0	3,4	0,31	2,8	3,3	0,43	3,3
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		3,2	0,68	4,4	4,4	0,44	3,7	2,9	0,25	2,3	3,7	0,35	3,0	3,5	0,46	3,5
Фон	Zn ₂₀	3,3	0,69	3,7	4,5	0,50	4,3	3,3	0,32	2,5	3,9	0,41	3,4	3,7	0,50	3,5
	Zn ₄₀	3,4	0,70	3,9	4,7	0,53	4,6	3,7	0,33	2,6	4,2	0,43	3,6	3,9	0,52	3,7
	Zn ₆₀	3,8	0,75	4,5	4,8	0,62	4,8	4,0	0,36	2,8	4,4	0,49	3,8	4,2	0,58	4,0
	Zn ₈₀	3,3	0,69	3,6	4,3	0,56	4,5	4,0	0,31	2,2	4,2	0,44	3,4	3,9	0,52	3,5
	Cu _{2,4}	3,0	0,73	3,7	4,4	0,52	4,3	3,7	0,32	2,5	4,1	0,42	3,4	3,7	0,52	3,5
	Cu _{4,9}	3,4	0,78	3,9	4,7	0,55	4,7	3,8	0,35	2,6	4,2	0,45	3,6	4,0	0,56	3,7
	Cu _{7,2}	3,6	0,78	4,1	4,9	0,57	4,9	4,1	0,40	2,7	4,5	0,49	3,8	4,2	0,58	3,9
	Cu _{9,7}	3,7	0,72	4,1	4,9	0,50	5,1	3,8	0,38	2,7	4,4	0,44	3,9	4,1	0,53	3,9

Приложение 41

Содержание валовых макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений, %

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			В среднем в годы последствия 2013- 2014 гг.			В среднем за 2012- 2014 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		2,4	0,39	4,4	3,2	0,25	2,3	2,1	0,17	1,5	2,6	0,21	1,9	2,5	0,27	2,7
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		2,4	0,40	5,5	3,4	0,29	2,4	2,1	0,19	1,7	2,8	0,24	2,0	2,6	0,29	3,2
Фон	Zn ₂₀	2,5	0,40	5,7	3,5	0,30	2,7	2,2	0,21	1,8	2,9	0,26	2,2	2,7	0,30	3,4
	Zn ₄₀	2,5	0,41	5,9	3,7	0,32	2,8	2,4	0,22	1,9	3,0	0,27	2,3	2,9	0,32	3,5
	Zn ₆₀	2,8	0,44	6,6	3,7	0,35	3,0	2,5	0,24	1,9	3,1	0,30	2,4	3,0	0,34	3,8
	Zn ₈₀	2,5	0,43	5,9	3,3	0,31	2,8	2,7	0,20	1,6	3,0	0,26	2,2	2,8	0,31	3,4
	Cu _{2,4}	2,3	0,41	5,2	3,6	0,31	2,6	2,5	0,21	1,8	3,0	0,26	2,2	2,8	0,31	3,2
	Cu _{4,9}	2,6	0,42	5,3	3,7	0,33	2,8	2,5	0,23	1,8	3,1	0,28	2,3	2,9	0,33	3,3
	Cu _{7,2}	2,7	0,43	5,6	3,9	0,32	3,0	2,7	0,24	1,9	3,3	0,28	2,4	3,1	0,33	3,5
	Cu _{9,7}	2,8	0,40	5,6	4,0	0,30	3,0	2,7	0,21	1,9	3,4	0,26	2,5	3,2	0,30	3,5

Приложение 42

Содержание валовых макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу отрастания в зависимости от доз
микроудобрений, %

Вариант		2017 г.			2018 г.			В среднем за 2017-2018 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		1,61	0,08	4,71	3,19	0,07	2,44	2,4	0,08	3,6
N ₁₂₅ (Фон)		1,65	0,08	4,78	3,51	0,07	2,66	2,6	0,08	3,7
Фон	Zn _{10,7}	1,70	0,09	4,66	3,66	0,08	2,88	2,7	0,09	3,8
	Zn _{21,4}	1,72	0,08	4,74	3,85	0,09	2,71	2,8	0,09	3,7
	Zn _{32,4}	1,74	0,09	4,79	3,78	0,10	2,4	2,8	0,10	3,6
	Zn _{42,8}	1,76	0,09	4,74	3,41	0,08	2,05	2,6	0,09	3,4
	Cu _{2,3}	1,61	0,08	4,71	3,71	0,08	2,4	2,7	0,08	3,6
	Cu _{4,7}	1,70	0,08	4,78	3,74	0,09	2,49	2,7	0,09	3,6
	Cu _{7,0}	1,72	0,08	4,79	3,90	0,10	2,58	2,8	0,09	3,7
	Cu _{9,4}	1,77	0,08	4,81	4,07	0,11	2,62	2,9	0,10	3,7

Приложение 43

Содержание валовых макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений, %

Вариант		2016 г.			2017 г.			2018 г.			В среднем за 2016-2018 гг.		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль		3,6	0,14	5,1	1,3	0,13	2,60	2,3	0,16	1,31	2,4	0,14	3,00
N ₁₂₅ (Фон)		3,7	0,14	5,3	1,2	0,11	2,65	2,6	0,18	1,35	2,5	0,14	3,10
Фон	Zn _{10,7}	3,8	0,11	6,0	1,3	0,14	2,64	2,5	0,19	1,42	2,6	0,15	3,35
	Zn _{21,4}	3,9	0,17	6,0	1,4	0,13	2,73	2,3	0,21	1,6	2,5	0,17	3,44
	Zn _{32,4}	3,9	0,22	6,0	1,5	0,11	3,03	2,6	0,22	1,55	2,7	0,18	3,53
	Zn _{42,8}	3,7	0,16	6,0	1,5	0,12	2,54	2,3	0,26	1,55	2,5	0,18	3,36
	Cu _{2,3}	4,0	0,16	5,9	1,3	0,13	2,68	2,2	0,18	1,45	2,5	0,16	3,34
	Cu _{4,7}	4,2	0,18	5,9	1,4	0,13	2,75	2,3	0,20	1,5	2,6	0,17	3,38
	Cu _{7,0}	4,2	0,20	6,0	1,4	0,14	2,89	2,5	0,21	1,6	2,7	0,18	3,50
	Cu _{9,4}	4,8	0,23	6,3	1,5	0,15	3,05	2,0	0,23	1,66	2,8	0,20	3,67

