

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

На правах рукописи



Сухоцкая Валентина Владимировна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ ЦИНКОМ И МЕДЬЮ ЭХИНАЦЕИ
ПУРПУРНОЙ (*ECHINACEA PURPUREA* L.) НА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЁМНОЙ
ПОЧВЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

06.01.04 – Агрохимия

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, заслуженный деятель науки РФ
Ю.И. Ермохин

Омск-2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИСТОРИЯ И СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА.....	11
1.1 Эхинацея пурпурная: биологические особенности, значение, распространение.....	11
1.2 Агрохимическая и физиологическая роль цинка и меди	17
1.3 Вопросы агротехники, питания и качества эхинацеи пурпурной	21
1.4 Интеграционная система «ПРОД» в оценке действия микроэлементов в системе «удобрение-почва-растение»	27
2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ...	31
2.1 Почвенно-климатические особенности зоны южной лесостепи и метеорологические условия в годы проведения исследований.....	31
2.2 Агрохимическая характеристика почвы опытного участка.....	36
2.3 Объекты, агротехника и методика проведения исследований	39
3 ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ В УДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА	45
3.1 Влияние цинковых и медных удобрений на урожайность эхинацеи пурпурной.....	46
4 ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ	59
4.1 Содержание цинка и меди в лугово-черноземной почве при внесении микроудобрений.....	60
4.2 Взаимовлияние ионов цинка и меди при внесении микроудобрений	69
4.3 Взаимосвязь урожайности эхинацеи пурпурной с содержанием цинка и меди в лугово-черноземной почве	78
4.4 Влияние микроудобрений цинка и меди на уровень содержания N-NO ₃ , P ₂ O ₅ и K ₂ O в лугово-черноземной почве.....	82

4.5	Способность эхинацеи пурпурной к усвоению макро- и микроэлементов из почвы и удобрений	88
5	РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ.....	98
5.1	Взаимосвязь в питании растений при применении расчетных доз Zn и Cu под лекарственную культуру эхинацею пурпурную.....	100
5.2	Содержание Nn, Pn, Kc в растениях эхинацеи пурпурной при внесении цинка и меди.....	120
5.3	Оптимальные уровни и соотношения элементов питания в растениях и их связи с урожаем.....	126
6	УДОБРЕНИЕ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ	134
6.1	Влияние цинка и меди на качество урожая эхинацеи пурпурной.....	135
6.2	Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной	152
7	БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОД ЭХИНАЦЕЮ ПУРПУРНУЮ	156
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	164
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	165
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	166
	ПРИЛОЖЕНИЯ	199

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. На земле произрастают тысячи разнообразных растений. Среди них – большое количество лекарственных, продукция которых используется как в традиционной, так и в народной медицине, парфюмерии и косметологии, в ветеринарной практике, пищевой промышленности, для ландшафтного дизайна и др. [168].

Несмотря на успехи химии, давшей медицине много новых эффективных лекарств, использование целебных растений приобретает все большие масштабы. Возрастающее внимание к лекарственным растениям способствует возникновение большого числа случаев непереносимости ряда синтетических препаратов и антибиотиков, побочные явления при их применении проявляются в так называемой «лекарственной болезни» (болезни от лечения) [174].

Потребность рынка России в лекарственном сырье составляет 50 тыс. тонн в год, импорт из РФ лекарственных трав - 80%. Доля травяного экспорта на сегодняшний день ничтожная — 0,001% от всего экспорта РФ [239]. Именно поэтому в 2016 году правительство начало реализацию Проекта «Возрождение отрасли лекарственного растениеводства в РФ» направления «Превентивная медицина» Дорожной карты «ХелсНет» Национальной-технологической инициативы (НТИ). Согласно данному проекту к 2035 году в России планируется развивать фармацевтическую базу, а именно: запустить не менее 25 научно-образовательных агротехнопарков, которые будут заниматься производством растительных лекарственных препаратов и субстанций (жидких, сухих и гранулированных), а также создать до 300 тыс. фермерских хозяйств и сельскохозяйственных производственных кооперативов, которые займутся выращиванием, первичной переработкой и хранением лекарственного сырья [146].

Площади посева культивируемых лекарственных культур в 2017 году в России составила 8,4 тыс. га, эфиромасличных культур –122,9 тыс. га. В

Сибирском Центральном, Приволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральном округе сосредоточено основное производство лекарственных и эфиромасличных растений [277].

Собираемые лекарственные травы представлены не только дикоросами, значительная часть лекарственных растений введена в культуру. Среди перспективных растений с дикими свойствами следует отметить неспецифическое растение для нашего региона – эхинацею пурпурную.

В последнее время внимание исследователей стал привлекать микроэлементный состав пищевых и лекарственных растений, проводятся работы по искусственному обогащению микроэлементами растений, чтобы ликвидировать дисбаланс тех или иных микроэлементов в растениях и как следствие в организме человека [24, 232, 233, 252, 254].

Большинство чернозёмных почв Омской области по данным агрохимического мониторинга характеризуется недостаточным содержанием подвижного цинка и меди [156]. Острый дефицит цинка и меди в почвах отражается на продуктивности растений, а использование микроэлементов способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, повышению качества продукции оказывает положительное воздействие на животных и др. [233].

В связи с этим, наряду с вопросами повышения продуктивности лекарственных растений, целесообразно изучение содержания биологически активных веществ и микроэлементов в лекарственном сырье на основе почвенной и растительной диагностики питания растений и эффективности применения удобрений.

Степень разработанности темы.

Проблемам повышения продуктивности эхинацеи пурпурной за счет использования макро- и микроудобрений посвящены работы В.С. Бойко (1998), Е.Ю. Бабаевой и др. (1998, 2003, 2011) [24, 54, 142], Т.Н. Беляевой и др. (2003, 2014) [29, 30], Е.О. Никольской (2008) [187], В.И. Антипова (2009) [19], Д.А. Костылева и др. (2009) [151], Л.Н. Шашко (2009) [282], Л.Ю. Гончаровой (2012)

[55], А.Г. Губанева и др. (2013 г.) [288], В.Б. Загуменникова (2014) [129, 130], и др. Результаты исследований, показывают высокую эффективность применения удобрений под изучаемую культуру. При этом не изучалась эффективность применения цинковых и медных удобрений с целью повышения урожайности и качества лекарственного сырья эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве Западной Сибири.

Цель исследований – изучить эффективность применения цинковых и медных удобрений при диагностировании и оптимизации минерального питания эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Задачи исследований:

– выявить действие и последствие расчетных доз микроэлементов (цинка, меди) на урожайность и показатели качества эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве;

– изучить влияние цинковых и медных удобрений на химический состав лугово-черноземной почвы и растений эхинацеи пурпурной;

– определить нормативные количественные характеристики интенсивности действия единицы внесенных в почву микроэлементов на содержание основных макро- и микроэлементов в почве, растениях и показатели качества лекарственного сырья;

– определить нормативные количественные показатели выноса основных элементов питания урожаем, коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КИП), показатели эффективности микроудобрений (ПЭУ);

– дать оценку биоэнергетической и экономической эффективности применяемых микроудобрений.

Научная новизна определяется отсутствием на сегодняшний день конкретных рекомендаций по эффективности применения макро- и микроэлементов под эхинацею пурпурную с целью получения высоких урожаев и качества. Впервые, используя принципы единого комплексного метода почвенно-растительной оперативной диагностики («ПРОД»), для условий южной лесостепи

Западной Сибири были установлены нормативные количественные характеристики, отражающие взаимосвязь формирования величины урожая эхинацеи пурпурной, химического состава почвы, растений, качества лекарственного сырья с дозами микроудобрений, вносимыми в почву. Определены оптимальные уровни содержания и соотношения цинка и меди в почве и растениях, нормативные агрохимические и физиологические показатели почвы и растений. Установленные параметры позволяют диагностировать и оптимизировать питание растений эхинацеи пурпурной в процессе роста и развития и управлять эффективностью применения микроэлементов (Zn, Cu).

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в разработке научно обоснованной системы диагностики и оптимизации минерального питания цинком и меди эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве в условиях юга Западной Сибири, обеспечивающей повышение урожайности и улучшение качества лекарственного сырья при высоких показателях экономической и биоэнергетической эффективности.

В ходе работы были установлены оптимальные дозы цинковых и медных удобрений для повышения урожайности эхинацеи пурпурной, определено качество лекарственного сырья, оптимальное содержание цинка и меди в лугово-черноземной почве и растениях, нормативные агрохимические параметры. Материалы работы могут быть использованы при промышленном выращивании эхинацеи пурпурной в условиях юга Западной Сибири.

Практическая значимость и реализация результатов исследований.

Разработаны и научно обоснованы результаты по применению цинка и меди под эхинацею пурпурную на лугово-черноземной почве в зональных условиях Западной Сибири.

Выявленные закономерности в системе «микроудобрения (Zn, Cu) – почва – растение» позволяют оптимизировать поступление цинка и меди в растения, создавать уравновешенное питание и тем самым управлять процессом формирования величины и качества урожая эхинацеи пурпурной. Разработка гибкой системы удобрения эхинацеи, позволяет повысить окупаемость

микроудобрений урожаем и снизить затраты на удобрения.

Результаты исследований являются научной основой для создания комплексной зональной системы возделывания лекарственных культур и повышении их продуктивности с использованием микроудобрений.

Данные исследований внедрены в учебный процесс кафедры агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина. Также материалы исследований используются в агрохимической службе ЦАС «Омский».

Методология и методы исследований. В основу методологического подхода при проведении исследований положены принципы единого метода почвенно-растительной оперативной диагностики («ПРОД») минерального питания, эффективности удобрений и качества урожая, разработанные Ю.И. Ермохиным [98, 99, 103, 105, 106].

Полевые опыты и лабораторные исследования проведены по методикам, которые изложены в разделе «Объекты, агротехника и методика проведения исследований» соответствующей главы диссертации.

Планирование, постановку и проведение полевых опытов осуществляли, руководствуясь методикой опытного дела Б.А. Доспехова (1985) [89]. В работе широко использованы современные методы лабораторных, полевых и агрохимических исследований, методы статистической обработки результатов экспериментальных данных и их интерпретация: «Проведение полевых опытов с лекарственными культурами (1981)» [209], «Методика исследований при интродукции лекарственных растений (1984)» [172].

Методы исследований – полевые и лабораторные опыты. При получении и обработке экспериментальных данных были использованы экспериментальные, аналитические, статистические, энергетические и экономические методы исследований.

Для определения макро- и микроэлементов в лугово-черноземной почве и растительном сырье, а также показателей качества эхинацеи пурпурной были использованы аналитические методы.

Достоверность результатов экспериментальных исследований подтверждена статистической обработкой полученных данных методами дисперсионного и корреляционного анализа.

Основные положения, выносимые на защиту:

– установленные оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов (цинка и меди) в лугово-черноземной почве и растениях позволяют диагностировать и оптимизировать минеральное питание эхинацеи пурпурной в период её роста и развития;

– разработанная система «ПРОД» эхинацеи пурпурной позволяет устанавливать оптимальные дозы микроудобрений и с использованием управлять урожайностью и качеством лекарственного сырья.

Достоверность исследований и выводов диссертационной работы основывается на данных полевых и экспериментальных исследований, в работе использовались стандартные и проверенные методы исследований, полученные результаты подвергались статистической обработке.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы были представлены докладами и обсуждены на: I Региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов» (Омск, 2017); Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды «Экологические чтения- 2017» (Омск, 2017); Международной научно-практической конференции «Научные инновации – аграрному производству» (Омск, 2018); II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК» (Тюмень, 2018); Национальной научно-практической конференции «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (Рязань, 2018); Международной научно-практической конференции «Экологические чтения» (Омск, 2018); X, XI Национальной научно-практической конференции «Экологические чтения» (Омск, 2019, 2020);

Публикации. По теме исследования опубликовано 21 работа, отражающая основные положения исследования, среди которых – 8 публикаций в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 2 статьи в журнале из базы Scopus.

Личный вклад. В основу данной работы положены собственные исследования автора. Автор принимала непосредственное участие в составлении методики полевого опыта. Самостоятельно проводила лабораторные и полевые опыты и наблюдения, анализировала и обобщала полученные экспериментальные данные, написала текст диссертации. Доля личного участия автора в сборе и обобщении результатов исследований является определяющей.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 225 страницах. Состоит из введения, семи глав, заключения, предложений производству, приложений. Содержит 63 таблицы, 263 уравнения, иллюстрирована 34 рисунками, содержит 25 приложений. Библиографический список состоит из 322 наименования, в том числе 32 - зарубежных авторов.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за методическое руководство и всестороннюю помощь своему научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору, кафедры агрохимии и почвоведения, заслуженному деятелю науки РФ, академику Российской и Международной академии аграрного образования, лауреату премии имени академика Д.Н. Прянишникова, Почётному работнику ВПО, Юрию Ивановичу Ермохину.

За регулярную помощь в проведении полевых опытов с удобрениями и эхинацеей пурпурной, а также в проведении лабораторных исследований автор благодарит преподавателей и лаборантов кафедры агрохимии и почвоведения, а также студентов факультета агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования Омского ГАУ, принимавшим участие в проведении исследований.

1 ИСТОРИЯ И СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА

В последнее лекарственные растения полей и лесов и препараты на их основе привлекают к себе большое внимание сотен тысяч пациентов в России и за рубежом. Терапевтическая ценность множества лекарственных растений (тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, ромашка лекарственная, пустырник пятилопастной, валериана лекарственная и др.) изучены, признаны официальной медициной. Сегодня на основе растений лекарства, отпускаемые в аптеках РФ, составляют 35-40% [61].

В последние десятилетия наблюдается заметная тенденция увеличения числа потребителей лекарственных препаратов на растительной основе. В лечении многих заболеваний пациенты отдают предпочтение природным компонентам так, как они, чаще всего, оказывают комплексное воздействие на организм, являются более безопасными, и обладают эффектом накопления биологически активного вещества в организме. Такая динамика повлекла за собой увеличение производителей, занимающихся выпуском лекарственного растительного сырья и препаратов на его основе [167, 182, 214].

1.1 Эхинацея пурпурная: биологические особенности, значение, распространение

Биологические особенности Эхинацеи пурпурной

Echinacea purpurea (L.) Moench (эхинацея пурпурная) – ценное лекарственное растение семейства *Compositae* или *Asteraceae*. Род эхинацеи насчитывает пять видов травянистых растений, которые встречаются в районах Северной Америки и Мексики в диком виде. Это многолетний корневищник с прямыми стеблями достигающий в высоту 1-1,5 м соцветиями пурпурного цвета, (Рисунок 1) [231].



Рисунок 1- Эхинацея пурпурная (фаза цветения).

В 20 веке настойка эхинацеи становится востребованным лекарственным средством в США. В Германии эхинацею использовали в профилактических целях, изучали её фармакологические свойства и способы производства лекарственных препаратов [301].

Существует множество видов эхинацеи, нашедшие применение в ландшафтном дизайне, парфюмерии, медицине. В медицинских целях широко используются следующие виды эхинацеи: пурпурная, бледная, узколистая, парадоксальная, теннессийская, темно-красная, лавигата и сангвиническая [221, 293, 301, 308].

У эхинацеи пурпурной формируются стеблевые и розеточные листья, которые окрашены в темно-зелёный цвет, с обеих сторон опущены. Форма листьев разнообразная: удлинённая, продолговатая и округлая, в процессе вегетации может изменяться [125, 271].

В первый год жизни растения эхинацеи пурпурной в высоту достигают 50 см, имеют одну крупную корзинку. Число соцветий, побегов и новых розеточных

листьев увеличивается с возрастом растений эхинацеи. Растения третьего года жизни превосходят двулетние по всем параметрам [17].

В исследованиях В.А. Меньшовой установлено, что цветение эхинацеи пурпурной начинается с язычковых цветков. Цветение корзинки продолжительнее – 2 недели, цветение трубчатого цветка короче и длится 2 дня [170].

Плоды четырёхгранные семянки. Наблюдается выраженная симметрия формы семянок. Характерная особенность – наличие темно-коричневого ободка под коронкой [171].

Установлено, что период цветения эхинацеи пурпурной в среднем 75 дней, с июня по август [204].

Установлено, что высокая всхожесть у семянок эхинацеи пурпурной сохраняется больше года, впоследствии длительного хранения значительно снижается [87].

Значение Эхинацеи пурпурной

Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*) – это травянистый многолетник, принадлежащий к семейству астровых (*Asteraceae*), родина которого – Северная Америка [65, 168, 204]. Своё современное название растение получило в 1753 году от шведского ботаника Карла Линнея.

Доля изготавливаемых препаратов на растительной основе составляет более 30%. Биологическая и иммунная активность *Echinacea purpurea* на организмы человека и животных доказана проведенными многочисленными исследованиями [281].

Препараты имеющие в своем составе эхинацею пурпурную применяют для профилактики нарушения работы иммунной системы [66, 179, 207, 266, 293], в комплексном лечении симптоматического гингивита и пародонтита у подростков и больных тяжелой формой инсулинозависимого сахарного диабета [137].

Выявлено протективное влияние спиртовой настойки эхинацеи пурпурной при свинцовой интоксикации, что позволяет обоснованно прогнозировать

защитный эффект препаратов эхинацеи пурпурной [82]. Данное растение используют для лечения больных раком желудка, молочных желез и лимфогранулематозом, получающим лучевую терапию [208]. Свежеприготовленная 70% спиртовая настойка из корней *Echinacea purpurea* помогает в устранении ряда проблем, а именно: улучшает работу ЖКТ (желудочно-кишечного тракта), повышает работоспособность, устраняет апатию и др. [266].

Более 200 лекарственных препаратов в Западной Европе изготавливают на основе эхинацеи пурпурной, их основное достоинство – эффективность при лечении инфекционных процессов, когда возбудитель устойчив к химическим препаратам [61, 123, 162, 319].

На Украине эхинацею пурпурную используют в качестве лекарственного средства, как биостимулятор, поддерживающий иммунологический и физиологический статус организма и др. Препараты основой которых является *Echinacea* активно используют в животноводстве для увеличения прироста поголовья молодняка, а также при лечении болезней скота (желудочно-кишечных заболеваний) и др. [83].

Эхинацея пурпурная – высокобелковая культура. Наличие эхинацеи в рационах животных способствует снижению общей смертности животных, приводит к сокращению времени лечения КРС (крупнорогатого скота), снижению повторных заболеваний до 35%. Добавки эхинацеи помогают в профилактике бесплодия животных, у кур увеличивается яйценоскость, у цыплят-бройлеров ускоряется рост и увеличивается убойный вес [47, 81, 185].

Д.В. Горченко (2003) отмечает, что настойка на основе эхинацеи пурпурной обладает антибактериальным эффектом, может сдерживать рост и развитие различных патогенных микроорганизмов: золотистого стафилококка, синегнойной палочки, фекального энтерококка, кишечной палочки и др. [66].

На базе Горского ГАУ А.М. Караевой (2006) проведены исследования по использованию настойки эхинацеи в рационах телят-молочников. Ежедневное

применение оказало положительное влияние на иммунологические и гематологические показатели подопытных животных [140].

А.И. Дарьин (2010) предложил использовать добавки травы эхинацеи в рацион в виде травяной муки, тем самым улучшая свойства откормочных и воспроизводительных свиноматок, хряков-производителей [80].

В.Н. Самородовым, А.В. Харченко и др. установлено, что наличие лечебных свойств эхинацеи пурпурной обусловлено содержанием ряда биологически активных веществ как в наземных, так и подземных органах, а именно: эфирных масел, дубильных веществ, полисахаридов, крахмала, глюкозы, пектина, ксилозы, производных кофейной кислоты, фруктозы, флавоноидов, алкалоидов, полинов, рамнозы, сапонинов, инулина, органических кислот, маннозы, сахарозы, микроэлементов и др [265, 268].

Установлено, что эхинацея пурпурная – перспективное медоносное с высокой нектаропродуктивностью растение [243].

Распространение эхинацеи пурпурной

Род *Echinacea* впервые был описан под названием *Lepachis Rafin* в работах Конрада Менхема в 1794 г. и К.С. Рафинеску-Шмальца 1819 г. Род получил название от греческого «*echinos*» - «ёж» из-за колючих игловидных листочков обертки (Рисунок 2-3) [230].

Первопроходцами в использовании эхинацеи пурпурной в лечебных целях, как отмечает С. Hobbs, были североамериканские индейцы, которые использовали ее все части в чистом виде или смеси с другими травами буквально от всех болезней, лечения простуды, заживление ран и укусов змей и др [304].



Рисунок 2
Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*)



Рисунок 3

В Европу эхинацея попала в конце 17 века. В царской России эхинацея пурпурная известна в культуре с конца 15 века. С XIX эхинацею интродуцировали в России как декоративное растение. Одни из первых интродукционных исследований с эхинацеей пурпурной были проведены в послевоенное время (1946 г.) на Украинской зональной опытной станции Всесоюзного института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), семена которой урожая 1945 г. в количестве 5 кг были привезены из Германии. Программа интродукции продолжалась до 1954 года и была успешной. Возрождение культуры произошло в 80-е годы XX века, после катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции. Пострадавшие немедленно нуждались в средстве, обладающим иммуномодулирующим и радиопротекторным действием. Таким растением, на которое обратили внимание, оказалась эхинацея пурпурная.

Об эхинацеи можно сказать, что она пластичная и нетребовательная культура, способная произрастать в условиях умеренного и достаточного увлажнения. Эхинацеи культивируется с 1990 года в Краснодарском крае [23, 64].

На территории Российской Федерации эхинацея пурпурная в естественных условиях не произрастает, но культивируется в европейской части России (опытные станции ВИЛАРа) и на Северном Кавказе. В России проводятся многочисленные опыты с эхинацеей пурпурной в различных почвенно-климатических условиях. Активно возделывается на Украине, выращивают в Австралии, Индии и Великобритании. Эхинацея культивируется как лекарственное и декоративное растение.

1.2 Агрохимическая и физиологическая роль цинка и меди

Многообразны и разносторонне физиологическая и агрохимическая роль микроэлементов. Доказано, что все элементы, поглощаемые растениями, так или иначе, участвуют в жизненных процессах. При действии микроэлементов на растение увеличивается их устойчивость к болезням (бактериальные и грибные), к различным неблагоприятным условиям среды (избыток или недостаток влаги в почве, низкие или высокие температуры и многое др.) [18].

Основоположниками учения о микроэлементах являются зарубежные [311, 315] и др. и отечественные учёные [52, 144, 173, 176]. Исследования данных авторов касаются не только микроэлементов в различных средах, а также их способности к миграции и аккумулярованию, влияние недостатка и избытка микроэлементов на развитие всех живых организмов (растений, животных и человека).

Круг вопросов изучаемых в области агрохимии микроэлементов необъятный. Закономерности накопления и распределения микроэлементов (Mn, Cu, Zn и Co) в основных типах почв и растений Западной Сибири изучены Г.П. Гамзиковым, Н.Н. Сказаловой [60, 235], Э.Д. Орловой [193], меди и молибдена – В.А. Агеевым [3], бора – Э.Д. Орловой, А.А. Неупокоевым [195], Ю.А. Азаренко [5], В. Б. Ильиным [132, 133, 134, 135].

Проведено огромное количество опытов (вегетационных и полевых) с различными микроэлементами (цинк, марганец, медь, бор, молибден, кобальт и др.) на различных типах почв с зерновыми, овощными культурами и продолжает развиваться новое, перспективное направление по оптимизации микроэлементного питания лекарственных культур [14, 45, 249, 250, 252, 253, 254].

Цинк в почве

В среднем земная кора содержит 83 мг Zn /кг. Это литофильный и халькофильный элемент имеет сходство с серой. Zn адсорбируется в озёрных и болотных рудах, обогащённых железом и марганцем. Цинк – довольно подвижный элемент. В процессе выветривания Zn переходит в почвенные растворы в катионной форме (Zn^{2+}), образуя хлориды и сульфаты. Наиболее распространены в коре выветривания силикаты и карбонаты цинка [6].

Известно около 64 минералов, в состав которых, входит Zn (цинкит или красная цинковая руда, сфалерит или цинковая обманка, виллемит и др.). В кислых почвах отмечается наибольшая подвижность цинка и его соединений, при уменьшении кислотности подвижность Zn снижается [196]. Основная причина недостатка Zn – его низкая подвижность в почвах [303].

Агрохимическое обследование пахотных почв РФ установило, что 97,5% всей обследованной территории характеризуется низким и средним содержанием подвижного цинка [20].

Чернозёмы в среднем содержат 0,17 мг/кг цинка. Для почв юга Западной Сибири, характерны незначительные концентрации цинка от 0,05 до 0,1 мг/кг [6].

Валовое содержание цинка в различных почвах варьирует от 28,4 мг/кг (дерново-подзолистая) до 59,5 мг/кг (южный чернозем). Лугово-чернозёмная почва содержит 58,3 и 0,31 мг/кг валового и подвижного Zn соответственно [100].

По данным В. П. Солдатов, И. Н. Чумаченко 97,3% обследованных почв (пашни) Западной Сибири характеризуются низким содержанием Zn [242].

По данным агрохимического обследования [155] дефицит содержания цинка в пахотных почвах Омской области составляет более 98,9%.

Цинк в растениях

Необходимость цинка для растений научно обоснованно около 70 лет назад, но существование проблемы в мире признано недавно [292].

Впервые сведения о необходимости цинка растениям были получены Г. Формахером (1855 г.). Позднее К.А. Тимирязевым (1872 г.) установлено, что цинк устраняет хлороз у растений [194, 196].

Физиологическая роль Zn многогранна. Выполняет каталитическую и структурно-регуляторную функции, участвует в обмене белков, углеводов, жиров, нуклеиновых кислот и др. Отсутствие семян у растений отмечается при недостатке Zn. Эффективность применения цинковых удобрений наблюдается в периоды цветения и образования плодов и семян [18, 86].

В растения цинк поступает в катионной форме в виде Zn^{2+} . Органы аккумуляции цинка не только листья растений, но и репродуктивные органы, конусы нарастания, наибольшее количество цинка содержат корни и плоды (семена) [212].

Характерные признаки дефицита Zn у растений: замедляется рост, уменьшается размер листьев, происходит заболевание хлорозом. Сильный дефицит цинка приводит к гибели растений [141, 229].

Избыток и недостаток Zn вызывает функциональные и морфологические изменения в деятельности органов и систем человека. Дефицит Zn – подавляется синтез инсулина, сперматогенез, нарушается обмен стерола [302], у детей и подростков угнетается рост, интеллект и половые признаки [314], приводит к усиленному накоплению Cd, Pb, Fe и Cu [234].

Избыток Zn в организме человека влияет на дефицит кальция и всех эссенциальных микроэлементов [236].

Медь в почве

Кларк меди земной коры равен 47 мг Cu/кг. Медь схожа с марганцем. В природе имеется большое количество минералов образованных с медью. Она легко высвобождается в процессе выветривания, особенно в кислой среде [6].

В почве медь входит в состав большого количества соединений. Ее содержит органическое вещество почвы. Кислые почвы характеризуются наибольшей подвижностью меди [196].

Валовое содержание меди в почвах РФ составляет 50 мг Cu /кг [48].

Содержание подвижной формы элемента в черноземной и лугово-черноземной почве лесной и степной зон области равен 0,12-0,11 мг/кг [267].

В почвах юга западной Сибири содержание подвижной Cu колеблется от 0,2 до 14,6 мг/кг [6].

В исследованиях Ю.А. Азаренко установлено, что содержание подвижной меди в почвах юга Западной Сибири ниже, чем в северных почвах [7].

Следует отметить, что дефицит меди в почвах Омской области установлен более чем на 47,1% обследованной территории [156].

Медь в растениях

Медь содержат ферменты, улучшающие интенсивность фотосинтеза, участвуют в окислительно - восстановительных процессах, оказывают положительное влияние на углеводный и азотный обмены, способствуют образованию хлорофилла, повышают устойчивость растений к грибковым и бактериальным заболеваниям. Специфичность роли меди – её нельзя заменить другим элементом [18].

Характерными признаками дефицита Cu являются: побеление кончиков листьев их скручивание, увядание и отмирание, задержка перехода растений в генеративные фазы, неравномерное развитие колоса растений, уродливость соцветий и др. Дефицит элемента приводит к обильному кущению растений, образованию новых побегов без продуктивных стеблей [18, 86].

Присутствие меди в организме человека обусловлено антиоксидантной защитой организма. Cu участвует во многих процессах: обмен веществ, образование клеток крови и др. [192].

Огромная роль Cu в метаболизме коллагена и развитию опорно-двигательного аппарата [294].

При дефиците меди тормозится всасывание железа, что приводит к проблемам с сердечно – сосудистой системой [305].

1.3 Вопросы агротехники, питания и качества эхинацеи пурпурной

Исследований по изучению прямого влияния применения удобрений на продуктивность и качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной не много. Но все, же в связи с интересом, актуальностью и перспективностью данного лекарственного растения чаще всего в последние годы стали проводится исследования связанные с изучением биологических особенностей эхинацеи пурпурной, влияния различных макро- и микроэлементов, биопрепаратов на энергию прорастания, полевую всхожесть, урожайность и качество сырья эхинацеи пурпурной.

Фундаментальных исследований, посвященных эхинацеи пурпурной немного. Имеющиеся работы, можно разделить на несколько блоков:

Первый блок включает работы, посвященные агротехнике эхинацеи пурпурной при возделывании в различных почвенно-климатических условиях.

При изучении интродукции эхинацеи пурпурной в условиях лесостепи Украины, отмечается, что наиболее высокие урожаи эхинацеи пурпурной получены на плодородных, с достаточным содержанием влаги и чистых от сорняков почвах, лёгкого гранулометрического состава [205].

В исследованиях Л. В. Анищенко определены лучшие предшественники (чистый пар, многолетние травы), сроки сева, глубина заделки и норма сева семян (1,5-2 см – 9-10 кг/га) для эхинацеи пурпурной. Для улучшения минерального питания растений в ранний период вегетации возможно смешивание семян с суперфосфатом 1:2 [17].

Исследованиями О.В. Сторож установлено, урожай весеннего срока сева в зависимости от ширины междурядий превышал урожай биомассы второго года вегетации исследуемых сортов от 0,6 и 0,3 до 1,2 и 0,9 т/га [248].

Авторами С. Д. Сабыр, Ж. С. Жургенов и А. К. Суримбаева отмечается, что процент всхожести семян выше на более позднем весеннем севе (10 апреля) – 50% и раннем осеннем сроке сева (30 октября) – 34%. Выявлена оптимальная норма высева семян эхинацеи 50 шт/м², увеличение нормы высева приводит к загущению участков, что сказывается на высоте растений и других биометрических показателях растений [219].