Приложение 44

Содержание макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу отрастания в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		291	16,75	539,57	137,0	21,5	360,13	108,6	15,7	356,60	71,7	12,5	347,13	152,1	16,6	400,9
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		307	21,94	545,79	144,0	22,96	364,65	102,9	16,3	360,47	73,0	13,0	362,23	156,7	18,6	408,3
Фон	Zn ₂₀	324	20,00	575,88	145,0	23,1	382,44	105,0	20,2	358,67	74,3	14,1	354,68	162,1	19,4	417,9
	Zn ₄₀	338	21,61	590,75	146,7	25,96	412,09	108,9	20,3	369,39	72,7	16,0	335,81	166,6	21,0	427,0
	Zn ₆₀	396	26,22	600,44	163,0	28,7	458,04	114,3	20,98	373,20	79,3	18,2	332,04	188,2	23,5	440,9
	Zn ₈₀	292	19,48	579,69	168,0	26,9	494,11	131,4	19,9	370,78	77,7	19,7	328,27	167,3	21,5	443,2
	Cu _{2,4}	315	22,40	578,30	144,0	24,2	435,80	114,3	18,0	358,79	78,3	17,5	290,54	162,9	20,5	415,9
	Cu _{4,9}	346	23,49	587,99	152,0	24,5	456,56	120,0	19,1	362,48	81,3	18,9	309,40	174,8	21,5	429,1
	Cu _{7,2}	386	24,04	597,67	186,0	26,2	474,34	131,4	19,3	370,43	82,447	19,7	316,95	196,5	22,3	439,8
	Cu _{9,7}	422	17,66	604,59	192,0	28,2	382,44	110,0	19,6	354,18	102,7	21,1	298,08	206,7	21,6	409,8

Приложение 45

Содержание макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу бутонизации в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2013-2015 гг.		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		112,00	16,02	567,24	92,37	15,66	468,66	74,57	10,23	350,00	93,0	14,0	462,0
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		120,00	17,12	571,64	93,46	17,63	484,23	80,29	11,50	365,33	97,9	15,4	473,7
Фон	Zn ₂₀	128,00	17,12	588,62	95,60	18,72	489,41	88,21	13,00	370,45	103,9	16,3	482,8
	Zn ₄₀	140,00	17,66	611,26	97,10	19,67	509,59	91,71	14,83	374,77	109,6	17,4	498,5
	Zn ₆₀	182,00	18,21	722,56	118,15	20,68	511,90	102,86	16,94	365,10	134,3	18,6	533,2
	Zn ₈₀	160,00	22,70	622,58	140,50	17,91	488,84	87,24	17,10	360,80	129,2	19,2	490,7
	Cu _{2,4}	126,67	18,20	607,48	118,20	17,67	472,12	98,36	16,00	310,10	114,4	17,3	463,2
	Cu _{4,9}	132,00	18,94	696,15	125,30	19,85	478,74	98,48	17,32	325,70	118,6	18,7	500,2
	Cu _{7,2}	140,00	20,85	706,84	136,50	20,08	494,6	102,00	19,50	336,50	126,2	20,1	512,6
	Cu _{9,7}	177,33	19,30	649,93	120,60	20,43	451,37	115,71	19,95	300,20	137,9	19,9	467,2

Приложение 46

Содержание макроэлементов в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c
Контроль		152,0	25,35	423,35	101,67	22,21	383,51	91,11	13,11	327,89	66,00	10,05	309,40	102,7	17,7	361,0
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		168,0	27,09	448,25	107,50	24,40	385,17	92,22	16,02	330,39	68,00	12,67	316,95	108,9	20,0	370,2
Фон	Zn ₂₀	190,0	30,60	481,46	120,00	24,76	389,32	93,33	15,75	365,24	80,67	13,61	313,17	121,0	21,2	387,3
	Zn ₄₀	197,0	33,79	518,33	130,00	25,13	389,73	95	16,23	336,19	81,14	14,36	321,66	125,8	22,4	391,5
	Zn ₆₀	203,0	32,34	534,38	165,00	28,22	391,39	97,78	17,02	376,66	91,71	15,30	309,40	139,4	23,2	403,0
	Zn ₈₀	255,0	27,31	504,29	132,50	25,58	384,75	95,56	17,35	380,96	90,71	15,73	301,85	143,4	21,5	393,0
	Cu _{2,4}	274,7	26,00	470,39	105,00	26,22	388,49	94,44	16,29	336,19	75,71	14,86	300,40	137,5	20,8	373,9
	Cu _{4,9}	290,0	27,97	517,43	110,00	28,65	391,81	97,78	17,51	340,34	76,48	18,57	301,80	143,6	23,2	387,8
	Cu _{7,2}	322,67	29,72	531,26	113,75	29,13	391,81	102,22	18,92	355,91	89,14	18,79	303,74	156,9	24,1	395,7
	Cu _{9,7}	230,7	23,60	522,96	108,33	28,50	392,91	106,3	19,03	354,87	83,86	14,20	309,40	132,3	21,3	395,0

Приложение 47

Содержание макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в фазу отрастания в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		156,00	14,86	688,98	105	28,56	678,78	102,4	15,27	634,54	65,7	13,35	550,88	107,28	18,01	638,30
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		160,00	15,73	693,13	108	29,24	684,83	104,6	15,35	649,54	68,6	12,5	558,43	110,30	18,21	646,48
Фон	Zn ₂₀	154,00	15,30	759,54	119	30,20	639,87	115,2	15,79	641,29	65,7	13,9	528,25	113,48	18,80	642,24
	Zn ₄₀	192,00	15,30	777,53	126	30,90	669,84	118,3	16,75	643,54	69,7	14,2	535,79	126,50	19,29	656,68
	Zn ₆₀	248,00	16,02	780,29	134	32,88	691,75	120,6	20,72	647,67	69,7	16,8	543,34	143,08	21,61	665,76
	Zn ₈₀	144,00	16,31	771,99	106	29,50	664,94	101,7	15,56	650,67	74,3	14,4	528,25	106,50	18,94	653,96
	Cu _{2,4}	144,00	15,73	755,39	108	29,45	664,08	103,2	15,51	624,04	61,4	14,5	520,70	104,15	18,80	641,05
	Cu _{4,9}	157,33	16,31	830,10	112	30,43	667,54	108,5	15,90	637,54	68,6	14,0	581,07	111,61	19,16	679,06
	Cu _{7,2}	162,00	15,73	655,78	128	27,78	691,75	111,1	16,30	655,17	75,7	13,9	535,79	119,20	18,43	634,62
	Cu _{9,7}	184,00	14,86	620,33	132	26,74	629,49	122,9	14,55	610,54	72,9	12,87	535,79	127,95	17,26	599,04

Приложение 48

Содержание макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в фазу бутонизации в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2013-2015 гг.		
		NH	PH	Kc	NH	PH	Kc	NH	PH	Kc	NH	PH	Kc
Контроль		108	20,61	618,42	94,2	11,8	564,47	61,5	10,35	510,10	87,90	14,25	564,33
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		104	22,87	622,58	102,3	11,27	544,75	64,3	10,50	512,40	90,20	14,88	559,91
Фон	Zn ₂₀	111	24,18	622,58	108,6	11,97	605,97	64	11,0	525,60	94,53	15,72	584,72
	Zn ₄₀	124	24,53	633,99	104,7	13,46	635,03	65,7	13,10	525,90	98,13	17,03	598,31
	Zn ₆₀	118	25,86	657,85	116,0	13,90	643,33	65,8	13,30	530,35	99,93	17,69	610,51
	Zn ₈₀	101	18,72	637,10	99,5	13,42	560,32	71,4	13,20	522,15	90,63	15,11	573,19
	Cu _{2,4}	104	22,29	637,10	101,8	12,06	564,47	60	11,50	520,70	88,60	15,28	574,09
	Cu _{4,9}	108	24,04	688,98	106,1	12,63	568,62	64,3	12,10	530,10	92,80	16,26	595,90
	Cu _{7,2}	124	25,89	694,52	111,8	13,46	580,03	71,7	13,0	535,80	102,50	17,45	603,45
	Cu _{9,7}	113	25,13	657,85	107,0	12,32	637,79	70,2	11,20	515,85	96,73	16,22	603,83

Приложение 49

Содержание макроэлементов в растениях пижмы обыкновенной в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2012 г.			2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 2012-2015 гг.		
		N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с	N _н	P _н	K _с
Контроль		198,67	25,00	702,6	100,0	19,67	379,36	89,14	8,06	344,49	59,0	9,54	300,22	111,70	15,57	431,67
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		200,00	25,35	705,6	102,0	20,98	382,95	97,71	8,36	426,12	60,8	9,90	305,50	115,13	16,15	455,04
Фон	Zn ₂₀	201,33	26,22	707,1	110,67	22,58	382,95	85,9	8,54	445,14	61,3	10,90	312,30	114,80	17,06	461,87
	Zn ₄₀	204,00	27,68	715,5	114,50	23,82	387,93	88,6	10,07	493,91	63,3	11,2	319,80	117,60	18,19	479,29
	Zn ₆₀	230,67	34,67	729,3	122,67	20,68	391,81	97,2	10,18	435,80	64,5	12,60	326,15	128,76	19,53	470,77
	Zn ₈₀	241,33	33,21	711,5	115,0	19,67	393,47	92,4	10,25	367,32	68,2	12,10	320,40	129,23	18,81	448,17
	Cu _{2,4}	192,00	30,21	701,6	100,0	20,98	390,15	97,1	8,20	346,33	58,3	10,5	318,70	111,9	17,5	439,2
	Cu _{4,9}	196,00	31,46	704,1	106,33	23,16	381,29	103,3	8,55	437,88	60,9	11,0	335,40	116,6	18,5	464,7
	Cu _{7,2}	224,00	36,71	729,3	116,67	24,47	375,21	114,6	9,62	453,44	69	11,5	340,60	131,1	20,6	474,6
	Cu _{9,7}	240,00	35,33	675,9	110,0	22,72	389,59	90,0	9,08	447,11	64	10,0	331,70	126,0	19,3	461,1

Приложение 50

Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу отрастания в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2016 г.			2017 г.			2018 г.			В среднем за 2016-2018 гг.		
		N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c
Контроль		188,57	12,03	410,5	140,63	15,57	366,18	110,53	8,57	312,57	146,58	12,06	363,08
N ₁₂₅ (Фон)		308,60	12,27	416,46	150,75	16,39	395,47	143,68	8,58	322,64	201,01	12,41	378,19
Фон	Zn _{10,7}	354,29	14,03	432,5	153,75	22,03	412,56	150,33	7,20	370,85	219,46	14,42	405,3
	Zn _{21,4}	360,71	16,12	466,5	181,25	22,67	483,36	170,53	9,46	372,62	237,5	16,08	440,83
	Zn _{32,4}	365,71	15,39	460,5	203,33	24,22	502,88	176,84	7,36	349,66	248,63	15,66	437,68
	Zn _{42,8}	317,14	20,14	460,5	171,25	27,30	437,79	163,68	7,48	394,69	217,36	18,31	430,99
	Cu _{2,3}	374,29	16,54	454,5	197,50	22,95	401,98	129,47	7,64	354,96	233,75	15,71	403,81
	Cu _{4,7}	400,00	15,05	460,5	207,50	23,86	429,65	154,74	9,14	388,51	254,08	16,02	426,22
	Cu _{7,0}	411,43	18,12	488,54	208,75	26,22	434,53	192,63	8,48	397,34	270,94	17,61	440,14
	Cu _{9,4}	354	15,78	468,51	217,08	21,10	418,25	153,00	7,92	425,59	241,36	14,93	437,45

Приложение 51

Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу бутонизации в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2016 г.			2017 г.			2018 г.			В среднем за 2016-2018 гг.		
		NH	PH	Kc	NH	PH	Kc	NH	PH	Kc	NH	PH	Kc
Контроль		146,90	14,52	542,69	150,00	16,14	246,04	112,50	9,38	251,18	136,47	13,35	346,64
N ₁₂₅ (Фон)		144,83	15,53	545,89	157,50	15,74	250,49	120,00	10,49	260,32	140,78	13,92	352,23
Фон	Zn _{10,7}	145,52	16,14	565,04	170,00	15,33	260,86	131,25	11,05	281,76	148,92	14,17	369,22
	Zn _{21,4}	154,48	16,54	579,4	194,25	17,25	276,42	155,00	11,94	311,80	167,91	15,24	389,21
	Zn _{32,4}	200,00	18,42	568,23	208,50	20,57	266,78	187,50	13,24	288,32	198,67	17,41	374,44
	Zn _{42,8}	161,38	20,07	574,62	209,25	21,58	265,80	153,75	13,32	263,56	174,79	18,32	367,99
	Cu _{2,3}	146,9	17,62	560,25	181,00	16,83	258,64	120,00	13,17	342,92	149,3	15,87	387,27
	Cu _{4,7}	155,17	18,83	569,83	192,00	17,21	280,62	145,00	13,95	345,11	164,06	16,66	398,52
	Cu _{7,0}	165,00	19,5	579,4	201,00	20,17	296,43	150,00	16,44	310,16	172	18,7	395,33
	Cu _{9,4}	172,24	19,63	588,98	218,00	23,26	311,25	131,25	14,13	329,09	173,83	19,01	409,77