В. Е. Ториков и И. И. Мешков в своих исследованиях установили, что в условиях Брянской области эхинацея пурпурная растет на хорошо дренированных почвах лёгкого гранулометрического состава с недостатком элементов питания. Семена высевают в открытый грунт на глубину 2-3 см, с нормой 12 кг/га, при рассадном способе посадке используют схему 70x20см [256].

Ряд авторов Е.Ю. Бабаева и др установили, что оптимальная концентрация селенита для обработки – 0,02%, всхожесть семян увеличилась на 16%. При обработке семян сульфатом марганца 6-часовой экспозиции в концентрации раствора 0,2% энергия прорастания и лабораторная всхожесть составили 72% и 87,5% соответственно. Наибольший эффект от намачивания семян показали варианты с 12 и 18-часовой экспозицией, максимальное значение энергии прорастания семянок отмечено при концентрации 0,05% (80-83%), а лабораторной всхожести до концентрации 0,1% (90-89%) [142].

При изучении глубины заделки семян эхинацеи пурпурной в Низгорьях Алтая, установлено, что глубина посева зависит от влажности, механического состава почвы и размена высеваемых семян. Экспериментально установлено, что массовые всходы растений эхинацеи появились при глубине заделки семян: на 1 см на 24 день, 2 см на 13 день, 3 см на 17 день, 4-5 см на 21 день. Установлено, что сохранность при перезимовке растений эхинацеи, лучше всего обеспечивают глубины 3, 4 и 5 см [91].

При изучении технологии возделывания эхинацеи пурпурной в южной лесостепи Республики Башкортостан Н. А. Замановой, выявлено, что на всхожесть семян положительное действие оказывает раствор селенита натрия в концентрации 0,02%. Наибольшая полученная урожайность лекарственного сырья

второго и последующего года равна 9,17-9,93 т/га. При возделывании эхинацеи с шириной междурядий 45 см получена максимальная масса корневищ [122].

В опытах В. А. Гущина выявлено, что растения эхинацеи сорта Полесская красавица, за три года исследований способны сформировать максимальный урожай 10,17 т/га при подзимнем посеве. Таким, образом, для получения полноценного урожая лекарственного сырья эхинацеи пурпурной, в данных условиях, рекомендуется посев культуры поздней осенью [78].

Второй блок включает работы, посвященные минеральному питанию эхинацеи пурпурной:

Исследованиями В. С. Бойко установлено, что наибольшая урожайность биомассы сухого вещества и корневищ эхинацеи пурпурной в первый год исследований 45-50 и 18-19 ц/га, получено при внесении навоза в дозе 40 т/га по фону ($N_{45}P_{45}K_{45}$). Во второй год вегетации эхинацеи отмечается, что урожайность корневищ повысилась до 19-26 ц/га, сухого вещества - до 83-105 ц/га. Так же автор отмечает, что органические, минеральные и органоминеральные удобрения увеличивают урожайность корней лекарственной культуры (16-19 ц/га) и урожайность сухого вещества (42-50 ц/га), а прикорневые подкормки нитроаммофоской, осуществляемые ранней весной, обеспечивают увеличение урожайности воздушно-сухих корневищ и корней от 6,7 до 10,5 ц/га [37, 38, 39].

В результате многолетних исследований Е. О. Никольской с эхинацеей пурпурной установлено: увеличение всхожести, зимостойкости и выживаемости семян эхинацеи на 10,6%, 4,4 и 12,0% соответственно. Максимальная урожайность эхинацеи – 7,67 и 1,89 т/га получена при внесении Байкал ЭМ-1 в сочетании с подкормкой [187].

Авторы Л. Н. Шашко и А. В. Шашко установили, что выращивание эхинацеи на дерново-подзолистых почвах с загрязнением почвы цезием-137 наиболее эффективно при использовании минеральных удобрений (NPK) в дозе 60 кг/га, так же на этом варианте отмечается максимальный полученный урожай, а также минимальное содержание в растениях ^{137}Cs [282].

В. И. Антипов установил, что обработка семян эхинацеи пурпурной регулятором роста Эпин-экстра и некорневая подкормка микроудобрениями Феровит и Цитовит вегетирующих растений способствует повышению всхожести и урожайности лекарственного сырья [19].

Авторами Л. Ю. Гончарова и др. отмечается эффективное влияние удобрений Белогор и Лигногумат на продуктивность эхинацеи пурпурной. Так, при использовании Белогора урожайность эхинацеи в 2009 году составила 4,5 ц/га, в 2010 году – 46,3 ц/га, использование Лигногумата позволило получить урожайность эхинацеи в 2009 году – 4,2 ц/га, в 2010 – 45,2 ц/га [55].

Исследованиями А. Г. Губанева и др. установлено, что предпосевное внесение минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$) под эхинацею пурпурную, позволяет получить наиболее высокую урожайность биомассы травы 71,1 ц/га и корней 20,1 ц/га [288].

Однако следует отметить, что в работах с минеральными удобрениями эхинацеи пурпурной не отмечается тип почвы по гранулометрическому составу, уровню содержания и соотношения элементов питания в почве каждого слоя, что не позволяет сделать вывод в каких случаях применяемые дозы и сочетания минеральных и органических удобрений более эффективны.

Третий блок включает работы, посвященные качеству растительного сырья эхинацеи пурпурной.

В.С. Бойко в своих исследованиях, отмечает, что внесенные органические и минеральные удобрения влияют на качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной. Так, внесение навоза в дозе 45 т/га по фону ($N_{45}P_{45}K_{45}$) оказывает положительное действие на содержание действующих веществ, как в сырье, так и в корнях растения. Установлено, что применение удобрений под эхинацею пурпурную с целью повышения её качества эффективно [37].

В исследованиях Е. Ю. Бабаевой и др. установлено, что внесение возрастающих доз азотных удобрений способствует увеличению содержания суммы производных оксикоричных кислот в пересчёте на цикориевую кислоту (ПОКК) от 16 до 52 %. Наибольшее содержание ПОКК отмечается при

использовании 2 % раствора мочевины в фазу розетки – 3,71%, наименьшее при обработке 1% раствором мочевины – 2,65%. Наибольшее содержание ПОКК при обработке растений эхинацеи марганцем и цинком отмечается при концентрации $MnSO_4$ и $ZnSO_4$ – 0,05% в фазы бутонизации и цветения – 3,28-4,22%. Так же доказано, что содержание биологически активных соединений в сырье эхинацеи увеличивалось по всем вариантам опыта с увеличением концентраций применяемых микроудобрений. Применение микроэлементов под эхинацею пурпурную, способствует обогащению сырья Mn, Zn, концентрация Cu и Co изменяется незначительно [54, 261].

При изучении выращивания *Echinacea purpurea* (L.) Moench установлено, что содержание биологически активных веществ в органах растений зависит от условий произрастания и года вегетации растений. Так, наибольшее содержание БАВ отмечается в листьях и соцветиях, наименьшее в стеблях. Максимальное накопление гидрооксикоричных кислот отмечается у растений 3-го года вегетации, в листьях и соцветиях варьирует 0,8-5,1%, в стеблях изменяется 0,5-2,2% [29].

Рядом авторов Д. А. Костылевым, Н. А. Замановой и З. М. Хасановой установлено, что максимальное содержание оксикоричных кислот (ОКК) в фазу розетки в листьях и корнях эхинацеи – до 8,2-7,1%, в фазу бутонизации и цветения – в бутонах и соцветиях растений (5,13-4,66%). Наибольшее общее содержание ОКК отмечается в растениях и корнях второго года вегетации эхинацеи пурпурной [151].

В исследованиях, проведенных в Нечерноземной зоне РФ, отмечается, что внесение подкормки карбамида в 2009 г. снижает концентрацию аскорбиновой кислоты в листьях растений второго третьего годов жизни. В последующие годы происходит увеличение содержания аскорбиновой кислоты в растениях эхинацеи. Некорневые подкормки 0,1% сульфатом кобальта повышают содержание АК на 24,7 и 4,8 мг%. Сок более зрелых растений (6-7 год вегетации) содержит значительно меньше АК [129].

В результате проведенных исследований В. Б. Загуменниковым и др. стоит заключить: больше всего АК содержат листья эхинацеи 3 и 5 года вегетации – 26,6-28,16 мг%, меньше всего – стебли 1 и 7 года – 5,2-6,04 мг%. Наибольшее количество АК в соке эхинацеи отмечается в растениях 3 года. Увеличение концентрации АК в жоме свежем происходит с каждым годом вегетации, так максимальное количество АК отмечается на 5 год произрастания растений [130].

В результате проведенных многолетних исследований Т.Н. Беляевой, выявлены образцы и сорта эхинацеи пурпурной, отличающиеся высоким содержанием БАВ, а также установлено, что применение регулятора роста «Эпин-Экстра» оказало положительное действие на качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной. Суммы гидрооксикоричных кислот варьировали в листьях и соцветиях различных сортов эхинацеи пурпурной от 0,8 до 5,8 %, в стеблях – от 0,4 до 2,2 % сухого вещества. Содержание полисахаридов в листьях и соцветиях изменялись от 9,1 % до 15,9 %, дубильных веществ – от 2,7 до 16,4 %. Наибольшее количество аскорбиновой кислоты содержат стеблевые и прикорневые листья эхинацеи [30].

Таким образом, анализ проблемных вопросов показал, что изучение эхинацеи пурпурной очень перспективное направление и пользуется большим интересом у исследователей, в различных областях науки.

В заключении к третьему блоку, посвященному качеству растительного сырья эхинацеи пурпурной можно отметить, в проанализированном материале, недостаёт информации о приеме применения минеральных удобрений, способов и сроков внесения, влияния удобрений на процессы роста и развития культуры (с учетом фаз развития растений), зональных условий, агрохимических параметров элементов питания в почве, сопряженных процессов растений с окружающей средой (почва), ионного равновесия почвы и оптимального уравновешенного питания растений на весь период вегетации. Все процессы, связанные с применением минеральных и органических удобрений под эхинацею пурпурную, не получили даже минимальных взаимосвязей между «растением - удобрением и почвой». Нет количественных характеристик, которые позволили бы

диагностировать питание растений, управлять эффективным плодородием почвы и минеральным питанием эхинацеи пурпурной и прогнозировать величину качества урожая.

1.4 Интеграционная система «ПРОД» в оценке действия микроэлементов в системе «удобрение-почва-растение»

Не один из большинства имеющихся приемов (полевой опыт, визуальный, почвенный, растительный) по отдельности не способны дать полную информацию о питании растений [1, 12, 21, 22]. Следовательно, проблема состоит в том, что на сегодняшний день отсутствует единый метод анализа сложной триагональной системы «удобрение – почва – растение».

Для постановки и проведения экспериментов используется комплексный метод, он объединяет все выше перечисленное. Данный метод позволяет оценить способность почв удовлетворить потребность растений в питательных веществах, установить потребность и способность растения в усвоении питательных веществ в условиях сельскохозяйственного конкретного производства. Комплексный метод «ИСПРОД-ОмГАУ» (интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики) более полно разработан в 70-80-е годы прошлого столетия в условиях Западной Сибири для ряда культур (зерновых, овощных, кормовых и масличных) [95, 103, 106, 109, 233].

При подготовке и проведении полевых опытов, которые ориентированы получение планируемого урожая сельскохозяйственных культур в количественном и качественном отношении часто используют экспрессные методы оценки почв на основе обратной связи в системе «удобрение ↔ почва ↔ растение» - идентификация ответной реакции почвы и развивающихся растений на этой почве [10, 26, 34, 36, 41, 42, 43].

На рисунке 4 представлена модель «Интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики («ИСПРОД»), по Ю.И. Ермохину»: [98, 102, 103].



Рисунок 4 –ИСПРОД по Ю.И. Ермохину [98, 102, 103].

Данная модель «ИСПРОД» представлена как комплексный метод триединства развития агрохимии в настоящем и будущем. В основе его разработки три принципа:

I – способность почвы удовлетворить потребности растения в питательных веществах в различных зональных условиях производства;

II – потребность растения в питательных веществах и их способность к их усвоению в конкретных условиях сельскохозяйственного производства;

III – диагностика в процессе роста и развития, состояния питания растения, коррекция питания.

С использованием принципов «ИСПРОД» можно научно обоснованно давать прогноз действия удобрений на урожайность и его качество, производить коррекцию в питании растений в период его вегетации, не дожидаясь окончания онтогенеза развития, применяя формулу листового химического анализа.

Методология системы «ИСПРОД» основана на экспериментальных моделях связей при введении удобрений в систему «почва ↔ растение» и как результат изменение агрохимических и химических параметров почвы, растений, а так же ионного уравновешенного соотношения элементов питания в почве и растениях.

Методология научной школы ЮИ Ермохина комплексного аналитического метода «ИСПРОД» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая состоит их шести блоков моделирования в единой системе «удобрение ↔ почва ↔ растение» [102, 106]:

Первый блок модели «ИСПРОД» – установление прямой связи в системе «доза удобрений – урожайность», получение высокой урожайности (т/га) или прибавки (т/га или %), окупаемости единицы удобрений и установление оптимальных доз и сочетания удобрений.

Второй блок моделирования – введение в систему «удобрение – почва» - идентификация ответной реакции почвы в виде нормирования интенсивности действия внесённых удобрений на химический состав почвы (b^y) на примере математических уравнений регрессии, расчёта доз удобрений по нормативным характеристикам действия в данной системе.

Третий блок модели «ИСПРОД» – оценка состояния системы «почва-урожайность» - идентификация ответной реакции ($b_{x/y}$) урожайности на химический состав и ионное равновесие в почве. Данные прямой и обратной связи в системе «почва-урожайность» позволяют оптимизировать питание растений макро- и микроэлементами при формировании высоких урожаев.

Четвёртый блок модели «ИСПРОД» – исследование системы «почва – удобрение – растение» - идентификация ответной реакции почвы, растений, в виде математических моделей, позволяющих связать конечный результат (урожайность, химический состав растений или органов-идентификаторов на

условия питания растений) с действующими величинами (результатами химического анализа почвы, дозами применяемых удобрений).

Пятый блок модели «ИСПРОД» – нормативные коэффициенты количественных характеристик использования растениями естественных запасов элементов питания из почвы (КИП) и из применяемых удобрений (КИУ, ПЭУ), для разработки гибкой системы удобрения полей с учётом физиологических основ питания конкретных растений.

Разработанные нормативные параметры используются при расчётах доз удобрений в качестве основного внесения и в виде коррекции в период роста и развития.

Шестой блок модели «ИСПРОД» – динамика накопления доступного азота в почве (N_m , кг/га) под конкретным растением в период роста и его практическое использование при оптимизации азотного питания возделываемой культуры в зональных условиях сельскохозяйственного производства.

Таким образом, в основе разработки комплексного метода «ИСПРОД» положена методология динамической схемы взаимодействия химических элементов прямой и обратной (ответной) связи в системе «удобрение ↔ почва ↔ растение ↔ урожай, качество».

2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические особенности зоны южной лесостепи и метеорологические условия в годы проведения исследований

Южная лесостепь Западной Сибири расположена узкой полосой в Центре Западно-Сибирской равнины, занимает Ишимскую возвышенность и Барабинскую низменность (южную часть), а также Павлодарскую и Кулундинскую равнины (северную часть) [216].

Омское Прииртышье характерно типичными для данной зоны (южная лесостепь) климатическими и почвенными условиями [58].

Южная лесостепь имеет плоскую, ровную, слегка волнистую поверхность с небольшим уклоном с юга на север. Данный тип рельефа, обуславливает резко континентальный климат зоны, а именно способствует быстрому и беспрепятственному прохождению холодных и тёплых масс воздуха. Для климата характерна продолжительная и довольно суровая зима, с жарким и коротким летом [4].

Основные черты климата г. Омска: зима – холодная с небольшим количеством снега, весна – непродолжительная и сухая, с поздними возвратами холодов, лето – короткое и теплое, осень характеризуется ранними заморозками, отмечаются колебания суточных и месячных температур воздуха. Отрицательные черты климата – возможные заморозки в весенний и осенний период (поздние и ранние), которые обуславливают короткий безморозный период, тем самым сокращая периоды вегетации сельскохозяйственных культур [126].

По степени влагообеспеченности зона южной лесостепи Западной Сибири относится к районам с неустойчивым увлажнением. За полный вегетационный период значение гидротермического коэффициента (ГТК) колеблется от 0,7 до 1,0 [4].

В период проведенных многолетних полевых исследований (2016-2018 гг.) метеорологические элементы характеризовали присущие климату региона характеристики, это проявлялось в недостатке влагообеспеченности, в колебаниях температуры воздуха и др. (Рисунки 5-6, Приложения А-Б).

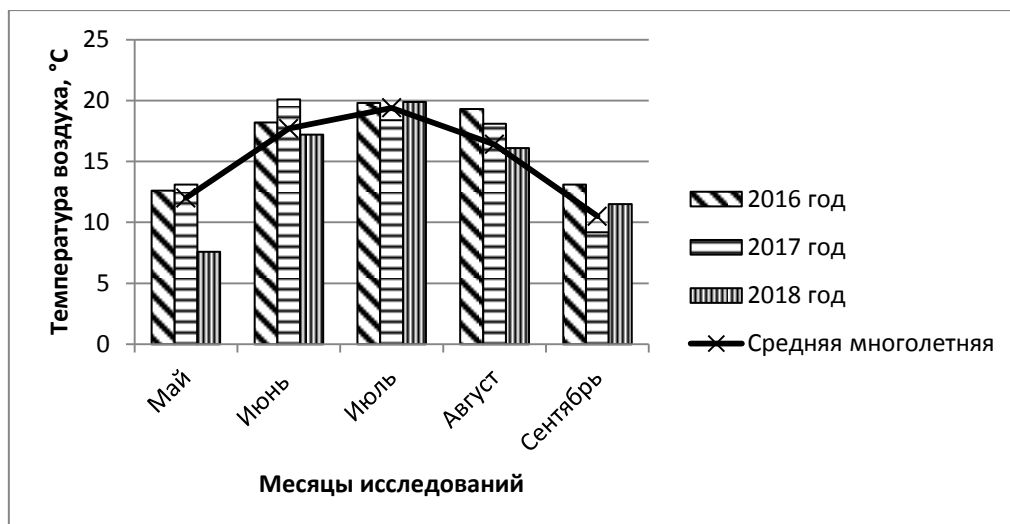


Рисунок 5 – Температурный режим за годы проведения полевых исследований, 2016-2018 гг.

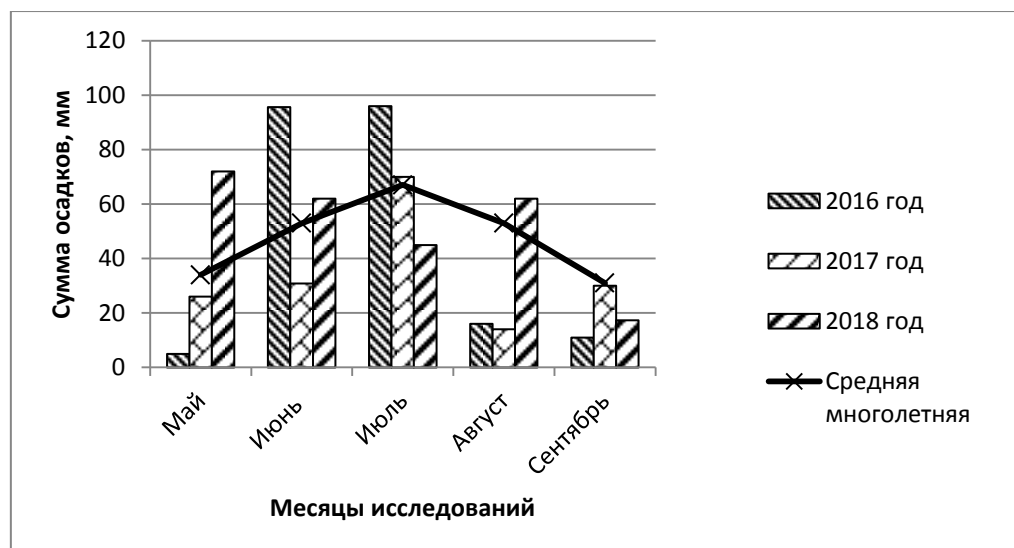


Рисунок 6 - Осадки, выпавшие за годы проведения полевых исследований, 2016-2018 гг.

Период проведения полевых исследований, принимая во внимание количество осадков за вегетационный период (май - сентябрь), и сумму

положительных температур воздуха характеризовался как: жаркий и умеренно влажный – 2016 г., жаркий и сухой – 2017 г., тёплый и влажный – 2018 г.

Погодные условия 2016 года.

В мае 2016 года преобладала умеренно теплая, с недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составила +10...13,5°C, на +1°C выше климатической нормы и ниже предыдущего года на +1-2°C. Максимальная температура воздуха составила +29...30°C. Минимальная температура в ночные часы понижалась до -4...-7 °C. За месяц осадков выпало 11-28 мм, 34-65% от нормы

В июне 2016 года преобладала умеренно теплая с недобором осадков в первой декаде погода. Среднемесячная температура воздуха составила +18...19°C, превысила многолетнюю на +1-2°C. Максимальная температура воздуха повышалась до +29-32°C. Минимальная понижалась до 0...+3°C. Осадки ливневого характера распределялись неравномерно. Максимальное и минимальное количество выпавших осадков составило 101-115 мм и 36 мм, что составило 188-264% и 72% от нормы.

В июле 2016 года преобладала устойчиво теплая и дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха составила 19...20°C, оказалась ниже многолетней на +1,0°C. Максимальная температура воздуха 13 июля достигала 28-35°C. Минимальная 27-28 июля понижалась до 6...14°C. Осадки выпадали ливневого характера. Месячная сумма осадков составила 74-147 мм, эта сумма составляет 103-277% от нормы.

В августе 2016 года наблюдалась устойчиво теплая, сухая погода. Среднемесячная температура воздуха +18-20°C оказалась выше многолетних значений на +2-4°C. Максимальная температура воздуха повышалась до +30...32 °C. Минимальная температура понижалась до +3...7°C. Месячная сумма осадков составила 20-50 мм, эта сумма составляет 49-79% от нормы.

В сентябре 2016 года преобладала теплая с недобором осадков погода. Средняя температура воздуха за месяц составила +11,5...14°C, выше многолетней

на +2-3°C. Максимальная температура воздуха составила +28°C, минимальная опускалась до 0...-3 °С. За месяц выпало 5 мм осадков.

Погодные условия 2017 года.

В мае 2017 года преобладала умеренно теплая, с недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составила +9...14°C. Максимальная температура воздуха с 28...33°C. Минимальная температура в ночные часы понижалась до -1...-6 °С. За месяц осадков выпало 16-29 мм, 55-74% от нормы.

В июне 2017 года погода характеризовалась как сухая и стабильно теплая. Среднемесячная температура воздуха составила +18...21°C, выше нормы на 2°C. За месяц с температурой воздуха 25°C и более насчитывалось 13-20 дней. Осадки в июне по количеству и территории распределялись не равномерно, наблюдались сильные ливни, количество осадков составило 22-49 мм, 50-80% от нормы.

В июле 2017 года преобладала прохладная дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха составила +17...20°C, оказалась ниже многолетней на +1,0...2°C. Максимальная температура воздуха 4, 22, 23 июля достигала +27...31°C. Минимальная понижалась до +2...6°C. Осадки выпадали во всех трех декадах. Месячная сумма осадков составила 52-122 мм, эта сумма составляет 87-214% от нормы.

В августе 2017 года наблюдалась устойчиво теплая с недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха +16...19°C, выше многолетних значений на +1...2°C. Максимальная температура воздуха 3, 6, 24, 25, 26 августа повышалась до +29...34 °С. Минимальная температура 13, 17, 18 августа понижалась до +2...6°C. Осадки выпадали преимущественно в первой декаде, месячная сумма осадков составила 10-39 мм, эта сумма составляет 19-64% от нормы.

В сентябре 2017 года преобладала прохладная погода в первой и второй декадах. Средняя температура воздуха за месяц составила +7...11°C, близка к многолетним значениям. За месяц выпало 20-45 мм осадков, 51-143% нормы.

Погодные условия 2018 года

В мае 2018 года преобладала необычно холодная с обильными осадками погода. Среднемесячная температура воздуха составила $+5...9^{\circ}\text{C}$, $84 +4-5^{\circ}\text{C}$ ниже нормы. По многолетним данным такая холодная погода в мае за период наблюдения отмечается раз в 16 лет. Максимальная температура воздуха составила $+21...29^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура в ночные часы понижалась до $-3...-7^{\circ}\text{C}$. За месяц осадков выпало 37 мм.

В июне 2018 года преобладала холодная погода с обильными осадками в конце месяца. Среднемесячная температура воздуха составила $+15...18^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха повышалась до $+30...33^{\circ}\text{C}$. Минимальная понижалась до $+1...+5^{\circ}\text{C}$. Осадки ливневого характера выпадали, по территории и количеству распределялись неравномерно, 45-102 мм, 1-2 нормы.

В июле 2018 года преобладала контрастная по температурному режиму погода с неравномерным выпадением осадков по территории. Среднемесячная температура воздуха составила $19...20^{\circ}\text{C}$, оказалась выше многолетней на $+1,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха достигала $+30-32^{\circ}\text{C}$. Минимальная – $+2...9^{\circ}\text{C}$. Месячная сумма осадков составила 20-51 мм, эта сумма составляет 36-85% от нормы.

В августе 2018 года преобладала прохладная с обильными осадками погода. Среднемесячная температура воздуха $+15-17^{\circ}\text{C}$ оказалась ниже многолетних значений на $+1^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха повышалась до $+34^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура и понижалась до $+1^{\circ}\text{C}$. Месячная сумма осадков составила 57-96 мм, эта сумма составляет 1-1,5 нормы.

В сентябре 2018 года преобладала тёплая с недобором осадков погода. Средняя температура воздуха за месяц составила $+10...12^{\circ}\text{C}$, выше нормы на $+1-2^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха составила повышалась до $+24^{\circ}\text{C}$, минимальная 25-30 сентября на большей части территории области опускалась до -2°C . За месяц выпало 17 мм осадков.

В целом годы проведения исследований оказались благоприятными для приживаемости растений эхинацеи пурпурной и ее интродукции в условиях Западной Сибири.

2.2 Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Микрополевой опыт с микроудобрениями (цинк, медь) проводили в период с 2016 по 2018 гг. на опытном поле Омского ГАУ им. П.А. Столыпина, которое расположено на 3-й надпойменной террасе р. Иртыш (Рисунок 7).

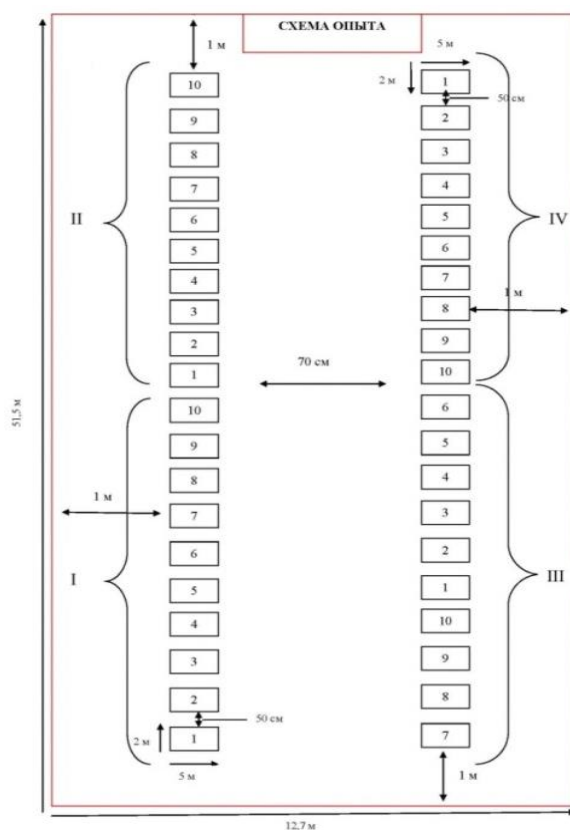
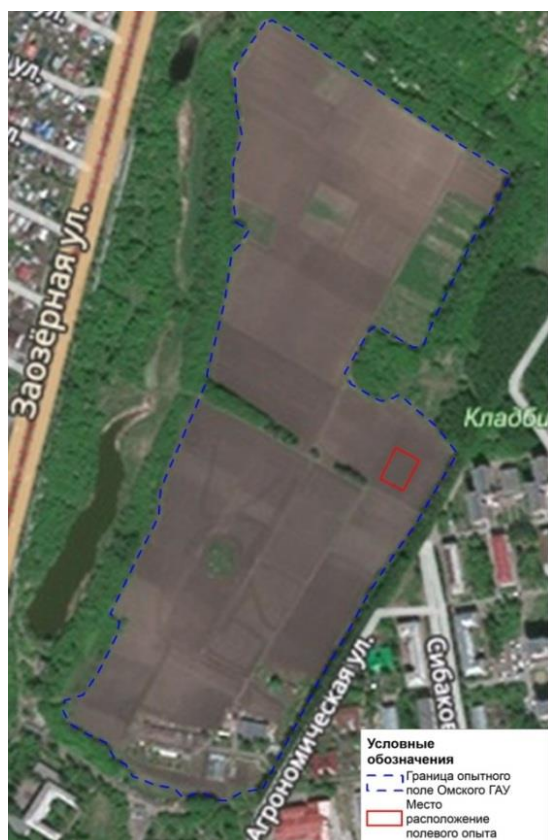


Рисунок 7 – Место расположения и схема полевого опыта

По классификации предложенной Мищенко Л.Н. почва участка – лугово-чернозёмная маломощная малогумусовая среднесуглинистая [178].

На территории закладки полевого опыта с эхинацеей, предварительно был заложен и описан почвенный разрез, имеющий следующее морфологическое строение (Таблица 1).

Таблица 1 – Морфологическая характеристика лугово-чернозёмной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почвы

Горизонт	Описание
Гор. $\frac{A_{пах}}{0-28}$	Пахотный горизонт, свежий, однородный темно-серый окраски, глыбисто-пылевато-комковатый, суглинистый, единичные корни растений, граница перехода резкая по линии вспашки.
Гор. $\frac{AB}{28-39}$	Переходный, свежий, серый с редкими небольшими бурыми пятнами, пылевато-комковатый, суглинистый, переход в следующий горизонт постепенный.
Гор. $\frac{B1к}{39-47}$	Переходный, бурый, с редкими затеками гумуса, пылевато-комковатый, суглинистый, переход ясный по линии вскипания от НС1.
Гор. $\frac{B2к}{47-98}$	Переходный, светло-бурый, суглинистый, пылевато-комковатый, скопления карбонатов в форме белых пятен, переход постепенный.
Гор. $\frac{B3к}{98-116}$	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.
Гор. $\frac{C_{кг}}{116-140}$	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, мелкие редкие охристые пятна на контакте с агрегатами более тяжелого гранулометрического состава.