Приложение 52

Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений

В мг/100 г

Вариант		2017 г.			2018 г.			В среднем за 2017-2018 гг.		
		N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c	N _H	P _H	K _c
Контроль		74,60	15,64	276,67	75,29	8,57	204,10	74,95	12,11	240,39
N ₁₂₅ (Фон)		87,57	16,56	298,80	82,35	8,71	225,87	84,96	12,64	262,34
Фон	Zn _{10,7}	90,81	21,62	345,83	85,29	11,33	220,43	88,05	16,48	283,13
	Zn _{21,4}	123,24	23,00	361,05	96,86	10,83	225,53	110,05	16,92	293,29
	Zn _{32,4}	126,49	18,75	309,18	92,94	9,98	230,63	109,72	14,37	269,91
	Zn _{42,8}	123,24	18,63	295,69	87,06	9,98	233,69	105,15	14,31	264,69
	Cu _{2,3}	115,68	15,95	302,95	84,71	11,79	231,65	100,2	13,87	267,3
	Cu _{4,7}	118,92	17,02	316,15	87,06	11,39	226,55	102,99	14,21	271,35
	Cu _{7,0}	122,43	18,40	332,00	94,12	10,32	222,47	108,28	14,36	277,24
	Cu _{9,4}	139,46	20,70	338,23	97,65	9,90	208,18	118,56	15,3	273,21

Приложение 53

Содержание цинка и меди в растениях тысячелистника обыкновенного в фазу массового цветения, мг/кг (M±SEM, n = 40)

Вариант		Цинк					Медь				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	в среднем за 2012– 2015 гг.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	в среднем за 2012– 2015 гг.
Контроль		10,0±1,24	10,5±1,40	9,9±1,98	9,0±0,96	9,9±1,47	2,0±0,51	2,9±0,11	3,0±0,21	1,9±0,06	2,5±0,26
Фон (N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅)		12,0±1,02 *	12,9±1,13 *	10,3±1,94	10,1±0,83 *	11,3±1,31*	2,2±0,49	2,5±0,16	2,0±0,32	2,0±0,05	2,2±0,29
Фон	Zn ₂₀	20,0±0,12 **	21,0±0,23 **	29,0±0,15* "	19,1±0,17 **	22,3±0,08* "	8,0±0,16**	2,5±0,16	4,0±0,10**	н/о	4,8±0,003* "
	Zn ₄₀	25,0±0,44 **	27,0±0,44 **	32,0±0,49* "	21,9±0,48 **	26,5±0,39* "	9,5±0,33**	2,8±0,12	4,0±0,10**	н/о	5,4±0,06**
	Zn ₆₀	30,0±1,00 **	31,0±0,89 **	36,0±0,94* "	22,2±0,52 **	29,8±0,76* "	12,1±0,62* "	3,0±0,10* "	4,0±0,10**	н/о	6,4±0,18**
	Zn ₈₀	34,0±1,44 **	35,0±1,34 **	39,0±1,27* "	23,1±0,62 **	32,8±1,09* "	18,0±1,28	3,0±0,10* "	4,0±0,10**	н/о	8,3±0,39
	Cu _{2,4}	20,0±0,12 **	21,0±0,23 **	27,0±0,07* "	н/о	22,7±0,04* "	2,2±0,49*	3,1±0,09* "	4,0±0,10**	2,2±0,03* "	2,9±0,22**
	Cu _{4,9}	20,0±0,12 **	21,0±0,23 **	29,0±0,15* "	н/о	23,3±0,03* "	2,6±0,44**	4,4±0,05* "	6,0±0,12**	2,6±0,02* "	3,9±0,10**
	Cu _{7,2}	20,0±0,12 **	24,0±0,11 **	32,0±0,49* "	н/о	25,3±0,25* "	3,0±0,40**	6,7±0,31* "	8,0±0,35**	2,8±0,04* "	5,1±0,03**
	Cu _{9,7}	20,0±0,12 **	27,0±0,44 **	32,0±0,49* "	н/о	26,3±0,37* "	5,8±0,08	8,2±0,48* "	10,0±0,57* "	3,1±0,07* "	6,8±0,22**
МДУ		50					30				
Агрохи- мические и биогео- химичес- кие критерии	недостаточное	<20					<5				
	нормальное	21...60					6...12				
	избыточное	>60					>20				

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;" – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$

Приложение 54

Содержание цинка и меди в растениях пижмы обыкновенной в фазу массового цветения, мг/кг ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Цинк					Медь				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	в среднем за 2012–2015 гг.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	в среднем за 2012–2015 гг.
Контроль		19,0±1,63	22,0±1,57	20,0±0,54	8,1±0,74	17,3±1,48	6,9±0,46	2,5±0,05	3,0±0,06	1,4±0,02	4,2±0,16
Фон ($N_{135}P_{45}K_{45}$)		16,0±1,97	25,0±1,23*	19,0±0,65	8,1±0,74	17,0±1,51	7,0±0,45	2,5±0,05	3,1±0,05	1,3±0,03	4,4±0,14
Фон	Zn ₂₀	35,0±0,16*"	33,0±0,34*"	20,0±0,54"	15,2±0,05*"	25,8±0,53*"	12,0±0,11*"	2,0±0,11	3,0±0,06	н/о	5,7±0,006*"
	Zn ₄₀	35,0±0,16*"	35,0±0,11*"	27,0±0,25*"	16,3±0,18*"	28,3±0,25*"	14,5±0,39*"	2,5±0,05	3,5±0,01*"	н/о	6,5±0,10*"
	Zn ₆₀	46,0±1,39*"	44,0±0,89*"	27,0±0,25*"	17,6±0,32*"	39,7±1,03*"	16,7±0,63*"	3,5±0,06*"	4,0±0,05*"	н/о	7,7±0,23*"
	Zn ₈₀	55,0±2,39*"	47,0±1,23*"	32,0±0,80*"	23,0±0,93*"	48,0±1,96*"	19,6±0,96*"	3,5±0,06*"	4,0±0,05*"	н/о	8,3±0,30*"
	Cu _{2,4}	20,0±1,52*"	35,0±0,11*"	21,0±0,42*"	н/о	25,3±0,58*"	7,0±0,45	2,5±0,05	3,1±0,05	1,5±0,01	4,3±0,15
	Cu _{4,9}	29,0±0,52*"	35,0±0,11*"	24,0±0,09*"	н/о	29,3±0,14*"	7,0±0,45	2,9±0,01*"	3,3±0,03*"	1,7±0,01*"	4,5±0,13*"
	Cu _{7,2}	35,0±0,16*"	39,0±0,34*"	27,0±0,25*"	н/о	33,7±0,36*"	7,9±0,35*"	3,5±0,06*"	4,2±0,07*"	1,8±0,02*"	4,9±0,08*"
	Cu _{9,7}	46,1±1,40*"	45,0±1,01*"	31,0±0,69*"	н/о	40,7±1,14*"	11,7±0,07*"	4,2±0,14*"	4,5±0,10*"	1,8±0,02*"	6,0±0,04*"
МДУ		50					30				
Агрохимические и биогеохимические критерии	недостаточно	<20					<5				
	нормальное	21...60					6...12				
	избыточное	>60					>20				

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;" – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Приложение 55

Содержание цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной в фазу массового цветения, мг/кг ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Цинк				Медь			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	в среднем за 2012–2015 гг.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	в среднем за 2012–2015 гг.
Контроль		5,1±0,34	4,1±0,82	4,0±1,31	4,4±0,95	2,3±0,10	2,0±0,15	1,9±0,06	2,1±0,12
Фон (N ₁₂₅)		5,2±0,33*	4,2±0,80	4,3±1,27*	4,6±0,92*	2,4±0,09*	1,9±0,16	1,9±0,06	2,1±0,12
Фон	Zn _{10,7}	7,9±0,02**	8,5±0,32**	17,0±0,15**	11,1±0,08**	2,7±0,06**	1,8±0,17	1,8±0,07	2,1±0,12
	Zn _{21,4}	8,7±0,07**	10,7±0,08**	18,7±0,34**	12,7±0,12**	3,0±0,02**	2,8±0,06**	2,2±0,03**	2,7±0,04**
	Zn _{32,4}	9,8±0,19**	12,1±0,08**	19,6±0,44**	13,9±0,28**	4,9±0,19**	3,4±0,01**	2,2±0,03**	3,5±0,06**
	Zn _{42,8}	11,2±0,35**	15,0±0,40**	21,1±0,60**	15,8±0,52**	6,8±0,40**	3,9±0,07**	2,5±0,004**	4,4±0,18**
	Cu _{2,3}	6,9±0,14**	9,3±0,23**	13,6±0,23**	9,9±0,24**	2,8±0,04**	2,8±0,06**	2,0±0,05	2,6±0,05**
	Cu _{4,7}	7,6±0,06**	14,2±0,31**	18,1±0,27**	13,3±0,20**	2,6±0,07**	3,9±0,07**	2,0±0,05	2,8±0,03**
	Cu _{7,0}	8,9±0,09**	15,3±0,44**	19,7±0,45**	14,6±0,37**	2,3±0,10	4,8±0,17**	3,3±0,09**	3,5±0,06**
	Cu _{9,4}	9,8±0,19**	20,6±1,03**	20,8±0,57**	17,1±0,69**	2,2±0,11	5,8±0,28**	4,8±0,26**	4,3±0,17**
МДУ		50				30			
Агрохимические и биогеохимические критерии	недостаточное	<20				<5			
	нормальное	21...60				6...12			
	избыточное	>60				>20			

* – достоверно относительно контроля на уровне значимости $p \leq 0,05$;" – достоверно относительно фона на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Приложение 56

Содержание общей золы в целых растениях тысячелистника обыкновенного в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зола, %				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		14,9 \pm 0,07	13,87 \pm 0,01	10,48 \pm 0,07	13,50 \pm 0,08	13,19 \pm 0,06
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		14,94 \pm 0,08	13,74 \pm 0,003	10,28 \pm 0,04	13,67 \pm 0,10	13,16 \pm 0,05
Фон	Zn ₂₀	14,6 \pm 0,04	13,82 \pm 0,01	10,47 \pm 0,07	12,6 \pm 0,02	12,87 \pm 0,02
	Zn ₄₀	14,59 \pm 0,04	13,74 \pm 0,003	9,96 \pm 0,01	13,28 \pm 0,06	12,89 \pm 0,02
	Zn ₆₀	14,38 \pm 0,01	13,54 \pm 0,03	9,67 \pm 0,02	12,64 \pm 0,02	12,56 \pm 0,01
	Zn ₈₀	14,2 \pm 0,01	13,31 \pm 0,05	9,56 \pm 0,04	13,47 \pm 0,08	12,64 \pm 0,004
	Cu _{2,4}	13,99 \pm 0,03	14,07 \pm 0,03	9,98 \pm 0,01	11,36 \pm 0,16	12,35 \pm 0,04
	Cu _{4,9}	13,85 \pm 0,04	13,99 \pm 0,03	9,65 \pm 0,03	12,44 \pm 0,04	12,48 \pm 0,02
	Cu _{7,2}	13,66 \pm 0,07	13,96 \pm 0,02	9,43 \pm 0,05	13,19 \pm 0,05	12,56 \pm 0,01
	Cu _{9,7}	13,4 \pm 0,10	13,66 \pm 0,01	9,37 \pm 0,06	11,68 \pm 0,12	12,03 \pm 0,07

Приложение 57

Содержание дубильных веществ в целых растениях тысячелистника
обыкновенного в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Дубильные вещества, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		1,09±0,15	1,90±0,38	1,38±0,26	1,45±0,33	1,46±0,28
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		2,48±0,004	2,46±0,31	2,47±0,13	2,40±0,22	2,45±0,17
Фон	Zn ₂₀	2,21±0,03	4,99±0,03	3,30±0,04	4,10±0,03	3,65±0,03
	Zn ₄₀	3,00±0,06	6,07±0,09	3,47±0,02	5,32±0,10	4,47±0,06
	Zn ₆₀	3,39±0,11	6,20±0,11	3,58±0,01	5,54±0,13	4,68±0,08
	Zn ₈₀	2,76±0,03	5,67±0,05	4,10±0,05	4,60±0,02	4,28±0,04
	Cu _{2,4}	1,62±0,09	4,78±0,05	2,99±0,08	4,10±0,03	3,37±0,06
	Cu _{4,9}	2,22±0,03	6,31±0,12	3,52±0,02	5,29±0,10	4,34±0,04
	Cu _{7,2}	2,75±0,03	6,83±0,18	5,97±0,26	5,55±0,13	5,28±0,15
	Cu _{9,7}	2,95±0,06	7,37±0,24	5,99±0,26	5,69±0,14	5,50±0,17