По характеру увлажнения почва – полугидроморфная, глубина залегания грунтовых вод 2,7-4,5 м. Гранулометрический состав почвы средний. Наблюдается высокий процент фракций мелкого песка и крупной пыли. Удельная масса почвы составила 2,64-2,65 г/см³, плотность почвы равна 1,20-1,25 см³. Емкость поглощения пахотного слоя – 0-30 см изменялась от 25,2 до 28,2 мг*экв./100 г, величина кислотности почвы (рН) водной вытяжки в пахотном слое (0-30 см) составила 6,5-6,8. Мощность гумусового горизонта составляет 28 см. По содержанию гумуса – малогумусовая (4,92%), содержание гумуса с глубиной

уменьшается, (1,7%). Вскипание от соляной кислоты происходит с глубины 47 см, признаки локального оглеения наблюдаются с глубины 116 см.

Агрохимические характеристики почвы пахотного слоя (0-30 см) полевого участка в год закладки полевого опыта (2016 г.) характеризовались следующими параметрами: содержание нитратного азота (N-NO₃) – 10,0 мг/кг (низкое); подвижного фосфора (P₂O₅) и обменного калия (K₂O) – высокое и очень высокое – 349 и 749 мг/кг, кислотность почвы (водная вытяжка) – 6,5-6,8 (Таблица 2).

Таблица 2 – Агрохимические свойства лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почвы опытного участка

Содержание элементов минерального питания в почве, мг/кг	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Оценка содержания	по Е.А. Кочергину	по Ф.В. Чирикову	
	Низкая	Высокая	Очень высокая
Стандартный метод (водная вытяжка) / 2%-ная CH ₃ COOH	10/12,5	349/110	749-247
Оптимальное (2%-ная CH ₃ COOH)	32*	69*	84*

* – Ермохин Ю.И. [106]

До посадки растений эхинацеи пурпурной, содержание цинка и меди в пахотном слое почвы полевого участка характеризовалось (ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8 – атомно-абсорбционный метод) как низкое (Таблицы 3-4).

Таблица 3 – Содержание микроэлементов (Zn, Cu) лугово-черноземной маломощной малогумусовой среднесуглинистой почвы опытного участка

Содержание микроэлементов в почве, мг/кг	Zn	Cu
Фактическое содержание	1,15	0,10
ПДК*	23*	3*

*– СанПин 1.2.3685-21 [223]

Согласно данным таблицы 4 содержание микроэлементов (цинка и меди) в лугово-черноземной почве не превышало установленных норм предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Таблица 4 – Группировка почв по степени обеспеченности подвижными микроэлементами, мг/кг почвы

Оценка содержания	Zn**	Cu**	Cu*
Низкая	<2	<0,20	<1,5
Средняя	2,1-5,0	0,21-0,50	1,6-3,3
Высокая	>5,0	>0,50	>3,3

*– по шкале Пейве и Ринькиса; **– по шкале Крупского и Александровой [9].

2.3 Объекты, агротехника и методика проведения исследований

Для проведения полевого опыта с в качестве объекта исследований были выбраны: эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* (L.) Moench.) сорта Знахарь, почва лугово-черноземная, микроудобрения (ацетаты цинка и меди), находящиеся в тесной взаимосвязи метеоусловий и агротехники.

Многолетний полевой опыт был заложен во второй декаде мая 2016 г. на опытном поле Омского ГАУ с применением расчетных доз Zn и Cu (Рисунок 7). Предшественником эхинацеи пурпурной был чистый пар.

Схема опыта:

1. Без удобрений (абсолютный контроль); 2. Фон (N₁₂₅) ; 3. Фон + Zn_{10,7} (0,25 ПДК); 4. Фон + Zn_{21,4} (0,5 ПДК); 5. Фон + Zn_{32,4} (0,75 ПДК); 6. Фон + Zn_{42,8} (ПДК); 7. Фон + Cu_{2,3} (0,25 ПДК); 8. Фон + Cu_{4,7} (0,5 ПДК); 9. Фон + Cu_{7,0} (0,75 ПДК); 10. Фон + Cu_{9,4} (ПДК).

В связи с тем, что существует необходимость устанавливать предельное содержание элементов для каждого типа почвы с учетом особенностей возделываемой культуры и зональных условий территории, а также предупреждение загрязнения почвы микроэлементами, дозы цинка и меди рассчитывали исходя из фактического содержания цинка и меди в почве и их ПДК.

Дозы вносимых микроудобрений относительно ПДК цинка и меди рассчитывались по формуле 1:

$$D = ((\text{ПДК почвы} - \Phi. \text{ с.}) \cdot h \cdot d) / 10, \text{ кг/га} \quad (1)$$

где, ПДК Zn = 23 мг/кг, ПДК Cu = 3 мг/кг;

Ф.с. – фактическое содержание цинка и меди в почве;

h – слой почвы;

d – плотность почвы слоя, г/см³.

Расчет доз макроудобрений для корневого внесения проводился на основании ранее проведенных исследований с многолетними лекарственными культурами [251], где была получена наибольшая прибавка урожая лекарственных трав при внесении N₁₃₅P₄₅K₄₅ и с учетом содержания N, P, K в лугово-черноземной почве до посадки культуры. Установленное содержание фосфора и калия в лугово-черноземной почве было высоким, следовательно, в качестве фона послужили азотные удобрения, дозу которых рассчитали по формуле, которая была предложена Ю.И. Ермохиным [102]:

$$D_o \cdot X_o = D_p \cdot X_p \quad (2)$$

где D_o – конкретные оптимальные дозы удобрений (кг д.в./га) при фактически установленном уровне содержания в почве элементов питания (мг/кг) до посадки культур (X_o);

D_p – прогнозируемые дозы макро- и микроудобрений (кг д.в./га), зависящие от концентрации элементов питания почвы (мг/кг) конкретного полевого участка (X_p).

Проведённый многолетний микрополевой опыт является однофакторным. Расчетные дозы цинковых и медных удобрений – основной фактор, определяющий величину урожая в опыте. Повторность проводимого полевого опыта – четырехкратная, варианты размещены в несколько ярусов со смещением. Общая площадь полевой делянки равна 10 м², учётная площадь – 10 м². (5,0 x 2,0 м).

При закладке полевого опыта с лекарственной культурой использовались следующие формы минеральных удобрений: в качестве макроудобрений вносили – аммиачную селитру (Naa – 34,5 %), в качестве микроудобрений использовали – ацетат меди ((CH₃COO)₂Cu – 32 %), ацетат цинка ((CH₃COO)₂Zn – 29,7 %).

Агротехнические приемы в опыте

Данные о технологии возделывании эхинацеи пурпурной в условиях Западной Сибири отсутствуют, поэтому в полевом опыте использовались общепринятые агротехнические приемы для зоны юга Западной Сибири. Весенняя обработка почвы поля включала в себя: вспашка глубиной 20-22 см, с дальнейшим ручным внесением макро- и микроудобрений и с равномерным распределением по всей площади делянки под перекопку на глубину 10-15 см.

Посадка растений эхинацеи пурпурной проводилась во второй половине мая 2016 г. Рассадку эхинацеи пурпурной высаживали вручную согласно схеме полевого опыта по вариантам в заранее заготовленные бороздки. Количество растений культуры в рядке составило 8 шт, на делянке – 24 штуки, схема посадки эхинацеи: 70x60 см. Площадь питания одного растения при этом составила 0,4 м², при оптимальной густоте культуры - 24 тыс. растений/га.

В течение всего периода вегетации эхинацеи трех лет исследований проводилось рыхление междурядий, уничтожая всходы сорных растений и разрушая образование почвенной корки.

Планирование, постановку и проведение многолетнего микрополевого опыта с макро- и микроудобрениями, а также учет урожайности выполняли по принятым методикам, которые разработаны и утверждены для сельскохозяйственных и лекарственных культур [89, 172, 209].

В данных полевых исследованиях проводились физиологические и биометрические наблюдения за ростом и развитием растений лекарственной культуры.

В результате исследований в онтогенезе культуры были выделены основные фазы развития растений: I - отрастание (Рисунок 8 А), II - бутонизация (Рисунок 8 Б) и III - цветение (Рисунок 8 В). В основные фазы развития эхинацеи осуществлялся отбор образцов почв и растений для проведения дальнейших лабораторных исследований.



Рисунок 8 – Основные фазы развития растений эхинацеи пурпурной,
А - отрастание, Б - бутонизация, В - цветение.

Каждый фитофизиологический период развития эхинацеи фиксировался тогда, когда большая часть всех произрастающих растений четырех повторений опыта вступали в каждую последующую фазу своего развития (не менее 70 %).

Химический анализ почвы. Отбор проб почвенных образцов для определения подвижных форм цинка и меди, был приурочен к фазе отрастания растений эхинацеи пурпурной. Образцы почв отбирались с использованием почвенного бура. Глубина отбора составляла 0-30 см. Отбор почв производился по 10 вариантам полевого опыта в четырех повторениях. С каждой делянки полевого опыта было отобрано пять проб почв в различных частях делянки с последующим их 5 точек усреднением.

Химический анализ растений эхинацеи. В период каждой новой фазы развития производился отбор растительных образцов эхинацеи, с целью проведения тканевого анализа по определению минеральных форм N, P, K, сухого вещества. Отбор растений для определения в нем микроэлементов проводили по вариантам опыта в фазу цветения и в периоды уборки культуры.

Уборка урожая зелёной массы и соцветий *Echinacea purpurea* проводили вручную в фазе массового цветения. При этом отбирали растительные образцы

для определения сухого вещества и показателей фармакологического качества (общая зола, дубильные вещества, каротин, витамин С, экстрактивные вещества, фенилпропаноиды в пересчете на цикориевую кислоту, а также содержания тяжелых металлов (Cd, Pb, Hg) и мышьяка.

Методика лабораторных исследований

Содержание в почве питательных веществ доступных для растений эхинацеи пурпурной, а также химический анализ растительных образцов с целью определения минеральных форм макроэлементов (азота, фосфора и калия) и их общего содержания, проводили в лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения Омского государственного аграрного университета и ЦАС «Омский».

В основные периоды роста и развития эхинацеи (до посадки, в период отрастания и уборки) производился обор проб почв для определения в них основных элементов питания (нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия), а также запасов продуктивной влаги.

В отобранных образцах почвы определяли содержание N-NO₃ по Грандваль-Ляжу с использованием дисульфифеноловой кислоты, количество подвижного фосфора по методу Де-Ниже, а обменного калия с использованием метода пламенной фотометрии [70] из 2% уксусной вытяжки разработанной и предложенной Ю.И. Ермохиным [114].

Для определения валового содержания макроэлементов (азота, фосфора и калия) использовали метод предложенный Гинзбург и Щегловой. В полученном растворе общий азот определяли по ГОСТ 13496.4-19 [68], фосфор – ГОСТ 26657-97 [71], калий – ГОСТ 30504-97 [73].

Для определения гигроскопической влажности использовали метод высушивания (в сушильном шкафу) при постоянной температуре 105±2°C [74].

Содержание микроэлементов в почве и растениях определяли атомно-абсорбционным методом в ЦАС «Омский» согласно ГОСТ 30178-96 [72].

Из показателей качества эхинацеи пурпурной определяли: общую зольность, витамин С по Мури, дубильные вещества и биологические

экстрактивные вещества проводили – ГОСТ 24027.2-80 [69], каротин – ГОСТ 13496.17-19 [67, 76], кадмий [72], свинец [72], ртуть [75] и мышьяк [181], содержание фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту – согласно ФС.2.5.0055.15 Эхинацеи пурпурной трава [263].

Лабораторные исследования по содержанию общей золы, концентрацию витамина А (каротина), витамина С (аскорбиновой кислоты), дубильных веществ и экстрактивных веществ в лекарственном сырье *Echinacea* определяли на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «ОмГАУ им. П.А. Столыпина», а также на базе кафедры фармацевтической, аналитической и токсикологической химии, совместно с деканом фармацевтического факультета ФГБОУ ВО «ОмГМУ» Минздрава России, канд. фарм. наук, доц. Е. А. Лукшой

Количество тяжелых металлов и мышьяка в растительном сырье определяли специалисты аккредитованной лаборатории ФГУ «Омский референтный центр Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору» (аттестат аккредитации № RA RU. 21ПХ84 от 12 января 2015 г.).

Содержание цинка и меди в почве и лекарственном сырье исследовали специалисты аккредитованной лаборатории ФГБУ ЦАС «Омский» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЧ02 от 14 ноября 2014 г.).

Обработку полученных опытных данных проводили, используя при этом методы различных анализов: корреляционного, дисперсионного и регрессионного [89]. Для математической обработки данных применялись стандартные статистические методы с применением компьютерных пакетов программ (STATIST, EXCEL), доверительные интервалы и наименьшая существенная разница (НСР) были рассчитаны с 5% уровнем значимости.

Используя методику Ю.И. Ермохина, А.Ф. Неклюдова была проведена оценка биоэнергетической и экономической эффективности использования ацетата цинка и ацетата меди на урожайность *Echinacea purpurea* L. [113].

3 ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ В УДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Полевой опыт с удобрениями – связующее звено теоретических исследований и сельскохозяйственной практики. Его особенность в изучении культурного растения в совокупности с климатическими, почвенными, и агротехническими факторами. Это ведущий метод для оценки эффективности действия и последствий макро- и микроудобрений и их использования. Он позволяет определить потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания, а так же корректировать способы, сроки и дозы внесения [106].

Изучение влияния микроэлементов с использованием полевых опытов в зональных условиях Западной Сибири на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях начал профессор А.З. Ламбин [160], продолжили Э.Д. Орлова [195] и Ю.И. Ермохин [102], а в последующем и ученики Ермохина Ю.И.: А.В. Синдирева [232, 233], Е.А. Скудаева [238], Л.Н. Андриенко [15], М.А. Складорова [237], Ю.А. Азаренко [7] и др. Исследования в условиях южной лесостепи Западной Сибири по применению ацетатов цинка и меди при возделывании *Echinacea purpurea* на лугово-чернозёмной почве проводятся впервые.

Ценность полевого опыта, по мнению Ермохину Ю.И. состоит в том, что используя математические расчеты в обработки результатов и получения количественных характеристик системы «дозы удобрений ↔ урожайность культур ↔ количество элементов питания в почве». Следовательно, полевые исследования в оценке действия минеральных удобрений выходят на уровень научного прогнозирования [101, 106].

Использование комплексного метода «ИСПРОД» в решении проблем питания лекарственных культур, основой которого является взаимосвязь «растение-почва» позволяет разработать диагностику потребности эхинацеи пурпурной в цинковых и медных удобрениях для условий Западной Сибири.

3.1 Влияние цинковых и медных удобрений на урожайность эхинацеи пурпурной

Имеются опубликованные литературные данные том, что цинк и медь, применяемые в небольших количествах, служат, в том числе стимуляторами роста для растений [127, 147, 257, 284].

Многолетние полевые опыты при возделывании эхинацеи пурпурной и применению Zn и Cu на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири, показали, что данная культура отзывчива на внесение микроудобрений, и способна сформировать полноценные укосы урожая (Приложения В-Д, Таблицы 1-2).

Действие и последствие цинковых удобрений на биосинтез сухого вещества эхинацеи пурпурной

Исследования показали, что действие Zn на урожайность эхинацеи пурпурной зависело от вносимой дозы элемента удобрений, метеорологических условий года.

Несмотря на различные метеоусловия трех лет, внесение оптимальных доз цинковых удобрений положительно сказалось на формировании биомассы растений (Таблица 5).

Таблица 5 – Влияние цинковых удобрений на урожайность абсолютно сухого вещества растений эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), полевые опыты (2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной, т/га			Средняя урожайность, т/га / прибавка к фону, %.	Общая урожайность, т/га / прибавка к фону, %	Урожайность корневищ, (2018 г.), т/га / прибавка, %	Урожайность товарной части (трава+корневища), т/га / %	Окупаемость 1 кг Zn урожаем, кг (средняя/общая)
	2016	2017	2018					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль	1,5	10,1	11,0	7,5/-	22,6/-	7,9/-	30,5/-	-

продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фон (N ₁₂₅)	1,4	11,2	12,1	8,2/-	24,7/-	8,4/-	33,1/-	-
Фон + 10,7 кг д.в/га	1,8	11,5	13,0	8,8/7,3	26,3/6,5	8,8/4,8	35,1/6,0	28,0/186,9
Фон +21,4 кг д.в/га	1,9	12,5	15,4	9,9/20,7	29,8/20,6	10,5/25	40,3/21,8	79,4/336,4
Фон +32,4 кг д.в/га	1,8	9,2	12,1	7,7/-6,1	23,1/-6,5	8,7/3,6	31,8/-3,9	-
Фон +42,8 кг д.в/га	1,5	9,9	12,3	7,9/-3,6	23,7/-4,0	8,5/1,2	32,2/-3,0	-
НСР ₀₅	0,11	0,39	0,32			0,29		

Примечание: *2016-2018 - различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Следует отметить, что расчетные дозы цинка от 10,7 до 42,8 кг/га оказали разное влияние на уровень формирования урожайности. Самые высокие урожаи были получены при внесении оптимальной дозы Zn – 21,4 кг д.в./га (0,5 ПДК) во все годы проведенных исследований. В среднем за три года исследований (2016-2018 гг.) при внесении ацетата цинка в дозировке – 21,4 кг/га, отмечается самая высокая урожайность эхинацеи – 9,9 т/га, прибавка составила – 1,7 т/га, что на 20,7% выше фонового варианта.

С учетом формирования урожая корневищ, сумма урожайности составила 40,3 т/га (прибавка - 21,8 %). Окупаемость 1кг Zn урожаем составила 0,079 т. За годы действия и последействия внесенного цинка, его эффективность была выше во второй и третий год жизни растений (Таблица 5).

Математическое моделирование формирования биомассы сухого вещества урожая эхинацеи пурпурной в системе «доза цинка → урожайность эхинацеи» за 2016-2018 гг., позволило выявить зависимость в виде полиномиальной связи формированием урожайности при внесении от низких (10,7 кг/га – 0,25 ПДК Zn) до высоких (42,8 кг/га – 1,0 ПДК Zn) доз цинка (уравнение 3).

$$2016-2018 \text{ гг.} \quad Y_3 = -0,0026x^2 + 0,096x + 8,2 \quad \eta = 0,70 \quad (3)$$

Полученное математическое уравнение (3) свидетельствует о наличии зависимости ($\eta = 0,70$) формирования урожайности от внесённых расчётных доз цинковых микроудобрений от 10,7 до 42,8 кг Zn /га (Таблица 5, Рисунок 9).

Установленная оптимальная доза цинка, внесенная под эхинацею пурпурную на фоне сбалансированного питания (0,5 ПДК – 21,4 кг д.в./га) позволила выявить интенсивность биосинтеза урожайности по годам жизни культуры (уравнения 4-6).

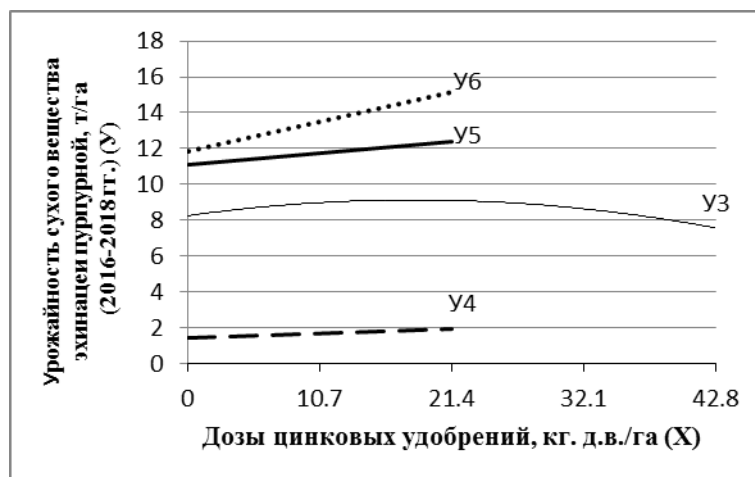


Рисунок 9 – Математические связи урожайности эхинацеи пурпурной с расчетными дозами цинкового удобрения от низких до оптимальных уровней

Рассматривая действие цинковых микроудобрений (от низких до оптимальных доз – 21,4 кг д.в./га) на формирование биомассы сухого вещества *Echinacea purpurea* L. можно отметить, что повышение урожайности происходит с увеличением дозы цинка до оптимального (Рисунок 9).

Формирование биомассы сухого вещества эхинацеи пурпурной зависело от года жизни культуры и вносимых доз цинковых удобрений (уравнения 4-6, Таблица 6).

Таблица 6 – Математические модели биосинтеза сухого вещества урожайности эхинацеи пурпурной в зависимости от оптимального цинкового питания (0,5 ПДК Zn) и года жизни растений

Год жизни растений	Уравнения связи	«b», т/га	Прогноз урожая, т/га	r
Первый год	$Y_4 = 0,023Zn + 1,45;$ (4)	0,023	1,94	0,94
Второй год	$Y_5 = 0,061Zn + 11,08;$ (5)	0,061	12,4	0,95
Третий год	$Y_6 = 0,154Zn + 11,85;$ (6)	0,154	15,1	0,97
В среднем	$Y_7 = 0,079Zn + 8,12.$ (7)	0,079	9,8	0,98

Примечание первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг.

Из данных таблицы 6 следует, что каждый килограмм однократно внесенной оптимальной дозы Zn (21,4 кг/га) в варианте 0,5 ПДК Zn, увеличивает урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной («b», т/га) в зависимости от года жизни от 0,023 до 0,154 т/га, увеличивая урожайность с 1,9 (1-й год) до 15,4 т/га (3-й год).

В среднем за годы роста и развития эхинацеи пурпурной (2016-2018 гг.) установлена зависимость формирования наземной биомассы сухого вещества культуры (У, т/га) от применения Zn (X, кг/га), (уравнение 7, Таблица 6).

Из уравнения 7 следует, что каждый кг внесённого цинка в лугово-чернозёмную почву (от низкой до оптимальной дозы) увеличивает урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной на 0,079 т/га, полученный норматив служит основой при планировании урожая данной культуры в зависимости от уровня содержания подвижных форм цинка в почве и расчёта доз микроудобрений.

В связи с тем, что лекарственную ценность представляют все части эхинацеи пурпурной, в данных исследованиях была определена, как общая биомасса растений, так и урожайность соцветий лекарственного растения.

В таблице 7 показано также влияние внесённых доз цинка под эхинацею пурпурную на формирование соцветий.

Таблица 7 – Влияние цинковых удобрений на урожайность абсолютно сухого вещества соцветий эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), полевые опыты (2017-2018 гг.)

Вариант опыта	Урожайность соцветий, т/га		Средняя урожайность, т/га	Общая урожайность т/га.	Прибавка		Окупаемость 1 кг Zn урожаем, кг (средняя/общая)
	2017	2018			т/га	%	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль	1,5	2,2	1,85	3,7	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)	1,4	2,4	1,9	3,8	-	-	-
Фон +10,7 кг д.в/га	2,26	4,2	3,2	6,4	2,6	68,4	121/243,0
Фон +21,4 кг д.в/га	2,8	4,8	3,8	7,6	3,8	100	89/177,6

продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
Фон + 32,4 кг д.в./га	1,9	3,6	2,75	5,5	1,7	44,7	26/52,5
Фон + 42,8 кг д.в./га	1,7	3,2	2,45	4,9	1,1	28,9	13/25,7
НСР ₀₅	0,19	0,25					

Примечание: *2016-2018 – различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Два года последствий Zn показали, формирование урожайности сухого вещества соцветий происходит тождественно общей урожайности. Применение цинка способствует формированию в среднем за два года проведенного полевого исследования – 3,8 т/га или общей урожайности соцветий – 7,6 т/га.

Внесение расчетных доз цинка от низких до оптимальных (10,7 ...21,4 кг д.в./га) отмечается тесная корреляционная связь между дозами цинка и урожайностью соцветий ($r=0,96-0,99$), которая характеризуется уравнениями регрессии 8-10 (таблица 8).

Таблица 8 – Математические модели биосинтеза сухого вещества урожая соцветий эхинацеи пурпурной в зависимости от оптимального цинкового питания (0,5 ПДК Zn) и года жизни растений

Год жизни растений	Уравнения связи	«b», т/га	Прогноз урожая, т/га	r
Второй год	$Y_8 = 0,065Zn + 1,43;$ (8)	0,065	2,8	0,99
Третий год	$Y_9 = 0,112Zn + 2,6;$ (9)	0,112	5,0	0,96
В среднем	$Y_{10} = 0,089Zn + 2,02.$ (10)	0,089	3,9	0,98

Примечание – второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2017-2018 гг.

Уравнения регрессии 8-10 свидетельствуют о том, что каждый кг внесенного цинка в пределах оптимальной дозы 21,4 кг/га (0,5 ПДК Zn) в почву увеличивает урожайность соцветий сухого вещества эхинацеи в среднем (201-2018 гг.) на 0,089 т/га (уравнение 10).

Таким образом, установленное положительное действие цинковых удобрений на формирование абсолютно сухого вещества эхинацеи пурпурной в условиях Западной Сибири связано с многими аспектами: во-первых в почве

отмечен дефицит данного элемента и его внесение проявляется в прямом действии на исследуемый фактор (формировании урожайности) [156, 232, 237]. Во-вторых, как известно, цинк участвует во многих биохимических процессах растительного организма, и является одним из элементов необходимых растениям для нормального роста и развития [18, 86]. Следовательно, однократное внесение Zn удобрений в лугово-черноземную почву в условиях Омского Прииртышья оказало положительное влияние на продуктивность данной культуры.

Действие и последствие медных удобрений на биосинтез сухого вещества эхинацеи пурпурной

Проведенные исследования показали, что формирование урожайности эхинацеи пурпурной происходит под воздействием внесенных медных удобрений и агроклиматических условий.

Полевые опыты с внесением медных удобрений в лугово-чернозёмную почву под эхинацею пурпурную показали, что исследуемая культура формирует наибольшую урожайность сухого вещества, при внесении Cu, в сравнение с Zn.

В таблице 9 представлены урожайные данные эхинацеи при внесении медных удобрений.

Таблица 9 – Влияние медных удобрений на урожайность абсолютно сухого вещества растений эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), полевые опыты (2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной, т/га			Средняя урожайность, т/га / прибавка к фону, %	Общая урожайность, т/га / прибавка к фону, %	Урожайность корневищ, (2018 г.), т/га / прибавка, %	Урожайность товарной части (трава+корневища), т/га / %	Окупаемость 1 кг Cu урожая, кг (средняя/общая)
	2016	2017	2018					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль	1,5	10,1	11,0	7,5 /-	22,6 /-	7,9 /-	30,5 /-	-
Фон (N ₁₂₅)	1,4	11,2	12,1	8,2 /-	24,7 /-	8,4 /-	33,1 /-	-
Фон +2,3 кг д.в./га	1,6	12,2	15,2	9,7/18,3	29,0/17,4	10,8/28,6	39,8/20,2	652/2913

продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фон +4,7 кг д.в./га	1,8	14,7	16,9	11,1/35,4	33,4/35,2	11,8/40,5	45,2/36,6	617/2630
Фон +7,0 кг д.в./га	2,1	17,3	18,6	12,7/54,9	38,0/53,8	12,7/51,2	50,7/53,2	642/2514
Фон +9,4 кг д.в./га	2,1	18,5	19,0	13,2/61,0	39,6/60,3	13,1/56,0	52,7/59,2	532/2085
НСР ₀₅	0,11	0,39	0,32			0,29		

Примечание: *2016-2018 - различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Данные таблицы 9 показывают, что существенное влияние на урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной в 2016 г. оказала медь в дозах 7,0 кг д./га (0,75 ПДК) и 9,4 кг д./га (1,0 ПДК Cu). В этот год отмечается наименьшая урожайность культуры (2,1 т/га) и ее прибавки.

Высокая урожайность надземной массы (19,0 т/га) отмечается в третий год полевых опытов (2018 г.) от внесения меди в дозе 9,4 кг д.в./га (ПДК Cu) увеличение по сравнению с фоном на 6,9 т/га или 57%.

В среднем за 2016-2018 гг. урожайность составила 13,2 т/га, что на 61% выше урожая фона (Таблица 9). Таким образом, установлено, что каждый кг однократно внесенных медных удобрений, увеличивает среднюю урожайность исследуемой многолетней лекарственной культуры («b», т/га) на 0,53 т.

С учетом формирования урожайности корневищ, сумма общей биомассы составила 52,7 т/га (прибавка – 59,2 %). Окупаемость 1 кг Cu урожаем составила 0,53 т. За годы действия и последствий разового внесения меди – эффективность данного элемента была выше во второй и третий год жизни растений (Таблица 9).

Математическая обработка данных действия и последствий медных удобрений на урожайность сухого вещества эхинацеи пурпурной, показала, высокую корреляционную зависимость в системе «доза Cu – урожайность эхинацеи» (Таблица 10).

Данные математические зависимости представлены в уравнениями 11-14 (Таблица 10).

Таблица 10 – Математические модели биосинтеза сухого вещества урожая эхинацеи пурпурной в зависимости от оптимального медного питания (1 ПДК Cu) и года жизни растений

Год жизни растений	Уравнение связи «Cu → Урожай, т/га»	«b», т/га	Прогноз урожая, т/га	r
Первый год	$Y_{11} = 0,081Cu + 1,42;$ (11)	0,081	2,18	0,97
Второй год	$Y_{12} = 0,84Cu + 10,86;$ (12)	0,84	18,7	0,99
Третий год	$Y_{13} = 0,73Cu + 12,94;$ (13)	0,73	19,8	0,96
В среднем	$Y_{14} = 0,53 Cu + 8,41.$ (14)	0,53	13,4	0,99

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг

Полученные уравнения (11-13) показывают, один килограмм применяемого медного удобрения в почву под эхинацею пурпурную увеличивает урожайность («b», т/га) на 0,081 т/га в первый год действия и последующие два года последействия на 0,84 – 0,73 т/га, (уравнения 12-13, Рисунок 10).

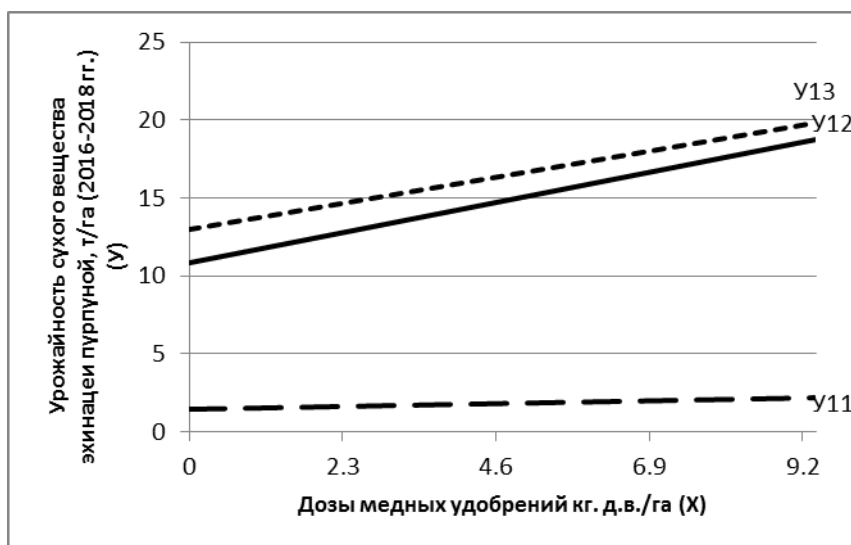


Рисунок 10 – Математические связи урожайности эхинацеи пурпурной с расчетными дозами медных удобрений от низких до оптимальных уровней

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) установлена самая высокая урожайность надземной биомассы сухого вещества при внесении меди в почву в варианте ПДК Cu – 13,2 т/га. Зависимость формирования урожая биомассы сухого вещества лекарственного растения при внесении расчётных доз Cu характеризуется уравнением 14 (Таблица 10).

Из представленного уравнения 14 следует, что каждый внесённый кг медного удобрения в почву в пределах оптимальной дозы (9,4 кг д.в./га), повышает урожайность сухого вещества наземной массы эхинацеи пурпурной «b», т/га – 0,53 т/га. Установленный норматив является основой при планировании урожайности эхинацеи в зависимости от уровня меди в лугово-черноземной почве.

Медьсодержащие удобрения так же оказали влияние на формирование урожайности абсолютно сухого вещества соцветий эхинацеи (Таблица 11).

Таблица 11 – Влияние медных удобрений на урожайность абсолютно сухого вещества соцветий эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), полевые опыты (2017-2018 гг.)

Вариант опыта	Урожайность соцветий, т/га		Средняя урожайность, т/га	Общая урожайность т/га.	Прибавка		Окупаемость 1 кг Cu урожаям, кг (средняя/общая)
	2017	2018			т/га	%	
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль	1,5	2,2	1,85	3,7	-	-	-
Фон (N ₁₂₅)	1,4	2,4	1,9	3,8	-	-	-
Фон +2,3 кг д.в./га	2,2	3,3	2,75	5,5	1,7	44,7	370/739
Фон +4,7 кг д.в./га	2,5	4,7	3,60	7,2	3,4	89,5	362/723
Фон +7,0 кг д.в./га	3,5	5,8	4,65	9,3	5,5	144,7	393/786
Фон +9,4 кг д.в./га	3,9	6,1	5,0	10,0	6,2	163,2	350/660
НСР ₀₅	0,19	0,25					

Примечание: *2016-2018 - различия между опытными вариантами (контролем и фоном) достоверны при $p < 0,05$.

Формирование биомассы соцветий на лугово-черноземной почве с медными удобрениями происходит подобно образованию общей урожайности. Внесение в почву расчётных доз Cu удобрений от низких до оптимальных (2,3...9,4 кг д.в./га) показывает наличие корреляционной зависимости (уравнения 15-17, $r = 0,98-0,99$) с полученной урожайностью соцветий эхинацеи (Таблица 12).

Таблица 12 – Математические модели биосинтеза сухого вещества урожая соцветий эхинацеи пурпурной в зависимости от оптимального медного питания (1 ПДК Cu) и года жизни растений

Год жизни растений	Уравнение связи	«b», т/га	Прогноз урожая, т/га	r
Второй год	$Y_{15} = 0,27 \text{ Cu} + 1,44;$ (15)	0,27	4,0	0,99
Третий год	$Y_{16} = 0,42 \text{ Cu} + 2,49;$ (16)	0,42	6,4	0,98
В среднем	$Y_{17} = 0,35 \text{ Cu} + 1,96.$ (17)	0,35	5,3	0,99
<i>Примечание – второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2017-2018 гг</i>				

Данные таблицы 12 показывают, что 1 кг Cu, внесенной в почву под эхинацею пурпурную в пределах оптимальной дозы (9,4 кг д.в./га) повышает урожайность соцветий сухого вещества эхинацеи от 0,27 до 0,42 т/га в первый и последующие годы жизни растений. В среднем за 2017-2018 гг. 1 кг Cu увеличивает урожайность сухого вещества соцветий («b») на 0,35 т/га.

Математические модели формирования урожая соцветий эхинацеи пурпурной за годы жизни показывают, что в почвенно-климатических условиях Западной Сибири в исследуемых почвах и растениях отмечен острый дефицит меди, что и определяет необходимость применения медного удобрения для получения высокого урожая [156, 232], при участии меди в важных биохимических процессах роста и развития растений [18, 86].

При оптимальных дозах цинка 21,4 кг/га (0,5 ПДК Zn) и меди 9,4 кг/га (ПДК Cu) внесенных в почву под эхинацею пурпурную была сформирована наибольшая урожайность корневищ, соответственно 10,5 и 13,1 т/га, что соответствовало прибавкам урожая в 25 и 56% по сравнению с фоновым вариантом (Таблицы 5 и 9).

Данные полевых опытов трех лет с оптимальными дозами Zn (21,4 кг/га – 0,5 ПДК Zn) и Cu (9,4 кг/га – 1 ПДК Cu), внесенных в лугово-чернозёмную почву под эхинацею пурпурную, позволили получить общую биомассу (надземная и корневища) лекарственных растений.

Зависимость характеризуется высоким коэффициентом корреляции по цинку ($r=0,97$) и меди ($r=0,98$) (уравнениями 18-19):

$$Y_{Zn} = 32,57 + 0,34Zn; \quad r = 0,97 \quad (18)$$

$$Y_{Cu} = 34,33 + 2,13Cu; \quad r = 0,98 \quad (19)$$

Математическая обработка системы «удобрение → урожайность» показала, что каждый килограмм разового внесенного цинкового и медного удобрения в почву под эхинацею пурпурную в пределах оптимальных доз (Zn – 21,4 и Cu -9,4 кг/га) увеличивает биомассу наземной части и корневищ (за 2016-2018 гг.), соответственно на 0,34 и 2,13 т/га.

Формулы расчетных доз микроэлементов

Расчет доз микроудобрений на прибавку урожайности эхинацеи

Полученные «нормативы» эффективности цинковых и медных удобрений внесенных в лугово-черноземную почву под эхинацею пурпурную в зональных условиях Западной Сибири, используя метод статистического анализа, позволяют проводить расчёт доз микроудобрений. Расчёт доз цинка и меди на планируемый урожай культуры производится с использованием прибавки (7,2 и 19,6 т/га) и коэффициентов интенсивности действия единицы удобрений на формирование урожайности (« $b_{Zn}=0,34$ » и « $b_{Cu}=2,13$ »), по формулам 20-21:

$$D_{Zn} = \frac{7,2}{0,34} = 21,2 \text{ кг/га}; \quad (20) \quad D_{Cu} = \frac{19,6}{2,13} = 9,2 \text{ кг/га}; \quad (21)$$

где, П – прибавка урожайности в вариантах с оптимальными дозами внесения цинка и меди;

« b » - коэффициент интенсивности действия цинковых ($b_{Zn}=0,34$) и медных ($b_{Cu}=2,13$) удобрений (кг) на формирование общей урожайности эхинацеи пурпурной (т/га).

Расчет доз микроудобрений на планируемый урожай

При планировании урожая надземной биомассы и корневищ (ПУ) эхинацеи пурпурной – 40,3 и 52,7 т/га (Таблицы 5 и 9) рассчитываем дозы цинка и меди по формулам 22-23:

$$D_{Zn} = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 0,34, \text{ кг/га или } D_{Zn} = (40,3 - 33,1) / 0,34 = 21,2 \text{ кг/га} \quad (22)$$

$$D_{Cu} = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 2,13, \text{ кг/га или } D_{Cu} = (52,7 - 33,1) / 2,13 = 9,2 \text{ кг/га} \quad (23)$$

где ПУ – планируемая урожайность, т/га;

ФУ – фактическая урожайность (без удобрений) т/га;

«b» - коэффициент интенсивности действия цинковых ($b_{Zn}=0,34$) и медных ($b_{Cu}=2,13$) удобрений (кг) на формирование общей урожайности эхинацеи пурпурной (т/га).

Располагая, фактическими средними данными урожаев надземной биомассы полевых опытов в вариантах с оптимальными дозами Zn, Cu (Таблицы 5 и 9) рассчитываем дозы микроэлементов по формулам 24-25:

$$D_{Zn} = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 0,079, \text{ кг/га или } D_{Zn} = (9,9-8,2) / 0,079 = 21,5 \text{ кг/га} \quad (24)$$

$$D_{Cu} = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 0,53, \text{ кг/га или } D_{Cu} = (13,2-8,2) / 0,53 = 9,4 \text{ кг/га} \quad (25)$$

где ПУ – планируемая урожайность, т/га;

ФУ – фактическая урожайность (без удобрений) т/га;

«b» - коэффициент интенсивности действия цинковых ($b_{Zn}=0,079$) и медных ($b_{Cu}=0,53$) удобрений (кг) на формирование средней урожайности эхинацеи пурпурной (т/га).

Расчет доз микроудобрений на основе полевого опыта

Фактически в наших многолетних опытах при использовании ацетатов цинка и меди в оптимальных дозах (21,4 и 9,4 кг д.в./га) получен наибольший урожай абсолютно сухого вещества *Echinacea purpurea*.

Дозы используемых макро- и микроудобрений (Д) под сельскохозяйственные культуры зависят от множества факторов, во-первых от доступных в почве элементов питания, которые можно выразить функцией: $D = f(X_{п})$. Опираясь на данные большого числа исследователей: Ю.И. Ермохина [99, 109, 110, 111], Л.М. Лихомановой [163], Н.К. Трубиной [259], И.А. Бобренко [35], А.В. Синдиревой [232, 233] и др., связь между дозами удобрений и содержанием элементов питания в почве пропорциональная (прямолинейная) [101, 106]. Таким образом, дозы микроудобрений выше, чем ниже концентрация подвижных элементов (цинка и меди) в почве.

Данный вывод можно представить в качестве математической формулы, которая разработана и предложена Ю.И. Ермохиным [102]:

$$D_o \cdot X_o = D_n \cdot X_n, \quad (26)$$

где X_o – уровни макро- и микроэлементов, мг/кг в почве перед посадкой растений; D_o – оптимальные дозы элементов питания удобрений, кг д.в./га.; D_n – прогнозируемые дозы минеральных удобрений, кг д.в./га; X_n – концентрация элементов питания почвы конкретного полевого участка, мг/кг.

$$\text{Далее формула принимает следующий вид: } D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n} \quad (27)$$

С помощью предложенного метода расчёта можно уточнить дозы применяемых минеральных удобрений, используя при этом данные о химическом составе почвы, а также повысить их эффективность под лекарственную культуру и получить высокую урожайность с хорошим качеством.

Наибольшая прибавка урожайности лекарственного сырья при внесении микроудобрений была получена в вариантах с дозами цинка – 0,5 ПДК Zn ($D_{Zn} = 21,4$ кг д.в./га) и меди – ПДК Cu ($D_{Cu} = 9,4$ кг д.в./га). Из сказанного следует, что рассчитать дозы цинка и меди, кг/га возможно с использованием формул 28-29:

$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n} = D_{Zn} = \frac{21,4 \cdot 1,15}{Zn_{\frac{мг}{кг}}} = \frac{26,6}{Zn_{\frac{мг}{кг}}}, \quad (28)$$

$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n} = D_{Cu} = \frac{9,4 \cdot 0,1}{Cu_{\frac{мг}{кг}}} = \frac{0,94}{Cu_{\frac{мг}{кг}}} \quad (29)$$

Полученные формулы для расчета доз Zn и Cu для лугово-черноземной почве, под лекарственную культуру – *Echinacea*, позволяют использовать первый принцип «ИСПРОД» - экспресс метод почвенной диагностики – оценки конкретной почвы обеспечить растения в питательных веществах в конкретных зональных условиях.

Таким образом, согласно полученным экспериментальным данным полевых опытов с удобрением эхинацеи пурпурной цинком и медью даже высокие дозы микроэлементов стимулируют продуктивность лекарственной культуры. Однако при внесении доз цинка свыше 0,5 ПДК, а меди в пределах 0,75-1 ПДК на лугово-черноземной почве, отмечается тенденция к снижению или без изменения формирования урожайности культуры.

4 ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ

Почва – специфический компонент биосферы (является природным буфером, аккумулирует геохимические компоненты, контролирует перенос химических соединений и элементов в гидросферу, атмосферу и живое вещество). Поступление микроэлементов в почву происходит из различных источников. Физические и химические свойства почвы влияют на миграцию, аккумуляцию и распределение микроэлементов. Они играют определяющую роль в плодородии почвы [139].

Для контроля содержания в почве микроэлементов и её способности к накоплению и обеспечению растений элементами питания используют метод почвенной диагностики (экспресс-метод с использованием 2%-ной CH_3COOH вытяжки).

Данные методы широко внедряются и используются как в агрохимических службах, так и в хозяйственной деятельности. При разработке метода почвенной диагностики уровней содержания питательных элементов растений учитывают ряд факторов: фактический уровень обеспеченности растений основными элементами питания почвой, почвенно-климатический и биологический потенциал возделываемых культур. Оптимальное развитие растений возможно только при оптимальном сбалансированном питании, которое достигается путём введения необходимого элемента в систему «почва-растение» на конкретной почве под конкретную культуру. При помощи данных химических анализов почвы представляется возможным дать предварительную оценку и прогнозирования эффективности применяемых удобрений, величины урожая и качества, что является первым блоком системы комплексного метода ИСПРОД [96, 97, 106].

4.1 Содержание цинка и меди в лугово-черноземной почве при внесении микроудобрений

Для своевременного управления ростом и развитием растений, необходимо удовлетворять их потребности в элементах питания, учитывать количества поглощённых элементов в зависимости от фаз развития растений, достаточных для полноценного развития.

Множество факторов (тип, вид, морфологические особенности и свойства почвы, предшественники и севооборот, водный и температурный режим, микробиологические особенности и т.д.) оказывает влияние на распределение и содержания элементов питания в почве. Применяя удобрения тем самым, способствуем изменению концентрации и количественному соотношению элементов питания в почвенном растворе. Растворенные анионы и катионы почвенного раствора вступают в сложное взаимодействие, изменяется уравновешенность в отрицательную, либо положительную сторону. Все это влияет на онтогенез и в конечном итоге на урожайность сельскохозяйственных растений [112, 133, 210, 240].

Как отмечает ряд авторов, методы оценки состояния соединений ионов в почвах отмечается в зависимости от целей исследования – при изучении генезиса почв, при оценке плодородия почв и т.д. Значительный интерес, с нашей точки зрения, представляет методика оценки оптимальных свойств почв и выбора путей оптимизации в системе при введении элементов в почву – идентификация ответной реакции почв и растений, развивающихся на этой почве. Система обратной связи подразумевает ответную реакцию системы «почва-растение» - корректировку ввода - поиск экстремума, физиолого-биохимических параметров растений (листьев), а также содержанию водорастворимых ионов, микробиологической и ферментативной активности [286].

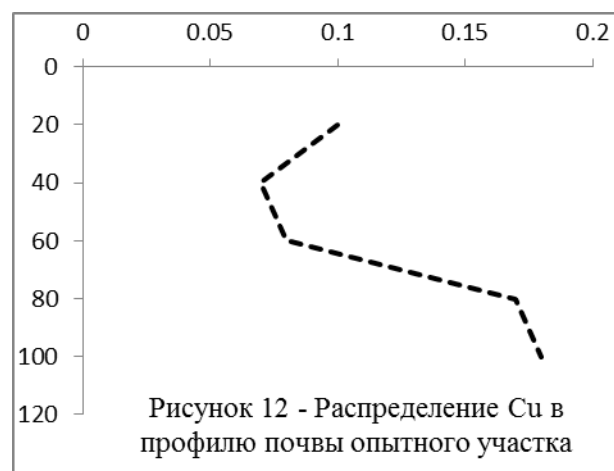
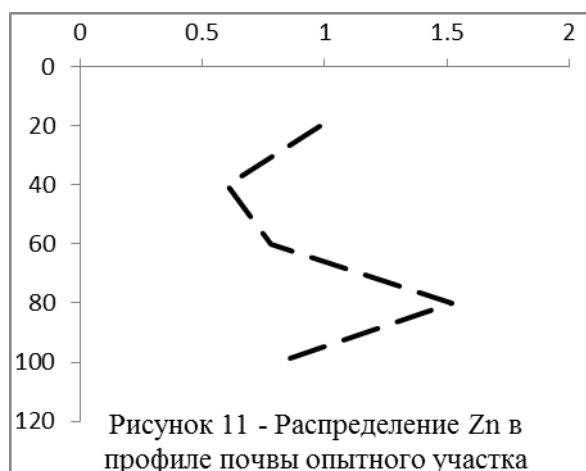
Работы большого количества ученых посвящены определению этих зависимостей и переводению их на язык математики [2, 34, 106, 201, 240, 241].

Для диагностики и оптимизации питания растений цинком и медью необходимо иметь количественные данные содержания их в почве. Интерес представляет изучение распределения Zn и Cu не только в плодородном слое (0-30 см), но и их распределение по профилю лугово-черноземной почвы опытного участка (слой 0-100). Данные содержания подвижных форм Zn и Cu в почве не превышали ПДК, мг/кг (Zn – 23, Cu – 3), (Таблица 13).

Таблица 13 – Содержание подвижных форм цинка и меди (мг/кг) в лугово-чернозёмной почве (слой 0-100 см)

Слой почвы, см	Zn	Cu
0-20	$0,98 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,012$
20-40	$0,60 \pm 0,21$	$0,07 \pm 0,031$
40-60	$0,78 \pm 0,10$	$0,08 \pm 0,025$
60-80	$1,52 \pm 0,36$	$0,17 \pm 0,031$
80-100	$0,81 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,037$

Согласно данным таблицы 13 и рисункам 11-12, содержание подвижного цинка и меди в лугово-черноземной почве с глубиной изменяется в сторону уменьшения до глубины 40-60 см, в этом же горизонте отмечается наименьшее их количество. Полученные данные о содержании микроэлементов (Zn, Cu) – в пахотном горизонте (0-20 см), согласуется с данными ранее проведенных исследований, на данном типе почв [8]. С увеличением глубины слоя почвы наблюдается увеличение концентрации цинка – до 1,52 мг/кг (60-80 см) и меди – до 0,18 мг /кг (80-100 см).



Изучение потребности сельскохозяйственных культур в микроудобрениях и изучение закономерностей поведения элементов питания в почве в основные периоды их развития – основа в разработке почвенной диагностики. В настоящих исследованиях было изучено содержание подвижных форм внесенных цинка и меди в почвенном слое (0-30 см) в период весеннего отрастания эхинацеи пурпурной, что позволило установить наличие взаимосвязей.

Содержание подвижных форм цинка в почве при внесении цинковых удобрений

Зарубежные авторы С. Р. Singh, Y. P. Dang, D. S. Ruhel отмечают, что применение цинка значительно увеличивает концентрацию данного микроэлемента в различных частях растений и в почве независимо от исходного состояния Zn [371].

Согласно данным А. П. Самохина по содержанию комплексосвязанных форм образуется ряд, который характерен и для подвижных форм цинка и меди. Большее содержание в комплексосвязанных формах объясняется высокой емкостью поглощения органического вещества по отношению к данному элементу [222].

Ранее проведенные исследования в условиях Западной Сибири, свидетельствуют о том, что цинковые удобрения, внесённые в форме ацетатов способны накапливаться в лугово-черноземной почве с коэффициентом интенсивности действия от 0,02 до 0,22 мг/кг [232, 237].

Оценивая потребности растений в элементах питания (цинка и меди) следует использовать экспресс-методы оценки обеспеченности почв элементами питания, для лекарственной культуры используя принцип обратной связи – введение элементов питания в почву, растение – идентификация ответной реакции почвы и развивающихся на данной почве растений, по параметрам содержания химических элементов.

Установленные количественные характеристики взаимосвязи в системе «удобрение – почва» в зональных условиях позволяют научно-обоснованно создать оптимальное питание по цинку для конкретной культуры (эхинацеи пурпурной) на лугово-черноземной почве и оценить не только питание, но и прогнозировать эффективность микроудобрений и на основе статистического анализа предложить оптимальные дозы и ионное равновесие почв для питания цинком.

Данные по содержанию Zn в почвенном слое 0-30 см на оптимальном азотном фоне, при однократном внесении цинковых удобрений представлены в таблице 14. Уровни подвижного цинка в лугово-черноземной почве по годам проведения полевых исследований (2016-2018 гг.) приведены в Приложении Е.

Таблица 14 – Содержание подвижного цинка в слое почвы 0–30 см при внесении цинковых удобрений (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Содержание Zn в почве, мг/кг
Контроль	1,6 ± 0,54
N ₁₂₅ (Фон)	1,5 ± 0,55
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в/га	6,2 ± 0,05
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в/га	7,4 ± 0,21
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в/га	9,4 ± 0,47
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в/га	12,4 ± 0,85
<i>Примечание: ПДК Zn – 23 мг/кг [223], n=30</i>	

Аналитические данные химического состава почвы показывают динамику изменения содержания подвижного Zn в почве в результате введения в почву доз цинка от 0,25 ПДК Zn (10,7 кг/га) до ПДК Zn (42,8 кг/га) и развития на этой почве растений (Таблица 14).

В среднем за три года исследований (2016-2018 гг.) установлено положительное влияние цинковых удобрений на содержание цинка в лугово-черноземной почве слоя 0-30 см. При однократном внесении расчетных доз Zn в почву содержание элемента в среднем изменяется от 1,5 (фон) до 12,4 мг/кг (ПДК Zn).

В 2016 г. применение Zn в почву, его влияние на уровень концентрации подвижного цинка в почве изменялось от 5,6...11,6 мг/кг (Приложение Е). В среднем содержание увеличилось на 365,9% по сравнению с фоном. В первый год последействия Zn (2017 г.) наблюдается значительное увеличение Zn в почве по сравнению с годом действия удобрения на 678,1% по сравнению с фоном (Приложение Е), что выше первого года действия удобрений на почву на 312%. Во второй год последействия (2018 г.) внесенного Zn в почву его содержание увеличилось 432% , что ниже по сравнению с 2017 г. на 246% .

В таблице 15 показаны математические модели связи системы: «удобрение (Zn, кг/га) → почва (Zn, мг/кг) – идентификация ответной реакции почвы по содержанию подвижного цинка. В зависимости от года действия и последействия внесенных цинковых удобрений в почву на ее химический состав, коэффициенты интенсивности действия единицы внесенных удобрений на почву, имеют различные параметры количественных изменений (« b_{Zn} »), характеризующиеся высокими коэффициентами корреляции «удобрение-почва» ($r = 0,97-0,98$), (Таблица 15, Рисунок 13).

Таблица 15 – Математические модели содержания цинка в почве (мг/кг) в зависимости от доз применяемого цинка (X, кг д.в./га), (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Год исследований	Уравнение регрессии	« b », мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
2016 г.	$Zn_{30}=0,211x+2,32;$ (30)	0,211	$r=0,98$
2017 г.	$Zn_{31}=0,374x+2,82;$ (31)	0,374	$r=0,97$
2018 г.	$Zn_{32}=0,140x+1,90;$ (32)	0,140	$r=0,97$
2016-2018 гг.	$Zn_{33}=0,234x+2,35;$ (33)	0,234	$r=0,98$

В зависимости от года исследований коэффициенты интенсивности (« b_{Zn} ») изменяется от 0,140 до 0,374 мг/кг (уравнения 30-32), при этом связь в системе : «удобрение-почва» по содержанию подвижного цинка в слое почвы 0-30 см, высокая ($r=0,97-0,98$). Наиболее ценной характеристикой является уравнение 33, из данного уравнения следует, что при внесении одного килограмма Zn удобрения в почву – коэффициент интенсивности (« b_{Zn} ») при идентификации ответной

реакции почвы по содержанию подвижного цинка в среднем составил $b_{Zn} = 0,234$ мг/кг, т.е. одному мг подвижного Zn/кг слоя почвы 0-30 см соответствует 4,1 кг цинка удобрений (уравнение 33, Таблица 15, Рисунок 13).

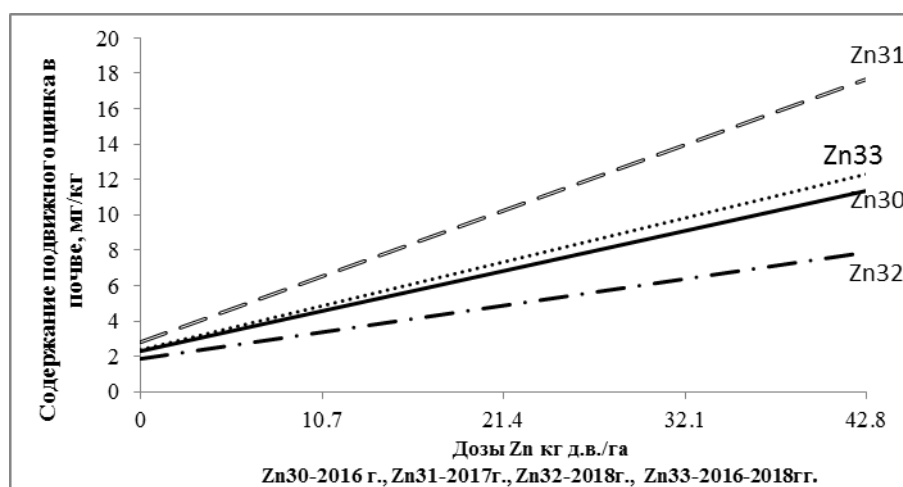


Рисунок 13 – Связи содержания в почве подвижного цинка от разового применения цинковых удобрений

Экспериментальные полевые опыты с цинковым удобрением эхинацеи пурпурной показали, что при возделывании данного растения выявлена наилучшая доза цинка 0,5 ПДК (21,4 кг/га) при формировании урожая 9,9 т/га (прибавка 20,7% по сравнению с фоном). Данную оптимальную дозу вводим в уравнения (30-33) и с помощью математической модели «удобрение-почва» определяем оптимальный уровень Zn в почве в годы жизни эхинацеи :

Прогнозируемое оптимальное содержание цинка в почве при цинковом питании:

$$\text{Первый год: } Zn_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,211 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 2,32 = 6,8 \text{ мг Zn/кг}; \quad (30)$$

$$\text{Второй год: } Zn_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,374 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 1,90 = 9,9 \text{ мг Zn/кг}; \quad (31)$$

$$\text{Третий год: } Zn_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,140 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 2,36 = 5,3 \text{ мг Zn/кг}; \quad (32)$$

$$\text{В среднем: } Zn_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,234 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 2,35 = 7,5 \text{ мг Zn/кг}. \quad (33)$$

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг

Согласно уравнениям (30-33) устанавливаем оптимальные уровни содержания подвижного Zn, мг/кг в лугово-черноземной почве слоя 0-30 см по годам жизни растений эхинацеи пурпурной. В 2016 г – 6,8 мг/кг (уравнение 30) с ошибкой прогноза 1,4%, 2017 г. – 9,9 мг/кг (уравнение 31), 2018 г. – 5,3 мг/кг (уравнение 32), среднем за годы исследований – 7,5 мг/кг (уравнение 33) с

ошибкой прогноза 1,4%, что соответствует фактическому содержанию (7,4 мг/кг) данного элемента в почве, при внесении оптимальных доз цинка (Таблица 14, Приложение Е).

Таким образом, на основе выявленных связей «удобрение – почва» были установлены нормативные количественные характеристики оптимального цинкового питания с учетом года жизни данной культуры на лугово-черноземной почве при внесении оптимальных доз Zn и формирования высокого урожая.

Содержание подвижных форм меди в почве при внесении медных удобрений

Для решения проблемы сбалансированного оптимального питания эхинацеи пурпурной медью в условиях Западной Сибири, была поставлена задача – исследовать содержание Cu в лугово-черноземной почве при внесении медных удобрений.

По данным А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас, содержание меди в почве, зависит от количества и характера органического вещества. Эта способность характеризуется возможностью почвы связывать Cu и содержать ее в растворенном виде, образовывать с органическими соединениями растворимые и нерастворимые комплексы [139].

Выявленные численные характеристики взаимосвязи (« b_{Cu} ») в системе «удобрение – почва» позволяют создать различные уровни содержания меди в почве (мг/кг), оценить минеральное питание и эффективность удобрений в конкретных зональных условиях при возделывании эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве, прогнозировать величину и качество урожая при сбалансированном микроэлементном питании.

В таблице 16 показаны уровни содержания подвижной Cu в слое 0-30 см при внесении расчетных доз медных удобрений (Приложение Ж).

Внесение возрастающих доз меди от 0,25 ПДК (2,3 кг д.в./га) до ПДК (9,4 кг д.в./га) способствовало увеличению содержания подвижной меди в почве, как в

год внесения Cu удобрений, так и в последующие два года исследований (2017 и 2018 гг.) в среднем на 67,8 и 21,1 % (Таблица 16, Приложение Ж).

Таблица 16 –Содержание подвижной меди в слое почвы 0–30 см при внесении медных удобрений на азотном фоне (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Содержание Cu в почве, мг/кг
Контроль	0,13 ± 0,012
N ₁₂₅ (Фон)	0,25 ± 0,007
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	0,25 ± 0,007
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	0,29 ± 0,002
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га	0,34 ± 0,005
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	0,41 ± 0,014

Примечание: ПДК Cu – 3,0 мг/кг [223], n=30

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) следует отметить, что содержание подвижной Cu в слое почвы 0-30 см изменялось по сравнению с фоном в пределах 0,25-0,41 мг/кг (Таблица 16, Рисунок 14). По данным автора А.П. Самохина [222], что около 10% меди в черноземе связано с органическим веществом, с которым Cu образует устойчивые комплексы.

Изменения содержания подвижной меди в системе «удобрение Cu – почва» ($r=0,76-0,98$), позволяет установить математические модели взаимосвязи в виде коэффициентов интенсивности действия (b_{Cu} , мг/кг) медных удобрений и уравнений регрессии 34-37 (Таблица 17).