Приложение 58

Содержание аскорбиновой кислоты в целых растениях тысячелистника
обыкновенного в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Аскорбиновая кислота, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		5,28±0,12	2,85±0,10	2,96±0,29	3,16±0,28	3,56±0,20
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		6,16±0,02	3,80±0,01	3,25±0,26	3,90±0,20	4,28±0,12
Фон	Zn ₂₀	7,04±0,08	3,33±0,05	3,45±0,23	4,10±0,18	4,48±0,10
	Zn ₄₀	8,36±0,23	3,80±0,01	4,14±0,16	4,20±0,17	5,13±0,02
	Zn ₆₀	8,36±0,23	4,75±0,11	8,38±0,32	6,75±0,12	7,06±0,19
	Zn ₈₀	6,16±0,02	3,80±0,01	5,22±0,04	7,15±0,16	5,58±0,03
	Cu _{2,4}	4,4±0,22	2,85±0,10	6,01±0,05	6,36±0,07	4,91±0,05
	Cu _{4,9}	5,28±0,12	3,80±0,01	6,11±0,06	6,79±0,12	5,50±0,02
	Cu _{7,2}	6,16±0,02	3,80±0,01	6,21±0,08	7,05±0,15	5,81±0,05
	Cu _{9,7}	6,16±0,02	4,75±0,11	9,66±0,46	7,56±0,21	7,03±0,19

Приложение 59

Содержание каротина в целых растениях тысячелистника обыкновенного в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Каротин, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		8,27±0,57	8,58±0,46	4,47±0,22	4,31±0,19	6,41±0,36
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		13,43±0,003	12,64±0,01	5,87±0,06	5,52±0,06	9,36±0,03
Фон	Zn ₂₀	15,14±0,19	13,65±0,10	7,00±0,07	5,44±0,07	10,31±0,08
	Zn ₄₀	16,02±0,29	14,43±0,19	6,63±0,03	6,66±0,07	10,94±0,15
	Zn ₆₀	14,41±0,11	12,95±0,03	6,86±0,05	7,12±0,12	10,33±0,08
	Zn ₈₀	12,88±0,06	11,31±0,16	6,69±0,03	6,32±0,03	9,30±0,04
	Cu _{2,4}	10,21±0,36	13,11±0,04	6,21±0,02	5,68±0,04	8,80±0,09
	Cu _{4,9}	14,19±0,09	13,42±0,08	6,42±0,00	5,96±0,01	9,99±0,04
	Cu _{7,2}	15,17±0,20	13,57±0,10	6,86±0,05	6,19±0,02	10,45±0,09
	Cu _{9,7}	14,35±0,11	13,50±0,09	7,00±0,07	7,09±0,12	10,49±0,10

Приложение 60

Содержание общей золы в целых растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зола, %				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		8,65±0,03	8,36±0,05	8,00±0,03	8,21±0,04	8,31±0,002
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		8,35±0,004	8,87±0,007	8,40±0,02	7,86±0,003	8,37±0,005
Фон	Zn ₂₀	8,69±0,03	8,84±0,003	8,82±0,06	7,76±0,008	8,53±0,02
	Zn ₄₀	8,93±0,06	8,87±0,007	8,34±0,009	7,74±0,01	8,47±0,02
	Zn ₆₀	8,44±0,006	8,90±0,01	8,27±0,001	7,57±0,03	8,30±0,003
	Zn ₈₀	7,69±0,08	8,93±0,01	7,70±0,06	7,62±0,02	7,99±0,04
	Cu _{2,4}	7,69±0,08	8,51±0,03	7,69±0,06	8,10±0,03	8,00±0,04
	Cu _{4,9}	7,79±0,07	8,92±0,01	8,12±0,02	7,97±0,02	8,20±0,01
	Cu _{7,2}	8,75±0,04	8,93±0,01	8,37±0,01	7,89±0,01	8,49±0,02
	Cu _{9,7}	8,90±0,06	8,97±0,02	8,92±0,07	7,59±0,03	8,60±0,03

Приложение 61

Содержание дубильных веществ в целых растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Дубильные вещества, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		5,15±0,19	4,72±0,02	2,30±0,32	2,10±0,36	3,52±0,23
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		6,13±0,08	4,80±0,01	2,53±0,29	4,08±0,13	4,77±0,09
Фон	Zn ₂₀	6,58±0,03	4,75±0,01	6,42±0,14	5,82±0,06	5,74±0,02
	Zn ₄₀	6,72±0,01	4,82±0,01	6,85±0,19	6,32±0,12	6,04±0,05
	Zn ₆₀	9,19±0,27	5,21±0,04	8,93±0,42	6,54±0,14	6,87±0,15
	Zn ₈₀	8,09±0,14	5,00±0,01	5,41±0,03	4,60±0,08	5,57±0,001
	Cu _{2,4}	5,62±0,13	3,71±0,13	2,48±0,30	4,90±0,04	4,78±0,09
	Cu _{4,9}	6,86±0,005	4,90±0,003	3,74±0,16	5,20±0,01	5,54±0,003
	Cu _{7,2}	7,82±0,11	5,01±0,02	4,93±0,02	6,30±0,11	6,36±0,09
	Cu _{9,7}	6,03±0,09	5,78±0,10	7,84±0,30	7,00±0,19	6,45±0,10

Приложение 62

Содержание аскорбиновой кислоты в целых растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Аскорбиновая кислота, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		7,92±0,23	2,85±0,14	2,56±0,15	3,00±0,18	4,08±0,17
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		8,80±0,13	3,80±0,04	3,35±0,06	3,56±0,11	4,88±0,09
Фон	Zn ₂₀	9,68±0,03	4,28±0,02	3,00±0,10	3,78±0,09	5,19±0,05
	Zn ₄₀	11,00±0,12	4,28±0,02	4,19±0,03	4,38±0,02	5,96±0,04
	Zn ₆₀	11,44±0,17	4,75±0,07	2,66±0,14	4,92±0,04	5,94±0,03
	Zn ₈₀	7,04±0,32	3,80±0,04	2,17±0,20	4,10±0,05	4,28±0,15
	Cu _{2,4}	9,24±0,08	4,28±0,02	4,14±0,02	4,80±0,03	5,62±0,003
	Cu _{4,9}	11,00±0,12	4,75±0,07	5,13±0,14	5,60±0,12	6,62±0,11
	Cu _{7,2}	11,44±0,17	4,75±0,07	6,36±0,27	6,35±0,20	7,23±0,18
	Cu _{9,7}	11,88±0,22	3,80±0,04	5,62±0,19	5,20±0,07	6,63±0,11