Таблица 17 – Математические модели содержания меди в почве (мг/кг) в зависимости от доз применяемой меди (X, кг д.в./га), (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Год исследований	Уравнение регрессии	«b», мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
2016 год	$Cu_{34}=0,008x+0,09;$ (34)	0,008	r=0,76
2017 год	$Cu_{35}=0,021x+0,118;$ (35)	0,021	r=0,94
2018 год	$Cu_{36}=0,023x+0,511;$ (36)	0,023	r=0,98
2016-2018 гг.	$Cu_{37}=0,017x+0,24;$ (37)	0,017	r=0,95

Данные таблицы 17 и уравнения 34-37 показывают, что коэффициенты интенсивности действия (« b_{Cu} »), единицы внесенной меди в почву (слой почвы 0-30 см) изменяются по годам исследований (2016-2018 гг.) от 0,008 до 0,023 мг Cu/кг.

В среднем за три года проведенных исследований следует отметить, что однократно внесенные медные удобрения увеличивают содержание меди на 0,017 мг/кг (уравнение 37, Рисунок 14).

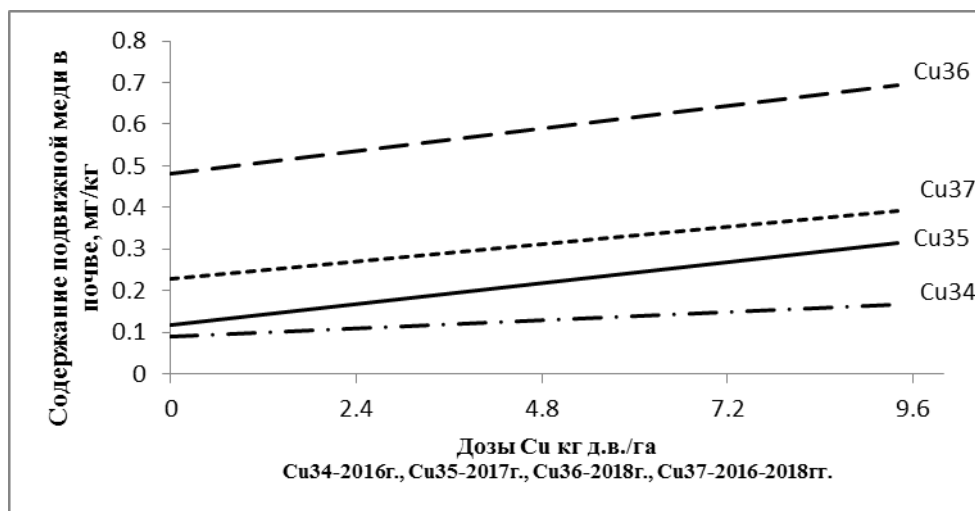


Рисунок 14 – Связи содержания в почве подвижной меди от разового применения медных удобрений

Рассматривая полученный средний нормативный коэффициент интенсивности действия (« b_{Cu} »=0,017 мг/кг), можно отметить, что одному мг Cu/кг почвы соответствует эквивалентное количество 59 кг Cu/га.

При возделывании эхинацеи выявлена оптимальная доза меди (ПДК Cu (9,4 кг/га), при формировании урожая биомассы культуры, вводим данную дозу в уравнения 34-37 (Таблица 17) и получаем оптимальные уровни содержания подвижной меди в лугово-черноземной почве для 3-х лет жизни эхинацеи:

Прогнозируемое оптимальное содержание меди в почве при медном питании:

$$\text{Первый год: } Cu_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,008 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 0,09 = 0,16 \text{ мг Cu / кг}; \quad (34)$$

$$\text{Второй год: } Cu_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,021 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 0,118 = 0,32 \text{ мг Cu / кг} \quad (35)$$

$$\text{Третий год: } Cu_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,023 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 0,511 = 0,72 \text{ мг Cu / кг} \quad (36)$$

$$\text{В среднем: } Cu_{\text{опт}}, \text{ мг/кг} = 0,017 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 0,24 = 0,40 \text{ мг Cu / кг} \quad (37)$$

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг.

Таким образом, используя уравнения регрессии (34-37) устанавливаем оптимальное содержание Cu, мг/кг по годам жизни растений эхинацеи. Первый год – 0,16 (уравнение 34) с ошибкой прогноза 15,8%, второй год – 0,32 (уравнение 35) с ошибкой 8,6%, третий год – 0,72 (уравнение 36), ошибка прогноза 2,9% и в среднем за годы – 0,40 (уравнение 37), ошибка прогноза 2,4%. Данные нормативы являются оптимальными уровнями соответствующими фактическому содержанию подвижной Cu в почве.

Располагая оптимальными уровнями содержания микроэлементов (цинка и меди) в слое почвы 0-30 см по годам жизни и формирования величины и качества урожая, мы можем не только диагностировать уровень питания и эффективности микроэлементов, но и рекомендовать оптимальные дозы Zn Cu для внесения в лугово-черноземную почву (Таблица 18).

Таблица 18 – Оптимальное содержание и соотношение цинка и меди в почве под растениями эхинацеи пурпурной (фаза отрастания), мг/кг почвы

Годы жизни	Влияние Zn удобрений		Влияние Cu удобрений		Оптимальное соотношение
	Фактическое содержание	Прогноз	Фактическое содержание	Прогноз	
<i>Первый год</i>	6,9	6,8	0,19	0,16	Zn ≈ 36.3 Cu
<i>Второй год</i>	9,9	9,9	0,35	0,32	Zn ≈ 28.3 Cu
<i>Третий год</i>	5,3	5,3	0,70	0,72	Zn ≈ 7.6 Cu
<i>В среднем</i>	7,4	7,5	0,41	0,40	Zn ≈ 18.0 Cu

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг

4.2 Взаимовлияние ионов цинка и меди при внесении микроудобрений

Почва источник микроэлементов и поэтому ее роль важна в круговороте последних в окружающей среде.

В процессе поглощения макро- и микроэлементов в почве принимают участие множество компонентов :

I. В первую очередь - оксиды Fe и Mn (водные, аморфные), во вторую - Al, Si;

II. Живые организмы и органические вещества;

III. Фосфаты, карбонаты, основные соли;

IV. Глины [139].

Наиболее важными компонентами, участвующими в процессах сорбции почвы микроэлементов являются: органическое вещество, а так же глинистые минералы (водные силикаты) и водные оксиды металлов. Если данные процессы сорбции основываются на химических валентных связях, то это «хемосорбция». В процессе поглощения могут участвовать и другие процессы: осаждение, образование минералов, поглощение мезо-и микробиотикой и корнями растений. Следовательно, механизмов взаимодействия микроэлементов в почвах очень много и они способны изменяться в зависимости различных условий: от реакции среды и механического состава почвы и ее окислительно-восстановительных условий.

Таким образом, вопросы образования различных элементных соединений, связь с компонентами почвы и условий присутствия соединений микроэлементов (фосфаты, карбонаты, силикаты и другие) в почве до настоящего времени остаются открытыми.

Литературные данные свидетельствуют высокой адсорбционной емкости в отношении различных микроэлементов, некоторых компонентов почв. Поэтому с помощью данного процесса в почвах связывается значительное количество данных элементов, до начала процесса образования их собственных соединений.

Установлено, что используемые в данных исследованиях микроэлементы (Zn и Cu) способны образовать отдельные твердые фазы в определенных условиях, например, когда концентрация этих элементов увеличивается вследствие диагенетических процессов.

В почвах обнаружено множество минералов, таких как: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, ZnSiO_4 , $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Роль минеральных веществ в почве, их уравновешенный баланс в жизнедеятельности растений и вообще любого организма огромна [213, 220, 241 и др.], но пока не до конца познана наукой.

При внесении элементов в почву необходимо проводить идентификацию ответной реакции данной почвы и растений [106, 111, 191, 211, 217, 218, 220].

Кроме исследуемых факторов прямого влияния внесенных в почву в виде удобрения цинка и меди на содержание подвижных форм данных элементов (*b мг/кг*), нами установлено взаимное влияние $Zn \leftrightarrow Cu$ удобрений, внесенных в почву на накоплении подвижных форм цинка ($Cu, \text{кг/га} \rightarrow Zn, \text{мг/кг}$) и меди ($Zn, \text{кг/га} \rightarrow Cu, \text{мг/кг}$) в лугово-черноземной почве.

В таблице 19 (Приложение И) представлены данные о влиянии однократного внесённого ацетата меди и цинка в лугово-черноземную почву и содержание в ней подвижных форм данных элементов.

Таблица 19 – Содержание подвижных форм цинка и меди в слое почвы 0–30 см при внесении микроудобрений (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Содержание Zn в почве, мг/кг
Контроль	1,6±0,54
N ₁₂₅ (Фон)	1,5±0,55
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	3,1 ± 0,35
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	4,1 ± 0,22
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га	5,3 ± 0,06
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	6,8 ± 0,13
Вариант опыта	Содержание Cu в почве, мг/кг
Контроль	0,21 ± 0,012
N ₁₂₅ (Фон)	0,25 ± 0,007
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	0,32 ± 0,002
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га	0,35 ± 0,006
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	0,30 ± 0,001
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	0,30 ± 0,001
<i>Примечание: ПДК Zn – 23 мг/кг [223], ПДК Cu – 3,0 мг/кг [223], n=30</i>	

Данные таблицы 19 и Приложения Е-Ж наглядно показывают наличие синергических связей в почве между $\text{Cu} (\uparrow) \leftrightarrow \text{Zn} (\uparrow)$, внесение расчетных доз микроудобрений (меди и цинка) от 0,25 ПДК до 1 ПДК способствовало изменению содержания подвижных форм микроэлементов в слое почвы (0-30 см) по вариантам опыта.

При математической обработке полученных полевых опытных данных за годы исследований (2016-2018 гг.) позволила установить и смоделировать через уравнения регрессии математические зависимости содержания подвижных цинка и меди в почвенном слое (0-30 см) от доз вносимых микроудобрений (Таблица 20).

Таблица 20 – Синергические модели связи между $\text{Cu} \leftrightarrow \text{Zn}$ в почве при внесении доз цинка и меди от низких до оптимальных, кг/га

Год исследований	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Действие и последствие Cu удобрений на содержание Zn в почве		
2016 год	$\text{Zn}_{38} = 0,579x + 1,55;$ (38)	$r = 0,99$
2017 год	$\text{Zn}_{39} = 0,677x + 1,61;$ (39)	$r = 0,99$
2018 год	$\text{Zn}_{40} = 0,395x + 1,55;$ (40)	$r = 0,97$
2016-2018 гг.	$\text{Zn}_{41} = 0,55x + 1,57;$ (41)	$r = 0,99$
Действие и последствие Zn удобрений на содержание Cu в почве		
2016 год	$\text{Cu}_{42} = 0,002x + 0,12;$ (42)	$r = 0,99$
2017 год	$\text{Cu}_{43} = 0,009x + 0,16;$ (43)	$r = 0,93$
2018 год	$\text{Cu}_{44} = 0,002x + 0,5;$ (44)	$r = 0,99$
2016-2018 гг.	$\text{Cu}_{45} = 0,004x + 0,26.$ (45)	$r = 0,97$

В первый год (2016 г.) применения меди в почву в дозах 2,3-9,4 кг Cu /га – идентификация ответной реакции почвы на содержание подвижного цинка оценивается в виде коэффициента интенсивности действия (« b_{Zn} ») – 0,579 мг/кг (уравнение 38, Таблица 20).

В годы последствия меди в 2017 и 2018 гг., внесенной в почву в 2016 г. – идентификация ответной реакции на содержание подвижного цинка в почве, с участием растений, оценивается в виде уравнения (39) – коэффициента

интенсивности действия (« b_{Zn} ») – 0,677 мг/кг (2017 г.) и уравнением (40) – коэффициентом (« b_{Zn} ») – 0,395 мг/кг (2018 г.) – Таблица 20. Увеличение содержания цинка в почве при внесении медных удобрений связано с тем, что, Cu обладая большей энергией связи с коллоидной фазой почвы, проявляет конкурирующее действие по отношению к сорбции цинка, вследствие чего повышается содержание подвижных форм Zn [85, 158].

В среднем трехлетние данные действия однократно внесенного медного удобрения в почву на содержание подвижного цинка оценивается в виде математического уравнения (41) с коэффициентом интенсивности (« b_{Zn} ») – 0,550 мг/кг (2016-2018 гг.), (Таблица 20, Рисунок 15 а).

Исследованиями было установлено, что наилучшей дозой меди на лугово-черноземной почве под эхинацею пурпурную является 9,4 кг/га. Используя математические уравнения (38-41) можно определить оптимальный уровень содержания подвижного цинка в почве при оптимизации питания медью в течение трех лет жизни эхинацеи пурпурной:

Прогнозируемое оптимальное содержание Zn в почве при медном питании:

$$\text{Первый год жизни:} \quad Zn_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,579 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 1,55 = 7 \text{ мгZn/кг}; \quad (38)$$

$$\text{Второй год жизни:} \quad Zn_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,677 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 1,61 = 8 \text{ мгZn/кг}; \quad (39)$$

$$\text{Третий год жизни:} \quad Zn_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,395 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 1,55 = 5,3 \text{ мгZn/кг}; \quad (40)$$

$$\text{Средние данные:} \quad Zn_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,55 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 1,57 = 6,7 \text{ мгZn/кг}. \quad (41)$$

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг

Согласно году жизни эхинацеи пурпурной оптимальный уровень подвижного Zn характеризовался, мг/кг: первый год – 7,0 (уравнение 38), второй год – 8,0 (уравнение 39), третий год – 5,3 (уравнение 40). Ошибки прогноза составляют 4,1%, 1,2%, 3,9%.

При внесении оптимальной дозы меди 1 ПДК Cu (9,4 кг/га), при которой был получен наивысший урожай – 13,2 т/га биомассы, оптимальный уровень цинкового питания за счет почвы равен 6,8 мг/кг (при прогнозе по уравнению 41) 6,7 мг/кг почвы (ошибка прогноза 1,5%). Полученный оптимальный уровень подвижного цинка в почве (фактическое содержание – 6,8 мг/кг) соответствует средним величинам первого-третьего года жизни культуры при внесении

оптимальной дозы меди в почву. Данные нормативы оптимальных уровней Zn в почве служат агрохимическими характеристиками цинкового питания растений эхинацеи.

В таблице 19 представлены данные по содержанию подвижной меди при внесении Zn до оптимальной дозы (21,4 кг/га), при которой формировалась наибольшая биомасса лекарственного растения. Применение цинка под растения в дозах 0,75-1 ПДК Zn – снижали величину урожая и не способствовали увеличению содержания меди в почве (« b_{Cu} »).

В таблице 20 и на рисунке 15 (б) показаны уравнения (42-45) содержания меди в системе: «удобрение (Zn) → почва (b_{Cu})» – ответная реакция содержания меди при вводе цинка в почву.

Исходя из математических уравнений (42-45) и коэффициентов интенсивности действия внесённого Zn в почву на уровень содержания подвижной Cu в почве (2016 г. - « b_{Cu} » - 0,002 мг/кг; 2017 г. - « b_{Cu} » - 0,009 мг/кг; 2018 г. - « b_{Cu} » - 0,002 мг/кг), можно сделать вывод, что при применении цинка в от низких (10,7 кг д.в./га) до оптимальных доз (21,4 кг д.в./га) в лугово-черноземную почву под конкретную лекарственную культуру, оптимальный уровень подвижной меди в почве для эхинацеи пурпурной будет следующий:

Прогнозируемое оптимальное содержание Cu в почве при цинковом питании:

$$\text{Первый год жизни: } Cu_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,002 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 0,12 = 0,16 \text{ мг/кг}; \quad (42)$$

$$\text{Второй год жизни: } Cu_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,009 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 0,16 = 0,35 \text{ мг/кг}; \quad (43)$$

$$\text{Третий год жизни: } Cu_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,002 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 0,5 = 0,54 \text{ мг/кг}; \quad (44)$$

$$\text{Средние данные: } Cu_{\text{опт}} \text{ мг/кг} = 0,004 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 0,26 = 0,35 \text{ мг/кг} \quad (45)$$

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг.

Согласно году роста и развития растений эхинацеи оптимальный уровень подвижной Cu характеризовался, мг/кг: первый год (уравнение 42) – 0,16 (ошибка прогноза 5,9%), второй год (уравнение 43) – 0,35 (ошибка прогноза 6,1%), третий год – 0,54 (уравнение 44).

При использовании среднего коэффициента « b_{Cu} » - 0,004 мг/кг для растений эхинацеи пурпурной первого-третьего года жизни, оптимальный уровень подвижной меди в слое почвы 0-30 см согласно расчетным данным должен быть

0,35 мг/кг, что соответствует фактическому среднему уровню содержания Cu в почве.

Данные нормативы оптимальных уровней меди могут служить агрохимическими характеристиками содержания в почве для оптимизации питания эхинацеи пурпурной.

Связи содержания в почве подвижного цинка и меди при основном внесении медных и цинковых удобрений представлены на рисунке 15 а, б.

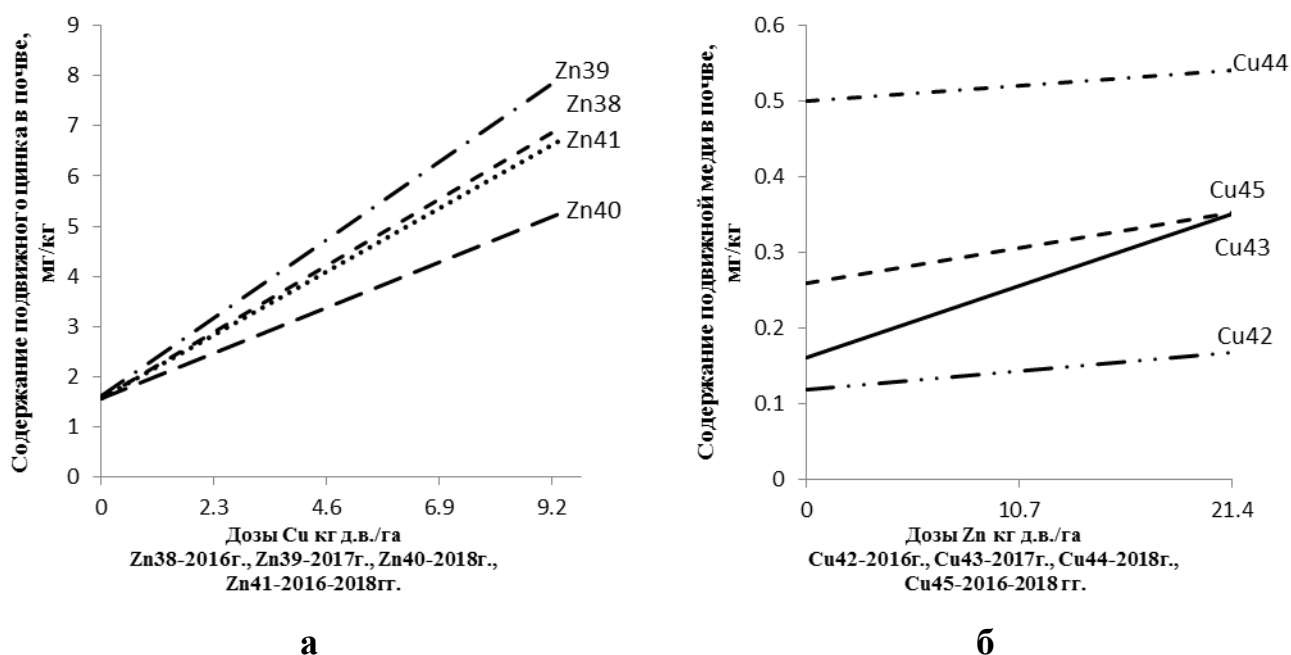


Рисунок 15 – Связи содержания в почве подвижного цинка при основном внесении Zn и Cu удобрений

Таким образом, трехлетние исследования (2016-2018 гг.) показали, что каждый кг микроудобрений в оптимальных дозах Zn (21,4 кг/га) и Cu (9,4 кг/га) внесенных в почву, изменяет содержание подвижных форм данных элементов. Под влиянием синергизма в системе: «удобрение (Cu, Zn кг/га) → почва (Zn, Cu мг/кг)» оценивается коэффициентами действия « b_{Zn} » – 0,55 мг/кг (уравнение 41), « b_{Cu} » – 0,004 мг/кг (уравнение 45).

Для решения практических задач по оптимизации цинкового и медного питания эхинацеи пурпурной, согласно предложенной математической модели ввода в систему полученных экспериментальным путем оптимальных доз: «удобрение (кг/га) ↔ почва (мг/кг) ↔ урожай (т/га)» и идентификация ответной

связи урожая (т/га), содержание подвижных форм Zn и Cu, предлагаются следующие уравнения:

Применение оптимальных доз цинковых удобрений (21,4 кг Zn /га) под эхинацею пурпурную, увеличивает урожайность биомассы на 0,079 т/га (уравнение 7):

$$У_{т/га} = 0,079 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 8,12 = 9,8 \text{ т /га} \quad (7)$$

При полученной средней урожайности 9,9 т/га (суммарно за 2016-2018 гг. общая урожайность – 40,3 т/га), окупаемость 1 кг Zn урожаем составила 79,4 кг. Внесение удобрения (Zn) в почву – идентификация ответной реакции почвы на изменение содержания подвижного цинка в почве оценивается уравнением 33:

$$У \text{ Zn, мг/кг} = 0,234 \cdot 21,4 \text{ кг Zn} + 2,35 = 7,5 \text{ мг Zn/кг} \quad (33)$$

При цинковом питании в системе «удобрение (Zn, кг) → почва (Zn, мг/кг)» оптимальный уровень цинка – 7,4 мг/кг почвы. При оптимизации цинкового питания медью в системе «удобрение (Cu) → почва (Zn, мг/кг)» уровень оптимального содержания в почве – 6,8 мг/ Zn почвы.

Введение меди в систему «удобрение (Cu 9,4 кг/га) → урожай (т/га)» – идентификация ответной связи урожая зеленой массы описывается уравнением (14):

$$У_{т/га} = 0,53 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 8,11 = 13,2 \text{ т /га} \quad (14)$$

Применение меди (9,4 кг Cu/га) в почву под эхинацею пурпурную, в процессе действия и два года последействия оптимальной дозы меди на рост и развитие данной культуры, была сформирована средняя урожайность 13,2 т/га (суммарно за годы действия и последействия 52,7 т/га), окупаемость 1 кг удобрений составила 532 кг.

Ответная реакция почвы по изменению содержания подвижной Cu в системе «удобрение (9,4 кг Cu) → почва (Cu, мг/кг)» оценивалась уравнением (37):

$$У \text{ Cu, мг/кг} = 0,017 \cdot 9,4 \text{ кг Cu} + 0,24 = 0,40 \text{ мг Cu /кг} \quad (37)$$

При оптимизации медного питания в системах «удобрение (Cu, кг) → почва (Cu, мг/кг)» и «удобрение (Zn, кг) → почва (Cu, мг/кг)» $Cu_{\text{опт}}$ – 0,41 и 0,35 мг/кг.

Следовательно, можно отметить, что при медном питании (доза внесения 9,4 кг/га) обеспеченность почвы на 17% лучше, чем при внесении оптимальных расчетных доз цинка.

В таблице 21 представлены оптимальные уровни содержания в почве подвижной меди и цинка по годам жизни растений и их ионное равновесие в почве для получения наибольшего урожая.

Таблица 21 – Оптимальное содержание и соотношение микроэлементов в почве под растениями эхинацеи пурпурной при оптимизации питания медью и цинком

Годы	Уровни содержания в почве, мг/кг		Оптимальное соотношение	Урожайность, т/га
	Zn	Cu		
<i>При внесении медных удобрений (Cu_{0,4}) в почву</i>				
2016 год	7,3	0,19	Zn мг/кг ≈ 38.4 Cu мг/кг	Средняя – 13,2/61%; Общая – 39,6/60,3%; Сумма: наземная масса + корни – 52,7/59,2%
2017 год	8,1	0,35	Zn мг/кг ≈ 23.1 Cu мг/кг	
2018 год	5,1	0,70	Zn мг/кг ≈ 7.3 Cu мг/кг	
2016-2018 гг.	6,8	0,41	Zn мг/кг ≈ 16.6 Cu мг/кг	
<i>При внесении цинковых удобрений (Zn_{21,4}) в почву</i>				
2016 год	6,9	0,17	Zn мг/кг ≈ 40.6 Cu мг/кг	Средняя – 9,9/20%; Общая – 29,8/20,6%; Сумма: наземная масса + корни – 40,3/21,8%
2017 год	9,9	0,33	Zn мг/кг ≈ 30.0 Cu мг/кг	
2018 год	5,3	0,54	Zn мг/кг ≈ 9.8 Cu мг/кг	
2016-2018 гг.	7,4	0,35	Zn мг/кг ≈ 21.1 Cu мг/кг	

При оценке оптимального уровня питания эхинацеи пурпурной в цинке и меди, следует ориентироваться уровнями и соотношениями данных элементов в почве до посадки культуры: оптимум подвижных элементов в слое 0-30 см – Zn – 6,8 мг/кг, Cu – 0,41 мг/кг, оптимальным соотношением Zn:Cu ≈ 16,6.

Применение цинка и меди в почву под эхинацею пурпурную позволяет создавать оптимальное питание для произрастающих на этой почве растений и управлять химическим составом почвы в нужном направлении. В таких условиях растения способны к формированию максимального урожая.

Таким образом, с помощью «нормирования» в почве оптимальных уровней макро- и микроэлементов и их сбалансированного соотношения представляется возможным прогнозировать эффект применения конкретного вида удобрения, а

также экологическую нагрузку, связанной с нагрузкой в системе «удобрение ↔ почва». Дополнительные внесения того или иного удобрения в дозах производится согласно разработанным формулам (46-47).

$$D_{Zn} = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) \cdot 4,1 ; \quad \text{или} \quad D_{Zn} = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) / 0,242; \quad (46)$$

$$D_{Cu} = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) \cdot 59; \quad D_{Cu} = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) / 0,017. \quad (47)$$

где \mathcal{E}_o – оптимальный уровень содержания подвижного цинка и меди в почве, мг/кг;

\mathcal{E}_ϕ – фактический уровень содержания подвижного цинка и меди в почве, мг/кг;

4,1 и 59 – требуется внести цинка и меди в почву, кг/га для увеличения их содержания на 1 мг/кг слоя почвы 0–30 см.

4.3 Взаимосвязь урожайности эхинацеи пурпурной с содержанием цинка и меди в лугово-черноземной почве

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур невозможно без применения минеральных удобрений на почвах с низким уровнем содержания микроэлементов. Система удобрений, основанная на комплексном методе «ИСПРОД» обеспечивает реализацию потенциальной продуктивности возделываемых культур, способствует воспроизводству плодородия почв.

Основной из поставленных задач данных многолетних исследований является моделирование в системе «почва-растение» режима питания микроэлементами (Zn и Cu), а также прогнозирование отзывчивости лекарственной культуры на внесение ацетатов в конкретных зональных условиях Западной Сибири. Увеличение урожайности эхинацеи пурпурной от применения микроудобрений происходит до определенного уровня. Это связано с содержанием элементов питания в почве, ниже и выше которого отмечается снижение урожайности лекарственного сырья.

В связи проблема нормирования содержания питательных веществ в почве с учетом зональных, климатических условий и величин формирования урожайности культур, требует решения в первую очередь. Все это позволяет

управлять процессами развития культурных растений, эффективным плодородием почв и формированием урожайности, его величиной и качеством.

Для этого использовались методы математического моделирования режима питания эхинацеи. Были получены взаимосвязи между содержанием доступных элементов питания в лугово-черноземной почве и урожайностью эхинацеи пурпурной за годы исследований. Это позволило объективно оценить полученные экспериментальные данные химического анализа исследуемой почвы, диагностировать эффективность микроудобрений и спрогнозировать урожайность лекарственного растения (Таблица 22).

Таблица 22– Математические модели связи урожайности эхинацеи пурпурной (Y , т/га) с содержанием цинка (X_1 , мг/кг) и меди (X_2 , мг/кг) в слое почвы 0-30 см (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Показатели (X)	Уравнения	«b» _{x/y} мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
<i>При внесении цинковых удобрений Zn (21,4 кг/га)</i>			
Содержание, Zn мг/кг, X_1	$Y_{48} = 1,24 + 0,098 X_1;$ (48)	0,098	$r = 0,99$
	$Y_{49} = 10,95 + 0,12 X_1;$ (49)	0,12	$r = 0,77$
	$Y_{50} = 11,11 + 0,68 X_1;$ (50)	0,68	$r = 0,86$
	$Y_{51} = 7,75 + 0,24 X_1;$ (51)	0,24	$r = 0,88$
Содержание, Cu мг/кг, X_2	$Y_{52} = 0,34 + 9,47 X_2;$ (52)	9,47	$r = 0,90$
	$Y_{53} = 10,4 + 5,19 X_2;$ (53)	5,19	$r = 0,78$
	$Y_{54} = 29,6 - 82,5 X_2;$ (54)	82,5	$r = 0,97$
	$Y_{55} = 4,21 + 15,5 X_2;$ (55)	15,5	$r = 0,92$
<i>При внесении медных удобрений Cu (9,4 кг/га)</i>			
Содержание, Cu мг/кг, X_2	$Y_{56} = 5,25 + 1,12 X_2;$ (56)	1,12	$r = 0,68$
	$Y_{57} = 7,26 + 34,8 X_2;$ (57)	34,8	$r = 0,91$
	$Y_{58} = 1,21 - 29,9 X_2;$ (58)	29,9	$r = 0,91$
	$Y_{59} = 2,4 + 27,9 X_2;$ (59)	27,9	$r = 0,91$
Содержание, Zn мг/кг, X_1	$Y_{60} = 1,23 + 0,13 X_1$ (60)	0,13	$r = 0,94$
	$Y_{61} = 8,91 + 1,23 X_1;$ (61)	1,23	$r = 0,98$
	$Y_{62} = 10,1 + 1,84 X_1;$ (62)	1,84	$r = 0,98$
	$Y_{63} = 6,8 + 1,0 X_1.$ (63)	1,0	$r = 0,98$

Проведенные исследования показали, что между химическим составом почвы (Cu, мг/кг и Zn, мг/кг) и величиной урожая сухого вещества эхинацеи пурпурной (Y) имеется тесная корреляционная зависимость ($r = 0,68-0,99$).

При помощи использования статистического метода анализа взаимосвязи «микроэлементы → урожайность» получены корреляционно-регрессионные уравнения данной зависимости в формировании урожайности сухого вещества лекарственной культуры Y (т/га) от содержания микроэлементов в слое почвы 0 – 30 см, мг/кг: Zn (X_1), и Cu (X_2) (Таблица 22, Рисунки 16-17, уравнения 48-63).