Приложение 63

Содержание каротина в целых растениях пижмы обыкновенной в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Каротин, мг%				
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние данные за 2012-2015 гг.
Контроль		28,1 \pm 0,56	29,1 \pm 0,56	24,5 \pm 0,78	26,6 \pm 0,39	27,08 \pm 0,58
N ₁₃₅ P ₄₅ K ₄₅ (Фон)		32,2 \pm 0,11	33,2 \pm 0,10	29,5 \pm 0,22	27,2 \pm 0,33	30,53 \pm 0,19
Фон	Zn ₂₀	32,4 \pm 0,08	33,7 \pm 0,05	30,2 \pm 0,15	29,2 \pm 0,10	31,38 \pm 0,09
	Zn ₄₀	33,5 \pm 0,04	34,2 \pm 0,01	31,3 \pm 0,02	30,2 \pm 0,01	32,30 \pm 0,01
	Zn ₆₀	33,9 \pm 0,08	35,1 \pm 0,11	32,6 \pm 0,12	31,3 \pm 0,13	33,23 \pm 0,11
	Zn ₈₀	31,7 \pm 0,16	32,9 \pm 0,14	30,0 \pm 0,17	29,5 \pm 0,07	31,03 \pm 0,13
	Cu _{2,4}	33,4 \pm 0,03	34,9 \pm 0,09	32,5 \pm 0,11	30,8 \pm 0,08	32,90 \pm 0,08
	Cu _{4,9}	34,8 \pm 0,19	35,2 \pm 0,12	34,1 \pm 0,29	31,9 \pm 0,20	34,00 \pm 0,20
	Cu _{7,2}	35,6 \pm 0,28	36,7 \pm 0,29	35,4 \pm 0,43	32,4 \pm 0,25	35,03 \pm 0,31
	Cu _{9,7}	35,8 \pm 0,30	36,2 \pm 0,23	35,0 \pm 0,39	32,1 \pm 0,22	34,78 \pm 0,29

Приложение 64

Содержание общей золы в целых растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зола, %			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	средние данные за 2016-2018 гг.
Контроль		8,36 \pm 0,002	7,42 \pm 0,03	6,85 \pm 0,15	7,54 \pm 0,07
N ₁₂₅ (Фон)		8,64 \pm 0,03	7,22 \pm 0,009	6,91 \pm 0,16	7,59 \pm 0,08
Фон	Zn _{10,7}	7,58 \pm 0,09	7,4 \pm 0,03	4,92 \pm 0,06	6,63 \pm 0,05
	Zn _{21,4}	7,85 \pm 0,06	7,11 \pm 0,003	5,47 \pm 0,0001	6,81 \pm 0,02
	Zn _{32,4}	7,98 \pm 0,04	7,35 \pm 0,02	5,66 \pm 0,02	7,00 \pm 0,002
	Zn _{42,8}	8,38 \pm 0,004	7,9 \pm 0,09	5,98 \pm 0,06	7,42 \pm 0,06
	Cu _{2,3}	8,9 \pm 0,06	6,99 \pm 0,02	5,27 \pm 0,02	7,05 \pm 0,009
	Cu _{4,7}	8,83 \pm 0,06	6,77 \pm 0,04	4,9 \pm 0,06	6,83 \pm 0,02
	Cu _{7,0}	8,51 \pm 0,02	6,64 \pm 0,06	4,69 \pm 0,09	6,61 \pm 0,05
	Cu _{9,4}	8,39 \pm 0,01	6,6 \pm 0,06	4,04 \pm 0,16	6,34 \pm 0,08

Приложение 65

Содержание общей золы в соцветиях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз
микроудобрений, 2016-2018 гг. ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Общая зола, %		
		2017 г.	2018 г.	средние данные за 2017-2018 гг.
Контроль		6,50±0,01	4,90±0,08	5,70±0,06
N ₁₂₅ (Фон)		6,70±0,03	5,00±0,09	5,85±0,08
Фон	Zn _{10,7}	6,00±0,05	3,90±0,04	4,95±0,06
	Zn _{21,4}	6,10±0,03	3,95±0,03	5,03±0,05
	Zn _{32,4}	6,25±0,02	4,00±0,03	5,13±0,03
	Zn _{42,8}	6,30±0,01	4,15±0,01	5,23±0,01
	Cu _{2,3}	6,75±0,04	4,30±0,01	5,53±0,03
	Cu _{4,7}	6,70±0,03	4,15±0,01	5,43±0,02
	Cu _{7,0}	6,60±0,02	4,05±0,02	5,33±0,002
	Cu _{9,4}	6,15±0,03	3,85±0,04	5,00±0,05

Приложение 66

Содержание дубильных веществ в целых растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Дубильные вещества, мг%			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	средние данные за 2016-2018 гг.
Контроль		4,62±0,19	11,92±0,35	14,49±0,60	10,34±0,44
N ₁₂₅ (Фон)		5,43±0,10	13,6±0,16	16,25±0,40	11,76±0,26
Фон	Zn _{10,7}	5,7±0,07	13,61±0,16	19,21±0,07	12,84±0,12
	Zn _{21,4}	6,25±0,01	14,26±0,09	22,94±0,34	14,48±0,09
	Zn _{32,4}	6,52±0,02	15,79±0,08	23,42±0,40	15,24±0,19
	Zn _{42,8}	7,33±0,11	16,52±0,16	24,03±0,46	15,96±0,29
	Cu _{2,3}	5,94±0,04	14,94±0,01	17,82±0,23	12,90±0,11
	Cu _{4,7}	6,45±0,02	15,68±0,07	18,85±0,11	13,66±0,01
	Cu _{7,0}	6,96±0,07	16,6±0,17	19,92±0,01	14,49±0,10
	Cu _{9,4}	7,88±0,18	17,73±0,30	21,78±0,21	15,80±0,27

Приложение 67

Содержание дубильных веществ в соцветиях эхинацеи пурпурной в фазу
цветения в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Дубильные вещества, мг%		
		2017 г.	2018 г.	средние данные за 2017-2018 гг.
Контроль		6,23±0,25	7,81±0,42	7,02±0,47
N ₁₂₅ (Фон)		7,12±0,15	8,76±0,31	7,94±0,32
Фон	Zn _{10,7}	7,76±0,08	10,73±0,09	9,25±0,12
	Zn _{21,4}	8,05±0,04	14,14±0,29	11,10±0,18
	Zn _{32,4}	9,22±0,09	14,35±0,32	11,79±0,28
	Zn _{42,8}	9,63±0,13	15,89±0,49	12,76±0,44
	Cu _{2,3}	8,06±0,04	9,8±0,19	8,93±0,17
	Cu _{4,7}	8,77±0,04	10,3±0,14	9,54±0,07
	Cu _{7,0}	9,48±0,12	11,1±0,05	10,29±0,05
	Cu _{9,4}	10,19±0,19	12,42±0,10	11,31±0,21