Из данных таблицы 22 следует, что однократное внесение микроэлементов в оптимальных дозах способствует увеличению урожайности эхинацеи по годам. При оптимизации цинкового питания (Zn – 21,4 кг/га) – оптимум в почве подвижного Zn – 7,4 и Cu – 0,35 мг/кг, а при оптимизации медного питания (Cu – 9,4 кг/га) – оптимум в почве подвижного цинка 6,8 и меди – 0,41 мг/кг.

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) 1 кг Zn и Cu увеличивает урожайность (b_{Zn} , т/га) эхинацеи пурпурной на 0,24 и 15,5 т (Таблица 22, уравнение 51 и 55) и (b_{Cu} , т/га) – 27,9 и 1 т (Таблица 22, уравнение 59 и 63), что связано с оптимальным ионным соотношением между Zn:Cu в почве, равном 16,6, нежели при цинковом питании – соотношение Zn:Cu = 21.1.

При формировании урожая эхинацеи пурпурной – 13,2 т/га, в почве слоя 0-30 см должно быть следующее соотношение микроэлементов – на одну часть меди приходится 16.6 частей подвижного цинка. При соотношении Zn:Cu = 21.1 наблюдается антагонизм в почве между цинком и медью, влияющий на снижение биосинтеза органического вещества эхинацеи до 9.9 т/га (Рисунки 16-17).

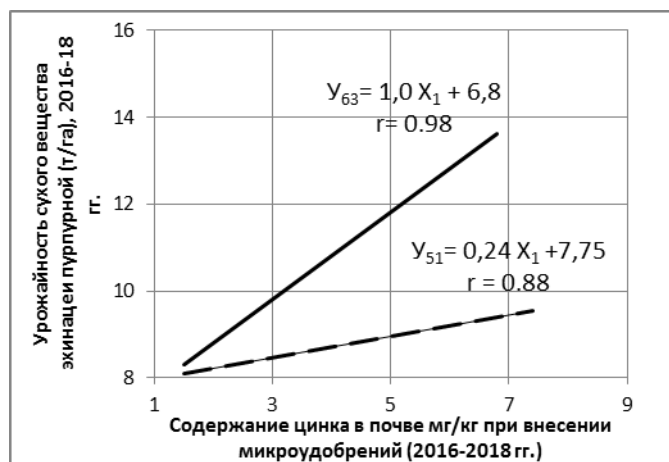


Рисунок 16–Зависимость урожайности эхинацеи от уровня содержания в почве Zn, мг/кг (16-18 гг.),

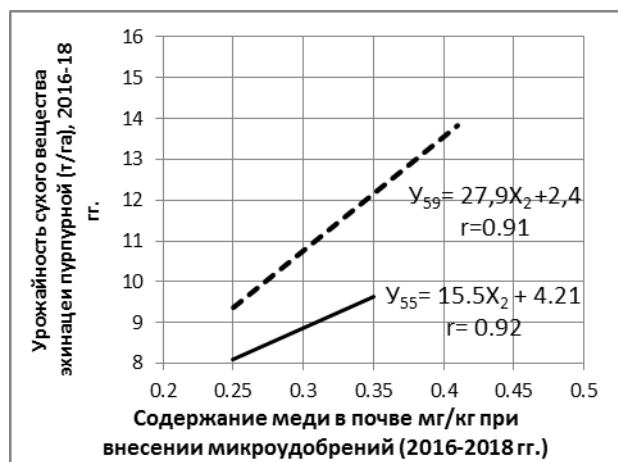


Рисунок 17–Зависимость урожайности эхинацеи от уровня содержания в почве Cu, мг/кг (16-18 гг.)

Увеличение соотношения ионов между Zn/Cu в 1.3 (21.1/16.6) способствует снижению урожайности сухого вещества эхинацеи в 1.3 раза (13,2 т /9,9 т).

Уравнения регрессии, представленные в таблице 22 позволяют с высокой точностью выполнить прогноз урожая эхинацеи пурпурной в зависимости от содержания цинка и меди в почве.

В процессе трехлетних исследований, было установлено, что применение 1 кг цинка и меди в почву в среднем увеличивает содержание Zn на 0,242 мг/кг и Cu на 0,017 мг/кг (уравнение 33 и 37) и обеспечивает прибавку эхинацеи пурпурной при внесении расчетных доз цинка – 0,079 т/га (уравнение 7) и меди – 0,53 т/га (уравнение 14). Для того чтобы повысить содержание подвижного цинка и меди в лугово-черноземной почве участка на 1 мг/кг почвы необходимо внести Zn- 4,1 кг/га, Cu- 59,0 кг/га, при внесении которых урожайность эхинацеи пурпурной повысится на 0,32 т/га (4,1 кг/га · 0,079 т/га) при внесении ацетата цинка, при внесении ацетата меди на 31,3 т/га (59,0 кг/га · 0,53 т/га).

Таким образом, используя информацию об оптимальном ($Zn_o - 6,8 \text{ мг/кг}$, $Cu_o - 0,41 \text{ мг/кг}$) и фактическом ($Zn_f - 1,5 \text{ мг/кг}$, $Cu_f - 0,25 \text{ мг/кг}$) уровнях содержания цинка и меди в почве под эхинацеей, можно прогнозировать прибавки урожая лекарственного сырья (Π , т/га) по формулам 64-65:

$$Zn: \Pi = (Zn_o - Zn_f) \cdot 0,32 \quad (64)$$

$$Cu: \Pi = (Cu_o - Cu_f) \cdot 31,3 \quad (65)$$

$$\Pi = (6,8 - 1,5) \cdot 0,32 = 1,7 \text{ т/га}$$

$$\Pi = (0,41 - 0,25) \cdot 31,3 = 5,0 \text{ т/га}$$

Фактическая прибавка = 1,7 т/га

Фактическая прибавка = 5,0 т/га

где Zn_o , Cu_o – оптимальный уровень содержания подвижного цинка и меди в почве, мг/кг;
 Zn_f , Cu_f – фактический уровень содержания подвижного цинка и меди в почве, мг/кг;
 0,32 и 31,3 – коэффициенты интенсивности действия 1 мг цинка и меди на 1 кг почвы для формирования прибавки урожая эхинацеи пурпурной, т/га.

Следовательно, многолетние полевые исследования показали, что для роста, развития эхинацеи пурпурной, формирования высокой урожайности (13,2 т/га) и получения максимальных прибавок культуры (5,0 т/га) на лугово-черноземной почве, в ней должно содержаться оптимальное количество цинка – 6,8 мг/кг, меди – 0,41 мг/кг в оптимальном соотношении цинка и меди $Zn \approx 16.6 \text{ Cu}$.

4.4 Влияние микроудобрений цинка и меди на уровень содержания N-NO₃, P₂O₅ и K₂O в лугово-черноземной почве

Для разработки почвенной диагностики и определения лекарственной культуры в микроудобрениях было изучено поведение основных элементов питания (N-NO₃, P₂O₅ и K₂O) в почве в основные фазы развития эхинацеи с использованием 2%-ную CH₃COOH вытяжки. Многими авторами установлено, что содержание нитратов в почве это объективный показатель, который способен характеризовать обеспеченность сельскохозяйственных растений азотом в почвах черноземного ряда [46, 58, 104, 152, 153, 154, 159.].

В исследованиях стояла задача установить взаимосвязи между содержанием макроэлементов (нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия) в почве от однократно внесенных расчетных доз цинковых и медных микроудобрений. В результате получены реальные, практические коэффициенты интенсивности действия исследуемых микроэлементов на химический состав почвы в системе: «удобрение Zn, Cu, кг/га) → почва (N-NO₃, P₂O₅ и K₂O, мг/кг)».

Полученные результаты по содержанию основных элементов питания нитратного азота (N-NO₃), подвижного фосфора и обменного калия (P₂O₅, K₂O) в почве опытного участка в фазы отрастания и цветения эхинацеи пурпурной представлено в Приложениях И, К.

Таким образом, в многолетних полевых исследованиях с лекарственной культурой и внесением ацетатов цинка и меди в почву до посадки эхинацеи установлено, что концентрация N-NO₃, P₂O₅ и K₂O в почве увеличилась в сравнении с исходным содержанием.

Это свидетельство того, что кроме природных (естественных) процессов, протекавших в почве, однократно внесенные микроэлементы Zn и Cu способствовали увеличению концентрации (содержания) N-NO₃, P₂O₅, K₂O (Таблица 23).

Таблица 23 – Содержание элементов питания (мг/кг) в лугово-черноземной почве при внесении от низких до оптимальных доз микроэлементов в почву под эхинацею пурпурную (средние данные за 2016-2018 гг.)

Варианты опыта	N-NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Отрастание	Цветение	Отрастание	Цветение	Отрастание	Цветение
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	10,9±0,78	9,5±1,05	48,5±2,95	51,6±5,76	99,9±6,27	94,9±8,4
Фон (N ₁₂₅)	14,8±0,28	13,0±0,59	59,8±1,49	62,4±4,36	121,4±3,5	101,9±7,3
Фон + 10,7 кг д.в.га	18,4±0,18	17,5±0,01	69,4±0,25	100,3±0,53	142,5±0,8	125,0±3,6
Фон + 21,4 кг д.в.га	21,0±0,52	24,1±0,84	76,0±0,6	119,6±3,02	160,6±1,6	143,0±0,8
Фон + 32,4 кг д.в.га	16,9±0,01	20,9±0,43	69,2±0,27	115,6±2,5	143,4±0,7	157,4±1,5
Фон + 42,8 кг д.в.га	15,3±0,22	17,1±0,06	64,7±0,86	123,8±3,56	131,9±2,2	178,4±4,8
Фон + 2,3 кг д.в.га	16,3±0,09	14,2±0,44	71,2±0,02	81,0±1,96	162,1±1,8	141,1±1,1
Фон + 4,7 кг д.в.га	17,6±0,08	16,7±0,12	73,7±0,31	88,1±1,05	166,0±2,3	165,4±2,7
Фон + 7,0 кг д.в.га	19,0±0,26	19,7±0,27	88,4±2,2	107,7±1,48	179,7±4,0	179,1±4,9
Фон + 9,4 кг д.в.га	19,6±0,34	23,3±0,74	92,4±2,72	112,0±2,04	177,8±3,8	194,5±7,3
<i>Примечание : n=30</i>						

Данные таблицы 23 показывают изменения содержания элементов питания в почве при внесении микроудобрений на оптимальном макро фоне (N₁₂₅). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что накопление в почве нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия происходит при внесении от низких до оптимальных расчетных доз цинка - 0,5 ПДК Zn (21,4 кг/га) и меди в – 1 ПДК Cu (9,4 кг/га). Так содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве до отрастания эхинацеи пурпурной было ниже, чем к периоду цветения растений, но такая тенденция наблюдается отнюдь не везде. В вариантах опыта с максимальными дозами внесения цинка (свыше 21,4 кг д.в./га) и меди (свыше 7,0 кг д.в./га) отмечается снижение (N-NO₃) в почве, а к фазе цветения, по сравнению с ранней фазой

развития растений в почве увеличивалось содержание $N-NO_3$ и при внесении более высоких доз Cu .

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) при внесении оптимальных расчетных доз в почву (цинка и меди) под эхинацею пурпурную, содержание $N-NO_3$, P_2O_5 в почве было выше, чем при более высоких дозах (по сравнению с фоном), что сказывается на процессы минерализации органического вещества почвы и накопление (подвижных) доступных форм элементов питания растений. Медные удобрения способствуют увеличению содержания азота в почве, так как активируют азотфиксирующую деятельность бактерий, что приводит к улучшению азотного питания растений [280]. Так же одной из причин влияния цинка и меди на азот почвы может быть изменение под влиянием ионов металлов состояния гумусовых веществ, органоминеральных веществ, их «скрепляющей», структурирующей» способности по отношению к тонкодисперсным почвенным частицам [85].

Накопление обменного калия (K_2O) в почве наблюдалось при применении более высоких доз цинковых и медных удобрений (0,75 – 1 ПДК). Имеются достоверные данные исследований А.Х. Шеуджена о влиянии цинковых и медных удобрений на содержание азота, фосфора и калия в почве [283]. Выводы, полученные в данной работе согласуются с результатами, полученными в настоящих исследованиях.

Исследования показывают, что применение оптимальных доз микроудобрений сопряженно оказывает положительное влияние как на содержание $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O в почве, так и на формирование урожая.

С помощью математических экспрессных методов оценки почвы по содержанию $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O при внесении цинковых и медных удобрений в почву в оптимальных дозах, установлены коэффициенты интенсивности действия («*b*») цинка и меди по годам исследования уравнения 66-101 (Приложение Л).

Математическое моделирование данных характеристик почвы системы «удобрение Zn , Cu → почва (N , P , K)» - позволило установить взаимосвязи в виде математических уравнений 102-113 (Таблица 24).

Таблица 24 – Математические модели связи макроэлементов почвы (У, мг/кг) с дозами внесенных цинковых (X_1) и медных (X_2) микроудобрений, (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Показатели (X)	Уравнения	«b» _{x/y} , мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
Отрастание			
Доза, X_1 кг Zn/га	$N-NO_3=0,29 X_1 + 15,0;$ (102)	0,29	$r = 0,99$
	$P_2O_5=0,75 X_1 + 60,3;$ (103)	0,75	$r = 0,99$
	$K_2O=1,83 X_1 + 121,9;$ (104)	1,83	$r = 0,99$
Доза, X_2 кг Cu/га	$N-NO_3=0,53 X_2+15,0;$ (105)	0,53	$r = 0,99$
	$P_2O_5=3,50 X_2 +60,7;$ (106)	3,50	$r = 0,98$
	$K_2O =5,53 X_2 +135,5.$ (107)	5,53	$r = 0,97$
Цветение			
Доза, X_1 кг Zn/га	$N-NO_3=0,52 X_1 + 12,67;$ (108)	0,52	$r = 0,99$
	$P_2O_5=1,29 X_1 +76,7;$ (109)	1,29	$r = 0,87$
	$K_2O=1,73 X_1 +104,1;$ (110)	1,73	$r = 0,99$
Доза, X_2 кг Cu/га	$N-NO_3=1,11 X_2+12,2;$ (111)	1,11	$r = 0,99$
	$P_2O_5=5,35 X_2 +65,2;$ (112)	5,35	$r = 0,98$
	$K_2O =9,5 X_2 +112,0.$ (113)	9,5	$r = 0,97$

Использование математических методов связи данных (Таблицы 23 и 24) системы: «удобрение (X, Zn, Cu кг/га) → почва (У, макроэлементы, мг/кг) – идентификация ответной реакции по изменению содержания $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O почвы под растением, к периоду отрастания и цветения (« $b_{x/y}$ ») получены количественные характеристики интенсивности действия единицы внесённого цинкового и медного удобрения на почву и уравнения взаимосвязи: « b » _{$N-NO_3$} – (уравнения 102, 105, 108 и 111), « b » _{P_2O_5} – уравнения 103, 106, 109 и 112), « b » _{K_2O} – уравнения 104, 107, 110 и 113 (Таблица 24).

Исследования показали, что внесение меди в оптимальных дозах в почву характеризуется более интенсивным действием Cu на процесс минерализации органического вещества почвы, что и оценивается экспресс методами почвенной диагностики.

Для повышения содержания $N-NO_3$ (а), P_2O_5 (б) и K_2O (в) в почве (слой 0-30 см) за счет применения микроудобрений – 1 мг Zn/кг почвы соответствует эквивалентное количество элементов питания: а) 3,45-1,92 кг N/га; б) 1,33-0,78 кг

P_2O_5 /га; в) 0,55-0,58 кг K_2O /га; соответственно, в эти фазы роста и развития культуры – одному мг Cu /кг почвы соответствует эквивалентные количества удобрений, кг/га: а) 1,88-0,9 кг N /га; б) 0,29-0,19 кг P_2O_5 /га; в) 0,19-0,11 кг K_2O /га.

Согласно полученным математическим уравнениям 66-83 (Приложение Л) и 102-107 (Таблица 24), были установлены оптимальные уровни содержания $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O в слое почвы 0-30 см (Таблица 25).

Таблица 25 – Оптимальные уровни содержания нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия (мг/кг) в слое почвы 0-30 см

Год жизни культуры	влияние Zn удобрений			влияние Cu удобрений		
	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
Первый год:	22	116	184	16	156	199
Второй год :	28	80	175	32	68	200
Третий год:	13	32	122	11	52	134
Средние данные:	21	76	161	20	93	178

Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг.

Используя данные таблицы 25 получаем уравнения оптимального баланса содержания макроэлементов в почве, при оптимальном питании, уравнения 118-121.

Фактическое соотношение макроэлементов за годы исследований (2016-2018 гг.) в почве под влиянием оптимальных доз Zn (21,4 кг/га) и Cu (9,4 кг/га) было следующим, уравнения 114-117:

Уравнения баланса в почве:

При внесении оптимальной дозы цинка ($Zn_{21,4}$):

$$2016 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 5.3 \quad N-NO_3 \approx 0.6 \quad K_2O; \quad (114)$$

$$2017 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 2.9 \quad N-NO_3 \approx 0.5 \quad K_2O; \quad (115)$$

$$2018 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 2.5 \quad N-NO_3 \approx 0.3 \quad K_2O; \quad (116)$$

$$2016-2018 \text{ гг.} \quad P_2O_5 \approx 3.6 \quad N-NO_3 \approx 0.5 \quad K_2O; \quad (117)$$

При внесении оптимальной дозы меди ($Cu_{9,4}$):

$$2016 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 9.8 \quad N-NO_3 \approx 0.8 \quad K_2O; \quad (118)$$

$$2017 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 2.1 \quad N-NO_3 \approx 0.3 \quad K_2O; \quad (119)$$

$$2018 \text{ г.} \quad P_2O_5 \approx 4.7 \quad N-NO_3 \approx 0.4 \quad K_2O; \quad (120)$$

$$2016-2018 \text{ гг.} \quad P_2O_5 \approx 4.7 \quad N-NO_3 \approx 0.5 \quad K_2O. \quad (121)$$

Согласно установленным связям в фазу отрастания (уравнение 102-107, Таблица 24), был сделан прогноз содержания в почве макроэлементов (Таблица 26).

Таблица 26 – Прогноз содержания макроэлементов почвы в зависимости от доз внесенных цинковых и медных удобрений (полевые опыты 2016-2018 гг.)

<i>Дозы цинка:</i>	<i>Фон (N₁₂₅)</i>	<i>10,7 кг/га</i>	<i>21,4 кг/га</i>	<i>32,4 кг/га</i>	<i>42,8 кг/га</i>
<i>Нитратный азот (N-NO₃), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	14,8	18,4	21,0	16,9	15,3
Прогноз, мг/кг (уравнение 102, Таблица 24)	15,0	18,1	21,2	-	-
<i>Подвижный фосфор (P₂O₅), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	59,8	69,4	76,0	69,2	64,7
Прогноз, мг/кг (уравнение 103, Таблица 24)	60,3	68,4	76,4	-	-
<i>Обменный калий (K₂O), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	121,4	142,5	160,6	143,4	131,9
Прогноз, мг/кг (уравнение 104, Таблица 24)	121,9	141,5	161,1	-	-
<i>Дозы меди:</i>	<i>Фон (N₁₂₅)</i>	<i>2,3 кг/га</i>	<i>4,7 кг/га</i>	<i>7,0 кг/га</i>	<i>9,4 кг/га</i>
<i>Нитратный азот (N-NO₃), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	14,8	16,3	17,6	19,0	19,6
Прогноз, мг/кг (уравнение 105, Таблица 24)	15,0	16,2	17,5	18,7	20,0
<i>Подвижный фосфор (P₂O₅), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	59,8	71,2	73,7	88,4	92,4
Прогноз, мг/кг (уравнение 106, Таблица 24)	60,3	68,8	77,2	85,2	93,6
<i>Обменный калий (K₂O), мг/кг</i>					
Фактическое содержание, мг/кг	121,4	162,1	166,0	179,7	177,8
Прогноз, мг/кг (уравнение 107, Таблица 24)	121,9	148,2	161,5	174,2	187,5

Установление реальных показателей связей количественных характеристик: «внесения Zn и Cu в почву и ее химическим составом (N-NO₃, P₂O₅, K₂O – определенные с использованием экспресс-методов)» имеет, смысл для разработки гибкой системы применения макро- и микроудобрений для каждой конкретной культуры и применения данной системы на практике.

Полученные нормативные характеристики уровня содержания нитратного азота (20,0 мг/кг), подвижного фосфора (93 мг/кг) и обменного калия (178 мг/кг) в лугово-черноземной почве при сбалансированном питании (применение медных удобрений (Cu_{9,4} кг/га) – служат оптимальными уровнями обеспеченности эхинацеи пурпурной макроэлементами в период роста растений.

4.5 Способность эхинацеи пурпурной к усвоению макро- и микроэлементов из почвы и удобрений

В процессе вегетации эхинацея пурпурная потребляет разное количество элементов питания. Важнейшим агрохимическим показателем, при помощи которого представляется возможным оценить потребности выращиваемых сельскохозяйственных растений в макро- и микроудобрениях, а также в планировании их использования, в том числе для поддержания оптимального баланса основных элементов питания и сохранения плодородия почвы является вынос.

Для установления количественных характеристик потребности изучаемой культуры в удобрениях, необходим расчёт следующих основных агрохимических показателей: вынос основных элементов питания урожаем культуры, КИП, КИУ, величину N_n [58, 119].

Вынос элементов питания и его величина зависит от множества факторов: зональных условий возделывания культур [217] гидротермических, почвенных и метеорологических условий вегетационного периода [150].

Таблица 27 – Вынос цинка и меди с урожаем эхинацеи пурпурной в зависимости от применения цинковых и медных удобрений, (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта	Средний вынос, кг/га (2016-2018 гг.)		Вынос единицей продукции, г/т	
	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	0,031	0,015	0,004	0,002
Фон (N_{125})	0,035	0,016	0,004	0,0019
Фон+ 0,25 ПДК ($Zn_{10,7}$)	0,111	0,016	0,013	0,0018
Фон+ 0,5 ПДК ($Zn_{21,4}$)	0,146	0,025	0,015	0,0025
Фон+ 0,75 ПДК ($Zn_{32,4}$)	0,122	0,022	0,016	0,0028
Фон+ ПДК ($Zn_{42,8}$)	0,142	0,027	0,018	0,0034
Фон+ 0,25 ПДК ($Cu_{2,3}$)	0,111	0,023	0,011	0,0023
Фон+0,5 ПДК($Cu_{4,7}$)	0,176	0,032	0,016	0,0029
Фон+ 0,75 ($Cu_{7,0}$)	0,217	0,050	0,017	0,0039
Фон+ ПДК ($Cu_{9,4}$)	0,266	0,068	0,020	0,0051

Результаты расчета выноса микроэлементов (цинка и меди) растениями за вегетационный период с 2016-2018 гг. приведены в таблице 27 и в приложении М.

Таким образом, использование цинковых и медьсодержащих удобрений оказало существенное влияние на вынос макроэлементов урожаем эхинацеи пурпурной (Таблица 28 и Приложение Н).

Таблица 28– Вынос макроэлементов с урожаем эхинацеи пурпурной в зависимости от применения цинковых и медных удобрений, 2016-2018 гг.

Вариант опыта	Средний вынос в кг/га (2016-2018 гг.)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	144,6	25,0	193,6
Фон (N ₁₂₅)	166,0	27,5	214,4
Фон+ 0,25 ПДК (Zn _{10,7})	181,4	32,5	239,1
Фон+ 0,5 ПДК (Zn _{21,4})	200,7	40,4	281,4
Фон+ 0,75 ПДК (Zn _{32,4})	176,6	31,3	230,3
Фон+ ПДК (Zn _{42,8})	161,5	35,4	213,4
Фон+ 0,25 ПДК (Cu _{2,3})	188,0	36,1	257,4
Фон+0,5 ПДК(Cu _{4,7})	219,0	43,6	306,4
Фон+ 0,75 (Cu _{7,0})	267,2	52,0	370,4
Фон+ ПДК (Cu _{9,4})	252,1	59,3	406,1

Данные по выносу N, P₂O₅, K₂O в лугово-черноземной почве опытного под эхинацеей пурпурной по годам исследования отличаются (Приложение Н).

Стоит отметить во всех вариантах опыта с внесением ацетатных форм микроудобрений (цинка и меди) отмечается увеличение выноса основных веществ надземной массой эхинацеи в сравнении с вариантом без удобрений (контрольным). Это с одной стороны следствие увеличения урожайности культуры и повышения концентрации элементов питания в растениях с другой.

Наибольший средний вынос цинка составил при дозе внесения 0,5 ПДК Zn - 0,146 кг/га и при дозе внесения ПДК Cu - 0,266 кг/га (Таблица 27).

Набольшый средний вынос меди отмечается в вариантах: Фон + 0,5 ПДК Zn – 0,025 кг/га и Фон + ПДК Cu – 0,068 кг/га (Таблица 27).

За годы проведенных многолетних исследований (2016-2018 гг.) изучения влияния расчетных доз микроудобрений на вынос элементов питания из почвы позволило установить потребление макроэлементов растениями эхинацеи.

Так, средний вынос макроэлементов урожаем (13,2 и 9,9 т/га) лекарственного сырья, на оптимальных вариантах опыта *ПДК Cu_{9,4}*: N – 252,1 кг., P₂O₅ – 59,4 кг., K₂O – 406,1 кг; *0,5 ПДК Zn_{21,4}*: N – 200,7 кг., P₂O₅ – 40,4 кг., K₂O – 281,4 кг (Таблица 28).

Таким образом, оптимальный общий вынос макро- и микроэлементов за три года исследований установлен при оптимальном сбалансированном питании при лучшей дозе медных удобрений – Cu_{9,4} кг/га и получении наибольшей урожайности лекарственных растений (13,2 т/га).

Между урожайностью лекарственной культуры и общим выносом элементов питания существует прямая зависимость, при увеличении урожайности происходит закономерное увеличение выноса основных элементов питания из почвы.

Даже в случае незначительных изменений величины урожайности потребление питательных веществ на 1 продукции остается постоянной величиной, и данные показатели используются в случае корректировке применяемых доз удобрений на планируемую прибавку урожая.

Коэффициент использования элементов питания растений из почвы (КИП)

В данных исследованиях рассчитывались коэффициенты использования основных элементов питания из естественных запасов почвы.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, о том, что значение коэффициентов варьируют в значительной степени от метеорологических условий, урожайности, вида, количества способа внесения минеральных удобрений, а также экспрессных методов оценке и других условий.

Внесенные удобрения подвергаются различным трансформациям в почве. При применении удобрений без учета данных изменений, дозы внесения ниже, необходимых растениям для оптимального питания. Следовательно, для правильного использования удобрений, нужно учитывать их количественное потребление конкретной возделываемой культурой [84, 118, 119, 143].

В приложениях П-С приведены данные КИП, ПЭУ и коэффициентов использования элементов питания, диагностического слоя почвы: нитратного азота (формула 122), подвижного фосфора, калия, меди и цинка (формула 123).

$$\text{КИП N} = V_y / B_N, \quad (122) \quad \text{КИП}_{P_2O_5, K_2O, Zn, Cu} = \frac{V_y}{C}, \quad (123)$$

где V_y – вынос азота биомассой, кг/га;
 B_N – баланс азота в почве к периоду учета
 урожая, кг/га.

где V_y – вынос элементов урожаем, кг/га;
 C – содержание элемента в почве, кг/га.

Пример расчета КИП в вариантах с оптимальными дозами

Доза Zn 21,4 кг/га:

$$\text{КИП N} = \frac{200,7}{287,4} = 0,70 \text{ или } 69,8\%;$$

$$\text{КИП}_{P_2O_5} = \frac{40,41}{430,55} = 0,094 \text{ или } 9,4\%;$$

$$\text{КИП}_{K_2O} = \frac{281,4}{514,87} = 0,547 \text{ или } 54,7\%;$$

$$\text{КИП}_{Zn} = \frac{0,146}{26,48} = 0,005 \text{ или } 0,5\%;$$

Доза Cu 9,4 кг/га:

$$\text{КИП N} = \frac{252,1}{336,1} = 0,75 \text{ или } 75\%;$$

$$\text{КИП}_{P_2O_5} = \frac{59,28}{403,1} = 0,147 \text{ или } 14,7\%;$$

$$\text{КИП}_{K_2O} = \frac{406,1}{700,19} = 0,58 \text{ или } 58\%;$$

$$\text{КИП}_{Cu} = \frac{0,068}{1,49} = 0,045 \text{ или } 4,5\%.$$

Представляют интерес полученные данные расчета КИП эхинацей пурпурной, в которых отражается физиолого - биохимическая характеристика растительного организма.

Полученные результаты КИП из почвы варьируют: по цинку от 0,32% до 1,19%; по меди от 1,39 до 4,57%; по азоту от 69,8 до 80,8%; по фосфору от 9,0 до 14,7%; - по калию от 33,2 до 58,5%. Изменение данных коэффициентов зависит от климатических условий, что обуславливает урожайность и химическую структуру растений эхинацей пурпурной (Приложение Р).

Коэффициент использования элементов питания растений из удобрений (КИУ)

По мнению Коренькова Д. А., Сдобниковой О.В. мощным фактором оказывающим действие на доступность элементов питания почвы растениям является удобрение [149, 224]. Для этого важно точно определить коэффициенты использования питательных веществ из удобрений.

По данным Пискунова А.С. коэффициенты КИУ, рассчитанные с использованием разностного метода, используются в разработке эффективного

баланса, прогнозировании потребности в элементах и расчете доз минеральных удобрений на планируемую урожайность [202].

Используя разностный метод расчета КИП, получены коэффициенты использования из удобрений. Данные коэффициенты учитывают прямое и косвенное использование культурой питательных элементов удобрений. Прямое действие проявляется за счет применения удобрений, дополнительное - за счет развития коневой системы растения в результате внесения удобрений. Данные условия являются основными для программирования урожайности [108].

При разработке правильной системы удобрений под конкретные культуры, программировании урожайности растений, прогнозировании потребности в удобрениях и расчете баланса питательных веществ используется показатель эффективности удобрений (ПЭУ).

ПЭУ – как правило, более точный, чем КИУ, так как при расчете учитывается прямое действие удобренного варианта:

B – вынос элементов питания урожаем культуры в удобренном варианте, кг/га; $У$ – урожайность растений на удобренных вариантах, ц/га; $П$ – прибавка урожайности, ц/га; $Д$ – доза эффективного вещества в удобрениях, кг/га.

Показатель эффективности удобрений отражает долю использования культурой удобрения от внесенного количества элемента питания с удобрением на планируемую прибавку урожайности (Приложение С).

Используя формулы 124-125 рассчитывают КИУ и ПЭУ использования сельскохозяйственными растениями питательных элементов из применяемых макро- и микроудобрений.

$$КИУ = \frac{B_y - B_k}{D} \quad (124) \quad ПЭУ = \frac{B(кг/га) \cdot П(ц/га)}{У(ц/га) \cdot Д} \quad (125)$$

Рассчитаны коэффициенты использования и показатель эффективности цинка, меди и азота эхинацеей пурпурной из внесенных в почву макро- и микроудобрений (Приложение С).