Приложение 68

Содержание аскорбиновой кислоты в сырой массе целых растений эхинацеи
пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений
($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Аскорбиновая кислота, мг%			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	средние данные за 2016-2018 гг.
Контроль		2,4 \pm 0,04	2,5 \pm 0,28	1,44 \pm 0,38	2,11 \pm 0,27
N ₁₂₅ (Фон)		2,7 \pm 0,01	3,85 \pm 0,13	2,66 \pm 0,24	3,07 \pm 0,15
Фон	Zn _{10,7}	2,2 \pm 0,06	4,37 \pm 0,07	4,44 \pm 0,05	3,67 \pm 0,07
	Zn _{21,4}	2,35 \pm 0,05	4,65 \pm 0,04	5,43 \pm 0,07	4,14 \pm 0,01
	Zn _{32,4}	2,9 \pm 0,02	5,2 \pm 0,02	5,91 \pm 0,12	4,67 \pm 0,06
	Zn _{42,8}	3,1 \pm 0,04	5,57 \pm 0,06	6,18 \pm 0,15	4,95 \pm 0,10
	Cu _{2,3}	2,85 \pm 0,01	4,83 \pm 0,02	3,88 \pm 0,11	3,85 \pm 0,05
	Cu _{4,7}	2,95 \pm 0,02	5,29 \pm 0,03	5,38 \pm 0,06	4,54 \pm 0,04
	Cu _{7,0}	3 \pm 0,03	6,21 \pm 0,13	6,32 \pm 0,16	5,18 \pm 0,13
	Cu _{9,4}	3,1 \pm 0,04	7,61 \pm 0,29	6,81 \pm 0,22	5,84 \pm 0,21

Приложение 69

Содержание каротина в целых растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Каротин, мг%			
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	средние данные за 2016-2018 гг.
Контроль		3,90±0,15	1,01±0,07	2,80±0,21	2,57±0,17
N ₁₂₅ (Фон)		3,96±0,14	1,09±0,06	3,25±0,16	2,77±0,14
Фон	Zn _{10,7}	5,24±0,003	1,41±0,03	4,48±0,03	3,71±0,02
	Zn _{21,4}	5,71±0,06	1,92±0,03	6,42±0,19	4,68±0,11
	Zn _{32,4}	6,17±0,11	2,47±0,09	6,68±0,22	5,11±0,16
	Zn _{42,8}	3,90±0,15	1,21±0,05	3,40±0,15	2,84±0,13
	Cu _{2,3}	4,19±0,11	1,33±0,04	4,17±0,06	3,23±0,08
	Cu _{4,7}	5,94±0,08	1,60±0,01	4,65±0,01	4,07±0,03
	Cu _{7,0}	6,23±0,11	2,10±0,05	5,31±0,07	4,55±0,09
	Cu _{9,4}	6,87±0,19	2,48±0,09	6,02±0,15	5,12±0,16

Приложение 70

Содержание каротина в соцветиях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений ($M \pm SEM$, $n = 40$)

Вариант		Каротин, мг%		
		2017 г.	2018 г.	средние данные за 2017-2018 гг.
Контроль		0,90±0,24	4,47±0,99	2,69±0,87
N ₁₂₅ (Фон)		1,46±0,18	8,3±0,56	4,88±0,53
Фон	Zn _{10,7}	2,04±0,11	15,37±0,23	8,71±0,08
	Zn _{21,4}	2,56±0,06	21,13±0,87	11,85±0,58
	Zn _{32,4}	2,61±0,05	18,63±0,59	10,62±0,38
	Zn _{42,8}	2,01±0,12	15,46±0,24	8,74±0,08
	Cu _{2,3}	3,59±0,06	9,76±0,40	6,68±0,24
	Cu _{4,7}	4,11±0,12	10,3±0,34	7,21±0,16
	Cu _{7,0}	5,32±0,25	13,93±0,07	9,63±0,23
	Cu _{9,4}	6,06±0,33	16,02±0,30	11,04±0,45

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по образовательной

деятельности ФГБОУ ВО Омский ГАУ

С.Ю. Комарова

01 2022 г.



Справка

об использовании результатов диссертации Н.Н. Жарковой
«Диагностика и оптимизация минерального питания, эффективности
микроудобрений многолетних лекарственных растений на лугово-черноземной
почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири»

Материалы диссертационной работы Жарковой Н.Н. используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Омский ГАУ по дисциплинам: «Агрохимия», «Прикладная агрохимия», «Диагностика питания растений», «Диагностика качества сельскохозяйственных культур», «Агрохимия микроэлементов», «Инновационные технологии в агрохимии» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение; магистров по направлению 35.04.03 – Агрохимия и агропочвоведение; аспирантов по направлению 35.06.01 – Сельское хозяйство (направленность Агрохимия).

Заведующий кафедрой агрохимии
и почвоведения,
д-р с.-х. наук, доцент

И.А. Бобренко

Декан факультета агрохимии,
почвоведения, экологии,
природообустройства
и водопользования,
канд. с.-х. наук, доцент

Н.В. Гоман

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(Минсельхоз России)

федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Центр агрохимической службы
«Омский»

(ФГБУ ЦАС «Омский»)

Королёва пр., д. 34, Омск, 644012

Тел. (3812) 77-53-75

Факс (3812) 77-56-84

Email: krasnitsky@omsknet.ru

<http://www.agrohimcentr-omsk.ru>

ОКПО 00506722, ОГРН 1025500755280

ИНН/КПП 5502005925/550301001

10.12.2021 № 493-01

На № _____ от _____

Справка об использовании результатов научной деятельности

Материалы диссертационной работы доцента кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ Жарковой Натальи Николаевны «Диагностика и оптимизация минерального питания, эффективности микроудобрений многолетних лекарственных растений на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири» используются в производственной деятельности ФГБУ ЦАС «Омский» при агрохимическом обследовании почв, оценке обеспеченности растений микроэлементами и экологического состояния почв, составлению рекомендаций по использованию микроудобрений на лугово-черноземных почвах Омской области, на основе разработанных критериев и параметров единого комплексного метода системы «ИСПРОД» ОмГАУ.

Директор ФГБУ ЦАС «Омский»
д-р с.-х. наук, профессор



 В.М. Красницкий