Полученные нормативные агрохимические характеристики, служат основой при расчете норм внесения данных удобрений на лугово-черноземной почве под эхинацею пурпурную.

Таким образом, разработка динамической системы применения макро- и микроудобрений и их рациональное применение – основа для увеличения урожайности и качества эхинацеи пурпурной и повышения плодородия почвы. Для этого необходимо учитывать потребности каждой отдельной культуры и ее способности к усвоению питательных веществ, а также способности почвы удовлетворить потребности растений в этих веществах [106].

Динамика накопления доступного N-NO₃ в почве под растениями эхинацеи пурпурной

В проведенных исследованиях, изучено влияние внесенных ацетатных форм Zn и Cu на накопление N-NO₃ почвы, доступный растениям.

На сегодняшний день в агрохимии особый интерес научный и практический представляют вопросы, связанные с дефицитом азота в почве, так как она изучает превращения N-NO₃ в связи «почва-удобрение-растение» с целью повышения продуктивности различных сельскохозяйственных культур соответствующего качества.

В фундаментальных работах многих ученых: Ермохина Ю.И., Гамзикова Г.П., Кочергина А.Е., Башкина В.И. и др. достаточно полно освещены вопросы агрохимии азота [28, 59, 104, 106, 148, 152, 157, 175, 186].

Проблема азотного питания растений и эффективности применения макро- и микроэлементов представляет особенный интерес. Отдельное внимание уделяется вопросам содержания минерального азота (N-NO₃) в почве под сельскохозяйственными культурами в основные фазы развития. По степени его величины судят об обеспеченности минеральным азотом растений.

В рамках системы «ИСПРОД» (интеграционная система почвенно-растительная оперативная диагностика) стало возможным осуществлять

оптимизацию азотного питания разнообразных сельскохозяйственных культур. Данная интеграционная система основывается на трех принципах:

1) способность конкретной почвы удовлетворить «требования» растений к содержанию питательных веществ;

2) потребности и способности культур усваивать данные вещества в определенных зональных условиях сельскохозяйственного производства (вынос ЭП в период роста культуры, КИП, ПЭУ, N_m – количество накопленного азота под растениями и т.д.);

3) условия питания растений в период всей вегетации и расчет доз удобрений (содержание макро- и микроэлементов в органах и целых растениях в основные фазы развития, а также оптимальное соотношение их уровней, K_p – коэффициента потребности в элементах питания, «b» – коэффициента интенсивности действия внесенных удобрений на химический состав).

Данные принципы решаются при помощи использования 2%-ной уксуснокислой вытяжки для извлечения питательных элементов из почвы и сельскохозяйственных растений (неорганические формы). Этот метод проявил себя в условиях Сибири с огромным количеством возделываемых культур [114].

Динамика накопления доступного азота в лугово-черноземной почве (слой 0-30 см) под культурными растениями, в том числе под эхинацеей пурпурной одна из нерешенных проблем, оставшаяся без необходимого внимания.

В природе установлено более двенадцати тысяч культурных растений разных семейств, которые имеют способность к ассоциативной азотфиксации с почвенными микроорганизмами.

Представителями семейств способных фиксировать азот атмосферы являются : злаковые, бурачниковые, крестоцветные и гречишные [32, 49, 59, 92, 104, 298, 309, 320] и др.

В процессе роста и развития растений в почве изменяется содержание нитратного азота, что связано с процессами нитрификации, симбиотической фиксации азота атмосферы, работой корневой системы растений. Следовательно,

в период вегетации культурных растений происходит мобилизация азота в лугово-черноземной почве, который успешно используется растениями эхинацеи.

Задача исследователя – установить количество $N-NO_3$ в лугово-черноземной почве в процессе мобилизации (N_M), которое можно использовать в практике при разработке системы удобрения конкретной культуры.

Процесс накопления доступного минерального азота почвы опытного участка под растениями эхинацеи пурпурной, рассчитывали по формуле (126):

$$N_M = N_g + N_o - N_n \quad (126)$$

где N_M – накопление доступного минерального азота почвы под растением эхинацеи, кг/га;

N_g – вынос азота эхинацей пурпурной, кг/га;

N_n – содержание азота в почве до посадки эхинацеи пурпурной, кг/га.

N_o – остаток минерального ($N-NO_3$) азота в почве под растением в период уборки, кг/га;

В таблице 29 представлен результат накопления доступного минерального азота лугово-черноземной почве под растениями эхинацеи пурпурной.

Таблица 29 – Динамика накопления доступного азота в лугово-черноземной почве под лекарственной культурой за вегетационный период эхинацеи пурпурной (в среднем за 2016-2018 гг.)

Вариант	Содержание $N-NO_3$, в почве, кг/га		Вынос урожая, кг/га (N_B)	Баланс азота (B_N)	(N_M) , кг/га	КИП азота
	До посадки (N_n)	Под растением (N_o)				
Контроль	39,3	34,3	144,6	178,8	139,6	0,81
Фон (N_{125})	53,4	46,8	166,0	212,9	159,5	0,78
Фон+0,25ПДК Zn	66,1	63,1	181,4	244,6	178,4	0,74
Фон+0,5ПДК Zn	75,6	86,7	200,7	287,4	211,8	0,69
Фон+0,75ПДК Zn	60,8	75,2	176,6	251,8	191,0	0,70
Фон + ПДК Zn	56,1	61,4	161,5	222,9	166,7	0,72
Фон+0,25ПДК Cu	58,6	51,3	188,0	239,3	180,6	0,79
Фон+0,5 ПДК Cu	63,2	60,2	219,0	279,2	216,0	0,78
Фон+0,75 ПДК Cu	68,4	70,9	267,2	338,1	269,7	0,79
Фон + ПДК Cu	70,7	84,0	252,1	336,1	265,4	0,75

Баланс минерального азота (B_N) диагностического слоя лугово-черноземной почвы 0-30 см можно рассчитать, учитывая остаточный уровень содержания $N-NO_3$ (N_0) и вынос элемента лекарственными растениями эхинацеи пурпурной по формулам 127-128:

$$B_N = N_v + N_0, \text{ кг/га} \quad (127) \quad B_N = \frac{N_e}{\text{КИП}}, \text{ кг/га} \quad (128)$$

где N_v – вынос N лекарственным растением, кг/га;

N_0 – остаточное количество N в почве под растением в период уборки, кг/га.

Расчет баланса азота удобренного (контрольного) варианта опыта (Таблица 29):

$$B_N = 144,6 \text{ кг/га} + 34,3 \text{ кг/га} = 178,9 \text{ кг/га}; \quad B_N = 144,6 \text{ кг/га} / 0,81 = 178,5 \text{ кг/га}.$$

Данные расчета фактического баланса азота в лугово-черноземной почве, по формулам (127) и (128), учитывающие потребности лекарственного растения в азоте и ее способности к его усвоению согласуются.

Таким образом, если количественные характеристики N_m полученные в полевых исследованиях принимать за «норматив» (Таблица 29), то представляется возможность их практического использования в земледелии при диагностике азотного питания, в прогнозе урожаев культурных растений, расчете доз удобрений для отдельных культур в нашем случае для лекарственного растения - эхинацеи пурпурной.

В связи с вышесказанным, можно заключить, что для получения максимальной средней урожайности лекарственной культуры по медному варианту 1 ПДК Cu (13,2 т/га) и варианту с применением цинка 0,5 ПДК Zn (9,9 т/га) в диагностическом слое почвы (0-30 см) должно содержаться оптимальное количество азота (N_m) 265,4 и 211,8 кг/га, B_N – 336,1 и 287,4 кг, КИП – 0,75 и 0,69 % (Таблица 29).

Подтвердить оптимальный уровень содержания $N-NO_3$ в лугово-черноземной почве (кг/га) возможно используя балансовый метод расчета формуле (129):

$$N - NO_3 = \frac{B}{\text{КИП}} - N_m \quad (129)$$

В качестве примера выполним расчеты для определения оптимального содержания азота в почве (кг/га) на вариантах с внесенными оптимальными дозами меди и под эхинацею пурпурную, фаза цветения:

Расчет №1: Лучший вариант – 9,4 кг Cu /га

$B = 252,1$ кг/га

$KИП = 0,75$

$N_m = 265,4$ кг/га

$$N - NO_3 = \frac{N_e (\text{кг/га})}{0,75} - N_m = \frac{252,1}{0,75} - 265,4 = 70,1 \text{ кг/га} \text{ или}$$

19,5 мг N/кг

Расчет №2: Лучший вариант – 21,4 кг Zn /га

$B = 200,7$ кг/га

$KИП = 0,69$

$N_m = 211,8$ кг/га

$$N - NO_3 = \frac{N_e (\text{кг/га})}{0,69} - N_m = \frac{200,7}{0,69} - 211,8 = 79,1 \text{ кг/га} \text{ или}$$

22,0 мг N/кг

Таким образом, при возделывании и оптимизации минерального питания лекарственной культуры эхинацеи на лугово-черноземной почве Западной Сибири при получении максимального урожая сухого вещества (13,2 т/га) почва слоя 0-30 см должна содержать оптимальные уровни, мг/кг: подвижного Zn – 6,8, подвижной Cu – 0,41, N-NO₃ – 20, P₂O₅ – 92, K₂O – 178 при следующем сбалансированном ионном равновесии элементов в почве (уравнение 130):

$$P_2O_5 \text{ мг/кг} \approx 4,6 N-NO_3 \text{ мг/кг} \approx 0,5 K_2O \text{ мг/кг} \approx 13,7 Zn \text{ мг/кг} \approx 224 Cu \text{ мг/кг} \text{ (130)}.$$

5 РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ

Многие авторы отмечают, что непосредственное влияние на содержание химических элементов в растениях оказывает их концентрация в почве [51,52, 93, 121, 144].

Культурные растения, в частности лекарственные являются источниками жизненно-важных микронутриентов. Почва не всегда способна удовлетворить потребности сельскохозяйственных культур в питательных элементах, особенно в микроэлементах, для которых в почве должно быть уравновешенное содержание, поэтому все чаще используют прием биообогащения. Это процесс, с помощью которого можно повысить питательную ценность растений, улучшить качество конечной продукции, минимизировать дефицит витаминов и элементов питания сельскохозяйственных культур без ущерба для потребителей [295, 316]. Данный процесс использовался в диссертационных исследованиях, с учетом принципов «ИСПРОД».

Растения поглощают из окружающей среды элементы (марганец, цинк, медь, молибден, кобальт, йод, селен, фтор, железо и др.) необходимые для нормального роста, развития различных органов растения, синтеза ферментов и витаминов [161]. Осадки, талые воды, мелиоранты, минеральные удобрения, физико-химические свойства почвы и др. являются источниками поступления микроэлементов из почвы в растения [63].

Имеется ряд работ зарубежных [296, 297, 312] и российских [166, 188] авторов, посвященных теме микроэлементного обогащения сельскохозяйственных культур.

Большое количество работ российских и зарубежных авторов посвящено изучению содержания и ионного равновесия микроэлементов в почвах и физиолого-биохимических основ питания лекарственных растений. [10, 11, 139, 184, 213, 269, 300, 322].

Сопряженное содержание цинка, меди, марганца и других элементов в почвах и растениях южной части Западной Сибири изучало множество ученых: Аникина А.П. [16], Бахнов В.К. [27], Ермохин Ю.И [106], Ильин В.Б. [132], Орлова Э.Д [194], Трейман А.А. [258] и др.

Метод растительной диагностики позволяет установить химический состав растений, который влияет на продуктивность, качество растений, в связи с этим крайне важно исследовать влияние микроэлементов почвы, удобрений на химический состав культур [43, 102, 105, 106]. Интерес представляет оценка влияния цинка и меди на их накопление в вегетативных органах растений.

Химический состав растений определяют видовые и генотипические особенности сельскохозяйственных культур, физико-химические свойства почвы, концентрация и соотношение элементов в почвенном растворе, взаимодействие ионов при поступлении в растения, удобрений и химических мелиорантов, техногенное загрязнение окружающей среды [10, 13, 40, 53, 56, 88, 106, 133, 184, 199, 234, 262, 269, 276].

Использование растительной диагностики и его результатов позволяет оценивать, регулировать и корректировать питание растений в процессе вегетации [103.].

Оптимальное развитие растений возможно только при благоприятном уровне активности ионов микроэлементов в клетках и соотношении с другими элементами питания. Поэтому большую роль в процессе поступления элементов в растения играют синергические и антагонистические взаимоотношения [95, 106, 139, 215].

Таким образом, отмечается антагонизм меди и цинка, обусловленный одними и теми же механизмами поглощения их корневой системой, что приводит к конкурентным отношениям и взаимному торможению при попадании в корни [139].

Использование различных доз и комбинаций удобрений из цинка и меди для лекарственных растений в наших экспериментах позволило нам наблюдать их влияние на процесс поступления Zn и Cu в растения эхинацеи пурпурной.

5.1 Взаимосвязь в питании растений при применении расчетных доз Zn и Cu под лекарственную культуру эхинацею пурпурную

Для использования данных химического анализа растений в целях диагностики минерального питания, необходимо знать, изменение содержания питательных веществ в растениях в зависимости от года жизни и фазы развития. Обладая этой информацией, можно совершенно точно определить, какое количество соответствует избыточной или недостаточной обеспеченности элементами питания. Растения в процессе роста и развития предъявляют определённые требования к обеспеченности элементами питания. Для каждого вида растений характерны определённые соотношения элементов питания в разные периоды их роста и развития [106]

Поступлению цинка в растения способствуют отдельные макро- и микроэлементы, данный вопрос изучен многими исследователями [22, 200, 310 и др.].

Применение макроудобрений в комплексе с медью, а также некорневая подкормка Zn в сочетании с NPK повышает содержание Cu и Zn в растениях и готовой продукции [318].

С увеличением содержания химического элемента в почве (питательном субстрате) увеличивается поступление этого элемента в растение [41, 206, 247].

Установлено, что взаимодействия в парах между Zn – Mg и Zn – Ca различны и зависят от вида растений и почвенно-климатических условий [246, 278, 321].

Имеются единичные данные об антагонистической способности цинка к меди, железу и фосфору [51, 77, 313], но причины этих взаимодействий остаются слабо изученными, в меньшей степени изучены эти процессы в конкретных почвенно-климатических зональных условиях, с учетом физиологических основ минерального питания культурных растений.

Применение химического анализа растений в диагностических целях основано главным образом на том факте, что существует прямая и положительная взаимосвязь между содержанием любого элемента почвы (в корневой зоне) и его количеством в тканях растений.

Под руководством Ю.И. Ермохина, его учениками проведены исследования по возделыванию ряда лекарственных трав (календула лекарственная, полынь гладкая, тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, пустырник пятилопастной) с применением системы «ИСПРОД» на черноземных почвах территории Западной Сибири [169, 249, 251, 253, 285].

Установлена положительная связь между определенными дозами микроудобрений (цинка и меди) и содержанием этих элементов в растениях. Получены коэффициенты интенсивности действия внесенного цинка и меди в почву и идентификация ответной реакции растений на изменение химического состава растений пижмы обыкновенной коэффициенты интенсивности действия, цинка « b_{Zn} » составили в 2013 г. – 0,19; 2014 г. – 0,09; 2015 г. – 0,07 мг/кг [253]. Для тысячелистника обыкновенного « b_{Cu} » равен 0,04 и 0,42 мг/кг в первый и второй годы последствия [254].

Согласно данным М.И. Стальной достаточная (нормальная) концентрация микроэлементов в тканях сухого вещества листьев растений для многих видов составляет: для Zn – 27-150, для Cu – 5-30 мг/кг. Среднее содержание микронутриентов в культурных растениях изменяется цинка – 10-40, меди – 7-20 мг/кг сухого вещества [245].

В работе С.Ф. Спициной [244] изучены взаимодействия между Zn-Cu при поступлении их в растения. Выявлен факт недостаточности элементов для растений в связи с их низким уровнем содержания в диагностическом слое почвы. Установлено проявление синергизма между содержанием в растениях элементов: $Cu < 8$ мг/кг; $Zn < 40$ мг/кг, что подтверждается данными исследованиями.

Применение в полевых опытах с эхинацеей расчетных доз цинка и меди исходя из ПДК элементов в почве, позволило установить процесс поступления микроэлементов в растения эхинацеи за вегетационный период за три года.

Используя данные таблицы 30, следует отметить, что за годы проведенных исследований, однократно внесенные цинковые и медные удобрения в почву увеличивали содержание цинка в растениях эхинацеи пурпурной (Приложение Т).

Таблица 30 – Содержание цинка в растениях эхинацеи пурпурной, мг/кг в фазу цветения в зависимости от доз применения микроэлементов (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта		2016-2018 гг.
Контроль (без удобрений)		4,4 ± 0,92
Фон (N ₁₂₅)		4,6 ± 0,92
Содержание цинка в растениях при внесении цинка		
Фон (N ₁₂₅)	10,7 кг д.в./га	11,1 ± 0,08
	21,4 кг д.в./га	12,7 ± 0,12
	32,4 кг д.в./га	13,8 ± 0,26
	42,8 кг д.в./га	15,8 ± 0,52
Содержание цинка в растениях при внесении меди		
Фон (N ₁₂₅)	2,3 кг д.в./га	9,9 ± 0,24
	4,7 кг д.в./га	13,3 ± 0,20
	7,0 кг д.в./га	14,6 ± 0,37
	9,4 кг д.в./га	17,1 ± 0,69
<i>Примечание : МДУ Zn – 50 мг/кг.[197], n=30.</i>		

Согласно полученным экспериментальным данным (Приложение Т) содержание цинка в растениях эхинацеи пурпурной за годы исследований (2016-2018 гг.) увеличивалось по всем вариантам опыта от внесения минимальной дозы – 0,25 ПДК Zn (10,7 кг/га) до максимальной – ПДК Zn (42,8 кг/га), а так же изменения содержания цинка в растениях в пределах оптимальной дозы Zn_{21,4} отмечается по годам (Приложение Т). Данные некоторых исследователей, в частности Е.Ю. Бабаевой свидетельствуют о том, что в сырье эхинацеи пурпурной в фазу цветения содержание цинка составляло 36,8 мг/кг [261]. Эта информация согласуется с данными, полученными в наших исследованиях.

При внесении Cu в почву в дозах от 2,3 до 9,4 кг Cu/га содержание цинка в лекарственном сырье за годы исследований изменялось в год действия и два года последствия медного удобрения на 216,3-383,7% выше фона (Приложение Т).

За годы исследований (2016-2018 гг.) установлено увеличение содержания Zn в растениях эхинацеи пурпурной к фазе цветения не только от применения Zn, но и Cu в почву под растения, что указывает на синергические отношения между Cu и Zn (Рисунок 18 а, б). Применение оптимальных доз в почву под растения эхинацеи цинка (21,4 кг/га) и меди (9,4 кг/га) позволило установить оптимальное среднее содержание Zn в фазу цветения – 12,7 мг/кг (при урожае биомассы 9,9 т/га) и меди – 17,1 мг/кг (при урожае биомассы 13,2 т/га). Согласно имеющимся опубликованным данным А.П. Самохина, тесная корреляционная взаимосвязь содержания цинка и меди в растениях и концентрацией в почве их подвижных форм, что говорит о безбарьерном поглощении Zn и Cu растениями [222].

Таким образом, за годы исследований по оптимизации цинкового и медного минерального питания (2016-2018 гг.) наблюдается процесс синергизма между ионами меди и цинка «Cu → Zn↑» (уравнения 135-138) при поступлении цинка в растения (Таблица 31, Рисунок 18 б)

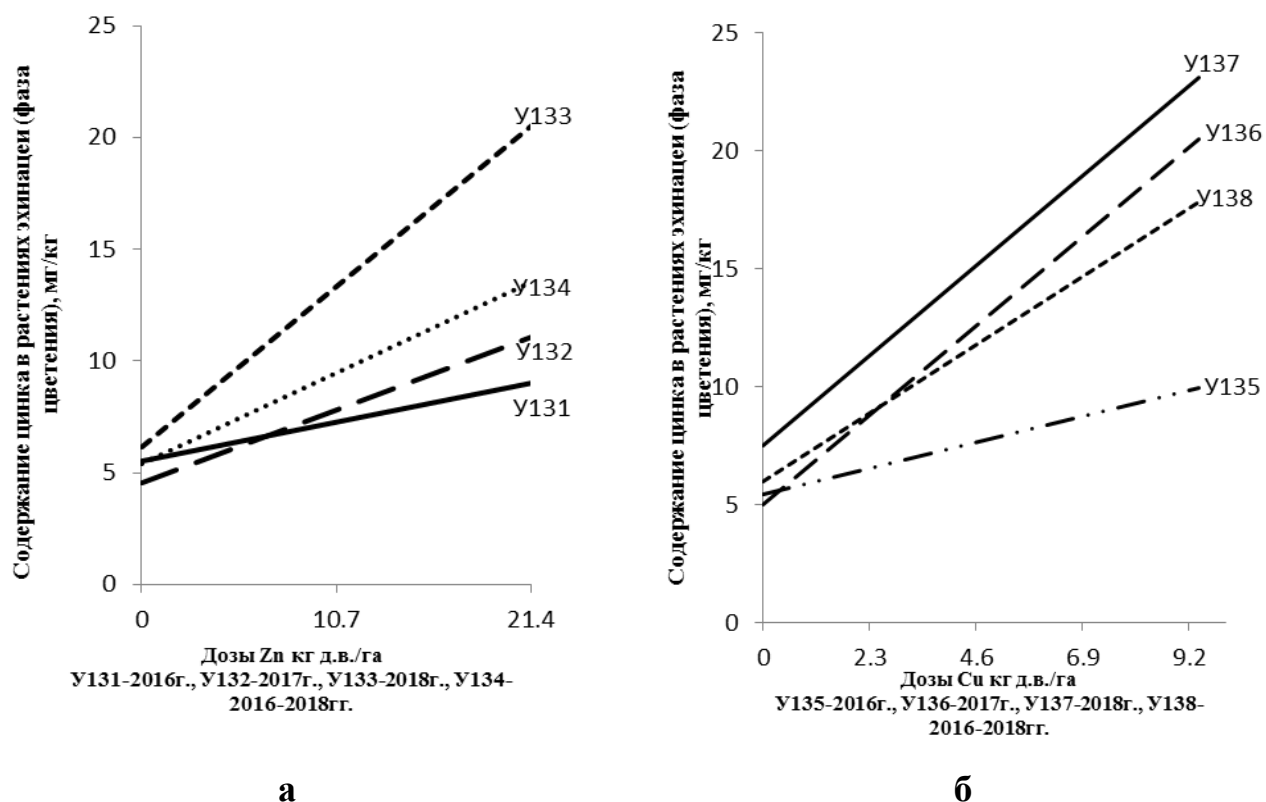


Рисунок 18—Рисунок прямой связи в системе «удобрение ↔ растение»— идентификация ответной реакции растений в изменении химического состава

Использование статистического метода анализа системы «микроудобрение (Zn, Cu кг/га) → растение (Y, мг/кг)» позволяет получить математические модели связи в виде уравнений регрессий, что свидетельствует об изменении содержания цинка в растениях эхинацеи пурпурной (уравнения 131-138, Таблица 31).

Таблица 31 – Математические модели связи содержания цинка в растениях в фазу цветения (Y, мг/кг) от доз внесения Zn (X₁) и Cu (X₂) в почву (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Применяемые удобрения	Год жизни растений	Уравнение регрессии	<i>b</i>	<i>r</i>
(X ₁) Zn	Первый год	$Y_{131} = 0,16 \text{ Zn} + 5,5;$ (131)	0,16	0,95
	Второй год	$Y_{132} = 0,30 \text{ Zn} + 4,55;$ (132)	0,30	0,98
	Третий год	$Y_{133} = 0,67 \text{ Zn} + 6,13;$ (133)	0,67	0,91
	В среднем	$Y_{134} = 0,38 \text{ Zn} + 4,5.$ (134)	0,38	0,94
(X ₂) Cu	Первый год	$Y_{135} = 0,48 \text{ Cu} + 5,45;$ (135)	0,48	0,99
	Второй год	$Y_{136} = 1,65 \text{ Cu} + 4,99;$ (136)	1,65	0,98
	Третий год	$Y_{137} = 1,66 \text{ Cu} + 7,53;$ (137)	1,66	0,92
	В среднем	$Y_{138} = 1,26 \text{ Cu} + 5,99.$ (138)	1,26	0,97

**Примечание – Первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, средние данные – 2016-2018 гг.*

Полученные уравнения (131-134) показывают, что разово внесенный кг ацетата цинка в лугово-черноземную почву увеличивает содержание этого элемента в растениях эхинацеи («*b*») в зависимости от года жизни растения: в 1-й год – на 0,16 мг/кг (уравнение 131), во 2-й на 0,30 мг/кг (уравнение 132), 3-й год на 0,67 мг/кг (уравнение 133). В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) – трех лет жизни растений эхинацеи, коэффициент «*b_{Zn}*» был равен 0,38 мгZn /кг (уравнение 134), что указывает на оптимальный уровень содержания Zn – 12,6 мг/кг растений (ошибка прогноза 0,8%) при биосинтезе абсолютно сухого вещества 9,9 т/га (Таблица 31).

Синергические взаимосвязи Cu → Zn (Таблица 31) при поступлении в растения цинка в период трех лет жизни, характеризуются коэффициентами интенсивности действия («*b_{Zn}*»): первый год «*b_{Zn}*» - 0,48 (уравнение 135), второй год - «*b_{Zn}*» - 1,65 (уравнение 136), третий год - «*b_{Zn}*» - 1,66 (уравнение 137).

На основе многолетних исследований влияния меди на поступление цинка в растения эхинацеи пурпурной было установлено, что каждый кг медных удобрений способствует повышению содержания цинка (« b_{Zn} ») на 1,26 мг/кг (уравнение 138), что указывает на синергические отношения между внесенными медными удобрениями и содержанием цинка в растениях. Полученные коэффициенты интенсивности действия позволяют установить оптимальный уровень медного питания – 17,1 мг/кг (ошибка прогноза 5,8%), при биосинтезе формирования урожая 13,2 т/га.

Согласно, проведенному математическому моделированию исследуемой системы «удобрения (микроэлементы) – растение» (уравнение 131-138) оптимальный уровень цинкового питания лекарственного растения эхинацеи пурпурной сопряжено по годам жизни изучаемой лекарственной культуры.

Модели оптимального цинкового питания эхинацеи пурпурной приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Модели оптимального цинкового питания эхинацеи пурпурной в зависимости от года жизни на лугово-черноземной почве к периоду цветения

Год жизни растений	Прогнозируемый оптимальный уровень Zn, мг/кг	b_{Zn} мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
<i>При внесении цинка</i>			
Первый год	$Zn_{opt} = 0,16 \cdot 21,4 + 5,52 = 8,9$ (131)	0,16	r = 0,95
Второй год	$Zn_{opt} = 0,30 \cdot 21,4 + 4,55 = 10,9$ (132)	0,30	r = 0,98
Третий год	$Zn_{opt} = 0,67 \cdot 21,4 + 6,13 = 20,5$ (133)	0,67	r = 0,91
В среднем	$Zn_{opt} = 0,38 \cdot 21,4 + 4,5 = 12,6$ (134)	0,38	r = 0,94
<i>При внесении меди</i>			
Первый год	$Zn_{opt} = 0,48 \cdot 9,4 + 5,45 = 9,9$ (135)	0,48	r = 0,99
Второй год	$Zn_{opt} = 1,65 \cdot 9,4 + 4,99 = 20,5$ (136)	1,65	r = 0,98
Третий год	$Zn_{opt} = 1,66 \cdot 9,4 + 7,53 = 23,1$ (137)	1,66	r = 0,92
В среднем	$Zn_{opt} = 1,26 \cdot 9,4 + 5,99 = 17,8$ (138)	1,26	r = 0,97
<i>Примечание – Первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, средние данные – 2016-2018 гг.</i>			

Согласно данным таблицы 32 и уравнениям (131-134) растения эхинацеи пурпурной испытывают потребность в цинке в период роста и развития культуры.

Так, если в первый год жизни потребность растений эхинацеи пурпурной принять за 100% (8,9 мг Zn/кг растений), то к периоду цветения второго и третьего года жизни данного растения потребность в цинке возрастает на 22,4% и 130% (уравнения 132-133).

Однако, данные таблицы 32 показывают, что при оптимизации питания медью, внесение Cu удобрений от низких (2,3 кг/га) до оптимальных доз (9,4 кг/га), благодаря синергическому отношению меди к поступлению цинка в растения в фазу цветения, наблюдается более высокий оптимальный уровень цинкового питания эхинацеи пурпурной в зависимости от года жизни растения. В среднем за три года жизни (2016-2018 гг.) оптимальный уровень Zn в растении был выше при медном питании на 34,6% – составил 17,1 (ошибка прогноза 5,8%), по сравнению с применением цинковых удобрений – 12,7 мг/кг растений.

С помощью математического моделирования оптимального питания цинка при внесении расчетных доз цинка и меди было установлено, что в прохождении каждого года жизни роста и развития эхинацеи пурпурной, растение требует оптимальное (фактическое, мг/кг) питание цинка соответственно при внесении Zn и Cu удобрений в первый год (уравнение 131, 135) – 8,6 и 9,8 мг/кг (ошибка прогноза 3,5 и 1,1%), во второй год (уравнение 132, 136) – 10,7 и 20,6 мг/кг (ошибка прогноза 1,9 и 0,5%), в третий год (уравнение 133, 137) – 18,7 и 20,8 (ошибка прогноза 9,6 и 11%).

Таким образом, в среднем за три года жизни растений оптимальный уровень питания по цинку составляет: при внесении $Zn_{21,4}$ – 12,7 при внесении $Cu_{9,4}$ – 17,1 мг/кг, синтезируя биосинтез урожая 9,9 и 13,2 т/га соответственно.

Изучение влияния внесенных микроудобрений в лугово-черноземную почву под эхинацею пурпурную показало, что изучаемая культура способна накапливать медь (средние данные, Таблица 33).

Содержание меди в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной по годам жизни культуры представлено в приложении У.

Таблица 33 – Содержание меди, мг/кг в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз применения микроэлементов, (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Вариант опыта		2016-2018 гг.
Контроль		2,07±0,12
Фон (N ₁₂₅)		2,08±0,12
Содержание меди в растениях при внесении меди		
Фон (N ₁₂₅)	2,3 кг д.в./га	2,55±0,06
	4,7 кг д.в./га	2,81±0,02
	7,0 кг д.в./га	3,48±0,06
	9,4 кг д.в./га	4,27±0,16
Содержание меди в растениях при внесении цинка		
Фон (N ₁₂₅)	10,7 кг д.в./га	2,09±0,12
	21,4 кг д.в./га	2,66±0,04
	32,4 кг д.в./га	3,51±0,07
	42,8 кг д.в./га	4,41±0,18
<i>Примечание: МДУ Cu – 30 мг/кг [197], n=30.</i>		

Полевые опыты с удобрением эхинацеи пурпурной на лугово-черноземной почве и лабораторный анализ растений показывают, что разовое внесение меди, на фоне оптимального питания, положительно сказывается на содержании Cu в растениях в фазу цветения за период действия и два года последствия медных удобрений (Таблица 33, Приложение У). Е.Ю. Бабаевой в исследованиях установлено, что сырье эхинацеи в завершающую фазу развития (цветение) содержит 4,4 мг/кг меди [261]. Эти данные согласуются с результатами, полученными в наших исследованиях.

Таким образом, применение оптимальной дозы Cu_{9,4} в среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) сказалось на аккумуляции меди лекарственными растениями эхинацеи в фазу цветения. По годам исследований идентификация ответной реакции растений на применение меди хорошо выражается полученными коэффициентами интенсивности действия «*b_{Cu}*» и уравнениями 139-142, (Таблица 34).

При внесении цинка в оптимальной дозе $Zn_{21,4}$ концентрация меди в растениях увеличивается (Таблица 34, уравнения 143-146).

Таблица 34 – Математические модели связи содержания меди в растениях в фазу цветения (Y , мг/кг) от доз внесения Cu (X_1) и Zn (X_2) в почву

Применяемые удобрения	Год жизни растений	Уравнение регрессии	b	r
$(X_1) Cu$	Первый год	$Y_{мг/кг Cu} = -0,04 Cu + 2,64;$ (139)	-0,04	0,59
	Второй год	$Y_{мг/кг Cu} = 0,42 Cu + 1,89;$ (140)	0,42	0,99
	Третий год	$Y_{мг/кг Cu} = 0,30 Cu + 1,39;$ (141)	0,30	0,89
	В среднем	$Y_{мг/кг Cu} = 0,23 Cu + 1,97.$ (142)	0,23	0,98
$(X_2) Zn$	Первый год	$Y_{мг/кг Cu} = 0,03 Zn + 2,4;$ (143)	0,03	0,99
	Второй год	$Y_{мг/кг Cu} = 0,04 Zn + 1,72;$ (144)	0,04	0,82
	Третий год	$Y_{мг/кг Cu} = 0,02 Zn + 1,82;$ (145)	0,02	0,72
	В среднем	$Y_{мг/кг Cu} = 0,03 Zn + 1,98.$ (146)	0,03	0,89

Примечание – Первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, средние данные – 2016-2018 гг.

Экспериментальные данные полевых опытов с эхинацеей показали взаимодействие между внесенным цинком в почву и увеличением содержания меди в фазу цветения (Приложение У).

В среднем за годы действия и последействия (2016-2018 гг.) меди и цинка, внесенных в почву под растения в оптимальных дозах $Cu_{9,4}$ и $Zn_{21,4}$ кг/га – коэффициент интенсивности действия 1 однократно внесенного килограмма микроудобрений на концентрацию меди в растениях в среднем характеризуется величиной « b_{Cu} » = 0,23 и 0,03 мг Cu /кг растения (уравнения 142 и 146, Таблица 34).

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) отмечается небольшая положительная динамика аккумуляции меди лекарственным растением при внесении Cu – 9,4 кг/га, чем от внесенных оптимальных доз цинка ($Zn_{21,4}$).

На рисунке 19 (а, б) показаны математические модели прямой и обратной связи системы: «микроудобрения (Cu , Zn кг/га) ↔ растение (Y , мг/кг)» – на изменения содержания меди в растениях эхинацеи пурпурной (Таблица 34, уравнения 139-146).

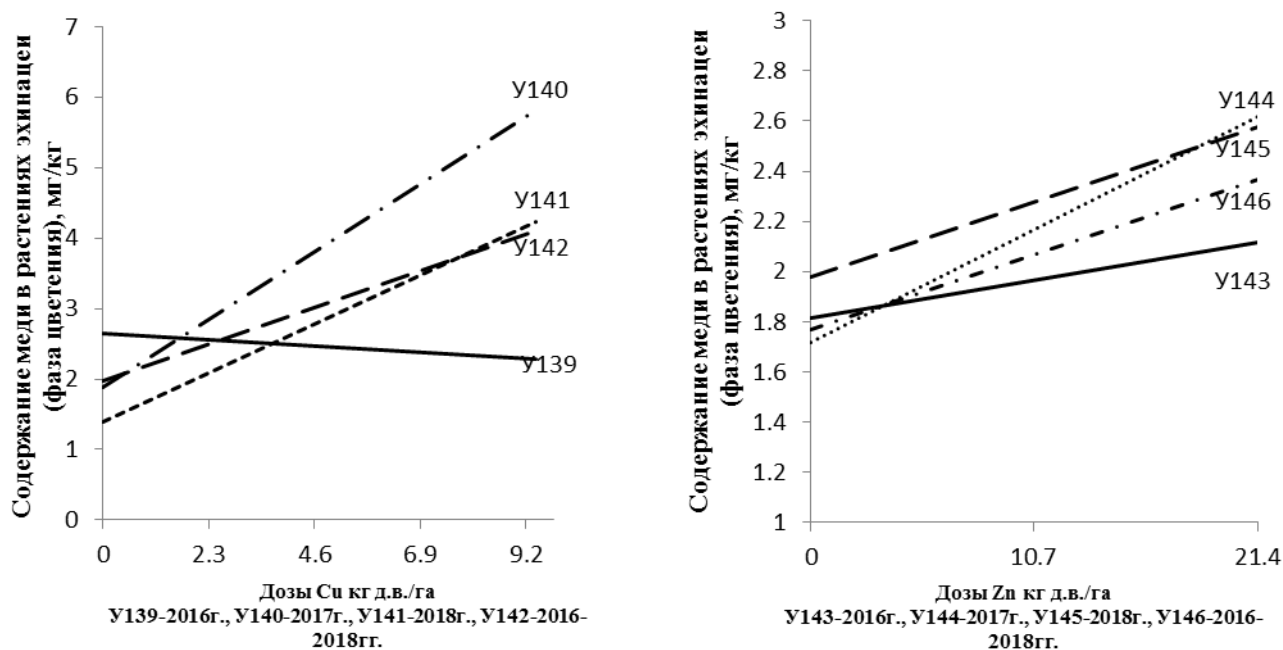


Рисунок 19 – Рисунок прямой связи в системе «удобрение ↔ растение» – идентификация ответной реакции растений в изменении химического состава

Используя методы математического моделирования, установлен прогнозируемый уровень оптимального медного питания эхинацеи пурпурной (Таблица 35).

Таблица 35 – Модели оптимального медного питания в растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от года жизни на лугово-черноземной почве к периоду цветения

Год жизни растений	Прогнозируемый оптимальный уровень Cu, мг/кг	b_{Cu} мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
<i>При внесении меди</i>			
Первый год	$Cu_{опт} = -0,04 \cdot 9,4 + 2,64 = 2,27$ (139)	-0,039	r = 0,59
Второй год	$Cu_{опт} = 0,42 \cdot 9,4 + 1,89 = 5,84$ (140)	0,42	r = 0,99
Третий год	$Cu_{опт} = 0,30 \cdot 9,4 + 1,39 = 4,21$ (141)	0,30	r = 0,89
В среднем	$Cu_{опт} = 0,23 \cdot 9,4 + 1,97 = 4,13$ (142)	0,230	r = 0,98
<i>При внесении цинка</i>			
Первый год	$Cu_{опт} = 0,03 \cdot 21,4 + 2,4 = 3,0$ (143)	0,03	r = 0,99
Второй год	$Cu_{опт} = 0,04 \cdot 21,4 + 1,72 = 2,6$ (144)	0,04	r = 0,82
Третий год	$Cu_{опт} = 0,02 \cdot 21,4 + 1,82 = 2,2$ (145)	0,02	r = 0,72
В среднем	$Cu_{опт} = 0,03 \cdot 21,4 + 1,99 = 2,63$ (146)	0,03	r = 0,89

Примечание – Первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, средние данные – 2016-2018 гг.

Полученные уравнения (142 и 146) указывают, что каждый внесенный кг Cu и Zn в оптимальной дозе в почву под растение в 2016 году в процессе трех лет действия и последействия удобрений, создают оптимальный уровень содержания меди в растениях эхинацеи в фазу цветения – 4,3 мг/кг растения (Таблица 35, уравнение 142, « b_{Cu} » – 0,23 мг/кг) и, при внесении Zn – 21,4 кг/га – оптимальный уровень в растениях – 2,66 мг/кг – « b_{Zn} » – 0,03 мг/кг (уравнение 146, Таблица 35), создавая урожайность биомассы 13,2 и 9,9 т/га соответственно.

С учетом синергического действия внесённого цинка под эхинацею пурпурную, на содержание меди в растениях, данные связи показаны в таблице 35 и в уравнениях 143-146.

Коэффициенты интенсивности действия внесенного цинка в систему «удобрение (Zn, кг/га) → растение (У, Cu мг/кг)» - ответная реакция растений на содержание меди при внесении оптимальной дозы Zn (21,4 кг/га), в среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) « $b_{Zn/Cu}$ » – 0,03 мг/кг (уравнение 146).

В связи с вышеизложенным можно заключить, что при внесении оптимальных доз микроэлементов в вариантах с цинком 0,5 ПДК Zn (21,4 кг д.в./га) и в вариантах с медью ПДК Cu (9,4 кг д.в./га) отмечается положительное взаимодействие между ионами меди и цинка (синергизм), влияющее на биосинтез органического вещества урожая культуры.

Так же применение расчетных доз микроудобрений приводило к повышению содержания меди в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной (оптимум – 4,3 мг/кг) и создания сбалансированного (уравновешенного) питания микроэлементами.

В таблице 36 представлены экспериментальные и прогностические данные оптимальных уровней содержания и соотношения меди и цинка в растениях в фазу цветения по трем годам жизни лекарственной культуры и средние данные за 2016-2018 гг.

Таблица 36 – Оптимальные уровни содержания и соотношения меди и цинка в растениях (фаза цветения)

Годы жизни	Фактическое содержание Zn	Прогноз	Фактическое содержание Cu	Прогноз	Оптимальное соотношение, мг/кг
Влияние Cu удобрений					
<i>Первый год</i>	9,8	9,9	2,24	2,27	Zn \approx 4.4 Cu
<i>Второй год</i>	20,6	20,5	5,8	5,84	Zn \approx 3.6 Cu
<i>Третий год</i>	20,8	23,1	4,8	4,21	Zn \approx 4.3 Cu
<i>В среднем</i>	17,1	17,8	4,3	4,13	Zn \approx 4.0 Cu
Влияние Zn удобрений					
<i>Первый год</i>	8,6	8,9	3,0	3,0	Zn \approx 2.9 Cu
<i>Второй год</i>	10,7	10,9	2,8	2,6	Zn \approx 3.8 Cu
<i>Третий год</i>	18,7	20,5	2,2	2,2	Zn \approx 8.5 Cu
<i>В среднем</i>	12,7	12,6	2,66	2,63	Zn \approx 4.8 Cu
<i>Примечание – первый год – 2016 год, второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг</i>					

Используя математические модели связи (уравнения 139-146) системы «удобрение – растение» содержание и соотношение Zn и Cu в растениях эхинацеи пурпурной, при внесении расчетных доз микроудобрений (таблица 36) представлены расчетные данные прогноза оптимизации минерального питания лекарственных растений с использованием результатов их химического анализа. Данный анализ показал, что при применении оптимальных доз цинка и меди расчетные данные по уравнениям прогнозирования, близки с фактическими уровнями содержания элементов питания.

Математическое моделирование минерального питания эхинацеи пурпурной позволяет не только прогнозировать уровень питания, но и диагностировать, а в дальнейшем оптимизировать цинковое и медное питание. По установленным параметрам « b_{Zn} » и « b_{Cu} » мы можем создавать гибкую систему применения удобрений с учетом конкретных величин урожаев при культивировании в зональных условиях Западной Сибири на лугово-черноземной почве.

В таблице 37 представлены уровни оптимального содержания и соотношения цинка и меди в почве и растениях эхинацеи пурпурной.

Таблица 37 – Оптимальные уровни содержания и соотношения цинка и меди в почве и растениях

Оптимальная доза, кг/га	Zn	Cu	Оптимальное соотношение, мг/кг	Урожайность, т/га/ Прибавка, %
9,4 кг Cu/га (1 ПДК)	Оптимальное содержание в почве, мг/кг		Zn ≈ 16.6 Cu	Средняя – 13,2 / 61%; Общая – 39,6 / 60,3%; Сумма: наземная масса + корни – 52,7 / 59,2%
	6,8	0,41		
	Оптимальное содержание в растениях, мг/кг		Zn ≈ 4.0 Cu	
	17,1	4,3		
21,4 кг Zn/га (0,5 ПДК)	Оптимальное содержание в почве, мг/кг		Zn ≈ 21.1 Cu	Средняя – 9,9 / 20%; Общая – 29,8 / 20,6%; Сумма: наземная масса + корни – 40,3 / 21,8%
	7,4	0,35		
	Оптимальное содержание в растениях, мг/кг		Zn ≈ 4.8 Cu	
	12,7	2,66		

Полевые опыты показали, что применение доз медных удобрений в почву под эхинацею пурпурную от 2,3 (0,25 ПДК Cu) до 9,4 кг/га (1 ПДК Cu) наибольшая урожайность наземной массы и общего урожая были получены при оптимальной дозе 1 ПДК Cu (Cu_{9,4} кг/га) и оптимальном содержании в лугово-черноземной почве подвижной Cu – 0,41 мг и подвижного Zn – 6,8 мг на килограмм, при сопряженном содержании 4,3 мг/ Cu и 17,1 мг Zn/кг в растениях лекарственной культуры. Оптимальное сбалансированное соотношение цинка и меди составило в почве Zn/Cu = 16.6 и в растениях: Zn/Cu = 4.0 (Таблица 37). При цинковом питании растений при внесении оптимальной дозы Zn_{21,4} химический состав почвы был не сбалансирован (7,4 мгZn / 0,35 мг Cu = 21.1) и показывал коэффициент потребности в меди (Кп) больше 1, что указывает на низкий уровень содержания меди в растениях и более высоком цинка, что сказалось на формировании биосинтеза сухого вещества урожая.

Исследованиями 2016-2018 гг. установлено, что при цинковом питании данной культуры (Zn_{опт} – 21,4 кг/га) было нарушено оптимальное соотношение цинка и меди, что сказалось на формировании урожая эхинацеи. Листовой анализ

культуры показал, что растения данного варианта в фазу цветения содержали Zn – 12,7 мг/кг и Cu – 2,66 мг/кг, что указывало на высокое содержание цинка ($K_p > 1,3$) и низкий уровень меди ($K_p > 4,8$), при среднем урожае 9,9 т/га.

При диагностировании медного питания у растений эхинацеи пурпурной был выявлен недостаток питания медью, что отрицательно сказалось на низкий уровень содержания цинка в растениях данной культуры. При наивысшем среднем биосинтезе урожая органического вещества (13,2 т/га) оптимальный уровень растений в фазу цветения составлял: Zn – 17,1 мг/кг и Cu – 4,3 мг/кг и уравновешенном питании : 4.0.

Зная оптимальные (нормативные) количественные характеристики микроэлементного питания, представляется возможность, не только диагностировать уровень питания на основе физиологических характеристик растений, но и рассчитывать дозы удобрений по формуле (147):

$$D = (C_{\text{опт.}, \text{мг/кг}} - C_{\text{ф.}, \text{мг/кг}}) / b; \quad (147)$$

где $C_{\text{опт.}, \text{мг/кг}}$ – $C_{\text{ф.}, \text{мг/кг}}$ – оптимальный и фактический уровень микроэлементов (цинка и меди) в лекарственном растении эхинацеи пурпурной в фазу цветения, мг/кг;

« b » – коэффициент интенсивности действия 1 кг однократно внесенных микроэлементов (Cu и Zn) на их содержание в растениях, мг/кг.

При сбалансированном медно-цинковом питании растений была получена наивысшая урожайность биомассы эхинацеи с содержанием в растениях цинка (17,1) и меди (4,3) ($C_{\text{опт.}, \text{мг/кг}}$). Фактическая концентрация применяемых элементов ($C_{\text{факт.}, \text{мг/кг}}$) в лекарственных растениях (контроль) было Zn – 4,6 мг/кг и Cu – 2,08 мг/кг биомассы сухого вещества. Используя математические данные химического состава растений расчет доз медных удобрений (кг/га) под лекарственную культуру можно производить, используя формулы 148-149:

$$D_{\text{Cu}} = \frac{17,1 - 4,6}{1,26} = 9,9 \text{ кг/га}, \quad (148) \quad D_{\text{Cu}} = \frac{4,3 - 2,08}{0,23} = 9,6 \text{ кг/га}, \quad (149)$$

***Интенсивность накопления цинка и меди растениями эхинацеи
пурпурной***

Положительное влияние внесенных микроудобрений на лекарственные растения проявляется не только в формировании урожайности, но и в накоплении микроэлементов в тканях и органах эхинацеи, так как лекарственные травы, в том числе эхинацея являются источниками микроэлементов для человека и животных.

Содержание цинка и меди в растениях эхинацеи зависит от комплекса факторов, в том числе от особенности биологии исследуемой культуры, но прежде всего от содержания в почве подвижных Zn и Cu. Кроме содержания цинка и меди в почве, важная роль принадлежит содержанию в почве других элементов и их соотношениям, что выражается в процессах внутреннего и внешнего антагонизма-синергизма. Следовательно, результаты почвенных анализов интерпретировать зачастую очень сложно, так как нужно учитывать взаимодействия элементов в почве, их антагонизм и синергизм, а так же биологические потребности возделываемой культуры. Рост и развитие растений происходит при разных уровнях обеспеченности почвы элементами питания, которые могут быть достаточными для одних культур и недостаточными для других или оказывать токсическое действие. Таким образом, необходимо разрабатывать предельные уровни содержания цинка и меди в почве с учетом данных рекомендаций, основанных на результатах почвенного и растительного анализов.

Оценить способность растений эхинацеи пурпурной накапливать (концентрировать) микроэлементы, а именно Zn, Cu, возможно с помощью расчета коэффициента концентраций ($K_{кр}$) – количественного значения накопления элементов, накопившихся в растениях за период вегетации (Таблица 38, Рисунок 20). Расчет коэффициента концентрации (K_k) можно производить различными способами, учитывая содержание микроэлементов на фоновом варианте (N_{125}) или максимально допустимый уровень ($МДУ_{30/50}$) элементов. Таким образом, расчет K_k был произведён двумя способами, с целью установить

величину K_k относительно двух параметров оценки (фона и МДУ). Нами были рассчитаны также коэффициенты концентраций микроэлементов в растениях эхинацеи по годам исследований (Приложение Ф).

Расчет коэффициентов концентраций в растениях за период вегетации, рассчитывали по формулам (150-151).

$$K_{kp} = C_i / C_{\phi}, \quad (150) \quad K_{kp} = C_i / C_{мду}, \quad (151)$$

где C_i – содержание микроэлементов в растениях в вариантах опыта (мг/кг);

C_{ϕ} – концентрация цинка и меди в культуре фонового варианта опыта (мг/кг);

$C_{мду}$ – максимально допустимый уровень элементов в растениях (цинка – 50 мг/кг, меди – 30 мг/кг).

Таблица 38 – Коэффициенты концентрации микроэлементов (Zn и Cu) растениями эхинацеи пурпурной (K_{kp}) за 2016-2018 гг.

Варианты опыта		K_{kp} Zn	K_{kp} Cu
Фон + цинк	10,7 кг Zn/га	2,41 / 0,22	1,00 / 0,07
	21,4 кг Zn/га	2,76 / 0,25	1,28 / 0,09
	32,4 кг Zn/га	3,00 / 0,28	1,69 / 0,12
	42,8 кг Zn/га	3,43 / 0,32	2,12 / 0,15
Фон + медь	2,3 кг Cu/га	2,15 / 0,20	1,23 / 0,09
	4,7 кг Cu/га	2,89 / 0,27	1,35 / 0,09
	7,0 кг Cu/га	3,17 / 0,29	1,67 / 0,12
	9,4 кг Cu/га	3,72 / 0,34	2,05 / 0,14

Примечание: в числителе - K_{kp} , относительно фонового варианта, в знаменателе – относительно МДУ.

Данные таблицы 38 показывают, что коэффициенты концентрации цинка и меди изменяются и увеличиваются по вариантам опыта. Стоит отметить, что K_k за 2016-2018 гг., рассчитанные относительно фонового варианта (Рисунок 20, а), значительно превышают значения коэффициентов концентрации рассчитанных относительно МДУ (Рисунок 20, б).

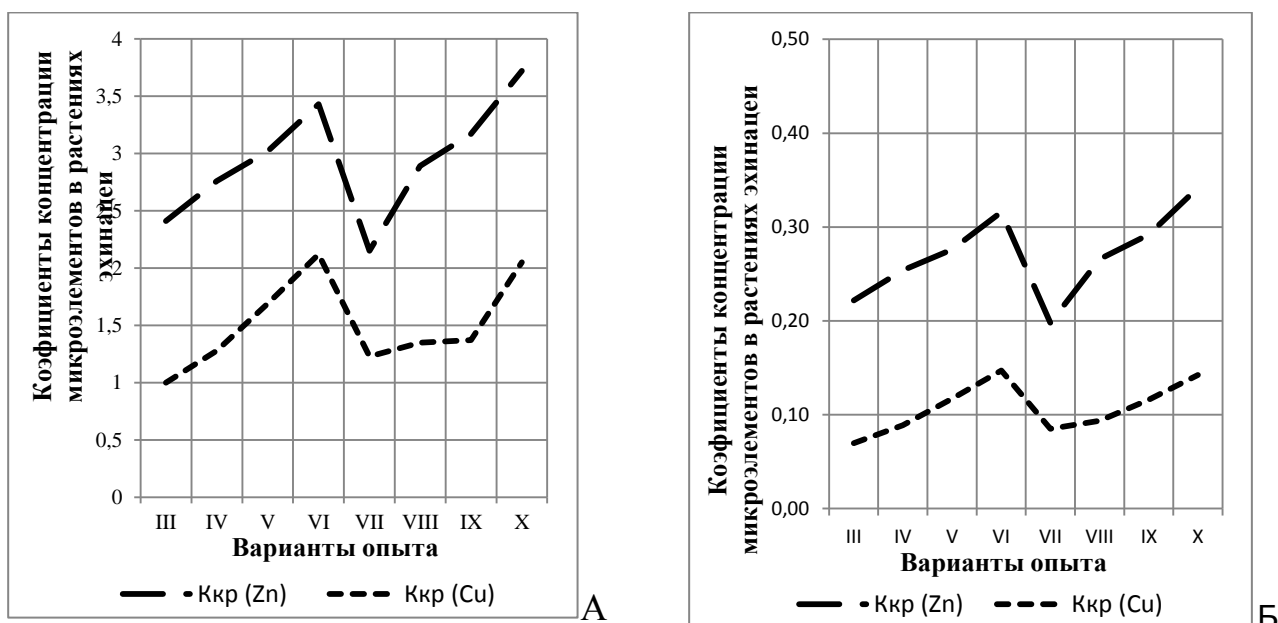


Рисунок 20 – Коэффициенты концентраций цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной

Согласно данным таблицы 38 и рисунку 20 (а, б) накопление микроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной по вариантам опыта происходит по-разному. Представленные данные свидетельствуют о том, что накопление цинка в растениях происходит интенсивнее в отличие от меди, следовательно, $K_{кр} Zn > K_{кр} Cu$.

Используя данные таблиц 30, 33, 38 и метод математического моделирования установлены функциональные связи в системе «содержание Zn / Cu, мг/кг растений → $K_{кр} \uparrow$ », уравнения 152-155 (Таблица 39).

Таблица 39 – Математические модели связи $K_{кр}$ с содержанием микроэлементов (цинка и меди) в лекарственных растениях (X, мг/кг), 2016-2018 гг.

Уравнение регрессии	«b»	Коэффициент корреляции
<i>При внесении цинка</i>		
$Y K_{крZn} = 0,217 X, \text{ мг/кг} - 0,003;$ (152)	0,217	$r = 0,99$
$Y K_{крCu} = 0,483 X, \text{ мг/кг} - 0,006;$ (153)	0,483	$r = 0,99$
<i>При внесении меди</i>		
$Y K_{крCu} = 0,477 X, \text{ мг/кг} - 0,008 ;$ (154)	0,218	$r = 0,99$
$Y K_{крZn} = 0,218 X, \text{ мг/кг} + 0,01.$ (155)	0,477	$r = 0,99$

Согласно полученным математическим уравнениям взаимосвязей и коэффициентам интенсивности действия «*b*» (152-155), можно сделать вывод, о том, что каждый Zn, мг/кг повышает Кк цинка на 0,217 (уравнение 152), коэффициент концентрации Cu увеличивает на 0,483 (уравнение 153), 1 мг/кг меди растений увеличивает Кк_{Cu} на 0,477 и Кк_{Zn} на 0,218 (уравнения 154-155).

Для оценки количественных характеристик цинка и меди, перешедших из лугово-черноземной почвы в органы растений эхинацеи пурпурной, рассчитан КБН – коэффициент биологического накопления (Таблица 5.11). Данные КБН по годам исследований представлены в Приложении X.

Расчет коэффициентов КБН растений, выполнялся по формуле (156).

$$\text{КБН} = \text{Ср} / \text{Сп} \quad (156)$$

где Ср – содержание Zn, Cu в растениях эхинацеи пурпурной;

Сп – содержание подвижных Zn, Cu в почве.

Оценку полученных результатов производили по данным Ковалевского А.Я. [62].

Таблица 40 – Коэффициенты биологического накопления микроэлементов (Zn и Cu) растениями эхинацеи пурпурной за 2016-2018 гг.

Варианты опыта		К _H Zn	К _H Cu
Контроль		2,82*	9,70**
Фон (N ₁₂₅)		3,14**	8,21**
Фон + цинк	10,7 кг Zn/га	1,79*	6,53**
	21,4 кг Zn/га	1,73*	7,67**
	32,4 кг Zn/га	1,49*	11,70**
	42,8 кг Zn/га	1,28*	14,54**
Фон + медь	2,3 кг Cu/га	3,25**	10,07**
	4,7 кг Cu/га	3,24**	9,58**
	7,0 кг Cu/га	2,77*	10,34**
	9,4 кг Cu/га	2,50*	10,33**
Оценка по А.Я. Ковалевскому [62]		<i>весьма интенсивное поглощение – 30-300</i>	
		<i>интенсивное поглощение – 3-30**</i>	
		<i>среднее поглощение – 0,3-3*</i>	
		<i>слабое поглощение – 0,03-0,3</i>	
		<i>весьма слабого поглощения – 0,03</i>	

Полученные расчеты коэффициентов биологического накопления (КБН) Zn и Cu свидетельствует о том, что эхинацея пурпурная способна концентрировать данные микроэлементы.

Согласно данным представленным в таблице 40 коэффициенты накопления варьируют в большом диапазоне, как в среднем за годы исследований, так и по годам (Приложение X). При внесении цинковых и медных удобрений $КБН_{Zn}$ изменяется от 1,28 до 3,25, $КБН_{Cu}$ от 6,53 до 14,54.

Используя данные таблицы 40, можно говорить о том, что накопление цинка растениями эхинацеи при внесении цинковых удобрений согласно градации оценивается как *«среднее поглощение»*, все значения входят в диапазон от 0,3 до 3. При внесении меди в малых дозах от 0,25 до 0,5 ПДК Cu накопление цинка растениями происходит более интенсивно и оценивается как *«интенсивное поглощение»*, в дальнейшем с увеличением доз меди до 1 ПДК степень поглощения (накопления) цинка растениями снижается.

Стоит отметить, что наибольшим накоплением характеризуется Cu по сравнению с цинком. На всех удобренных вариантах опыта медь накапливается *«интенсивно»*, значения КБН входят в диапазон от 3 до 30.

Таким образом, все исследуемые образцы лекарственного сырья, позволяют заключить, что эхинацея пурпурная, выращенная в условиях Западной Сибири способна накапливать цинк и медь.

Используя рассчитанные данные $КБН_{Zn/Cu}$, исследуемые микроэлементы концентрации (аккумуляции) можно расположить следующим образом: $Cu > Zn$.

Содержание химических элементов в почве главный фактор, влияющий на микроэлементный состав растений. Содержание подвижных элементов в почве находится в динамическом взаимодействии с их содержанием в растениях.

Следовательно, ввиду того, что в настоящее время отсутствуют точные представления количественного движения микроэлементов в системе «почва-растение», а Кн считается косвенным показателем перехода ионов цинка и меди в лекарственные растения, возникает необходимость установить предельное содержание элемента (ПСЭ) в растениях для конкретной культуры, с учетом ее

биологии и условий возделывания. Предельно содержание элемента – это показатель, который можно использовать в целях экологического и агрохимического контроля, характеризующий безопасный уровень содержания элементов в растениях и ее продукции. После расчета ПСЭ, результаты необходимо сравнить с фактическими данными по содержанию элементов в лекарственной культуре, если результаты анализов меньше расчетных данных величин ПСЭ, следовательно, содержание элемента в растениеводческой продукции не представляет опасности для растения, человека, животных.

В этой связи используя данные таблиц 14, 16, 19, 30, 33 была изучена система «почва-растение» и установлены численные характеристики перехода цинка и меди в растения эхинацеи. Используя методы математического моделирования, установлены функциональные связи в системе «содержание Zn / Cu, мг/кг почвы (X) → содержание Zn / Cu, мг/кг растений (Y)», уравнения 157-160:

$$Y = 1,38x + 2,54; \quad r = 0,99 \quad (157)$$

$$Y = 4,80x + 0,81; \quad r = 0,74 \quad (158)$$

$$Y = 12,33x - 0,76; \quad r = 0,98 \quad (159)$$

$$Y = 2,32x + 2,24. \quad r = 0,97 \quad (160)$$

Для установления токсических уровней содержания цинка и меди в исследуемой культуре, был рассчитан показатель предельно-допустимого содержания Zn и Cu в растениях с использованием уравнений прямолинейной зависимости (157-160). Для установления характеристики ПСЭ_p (Y, мг/кг), использовали ПДК Zn_{подв} и Cu_{подв} в почве (X, мг/кг) (Таблица 41).

Таблица 41 – Предельное содержание микроэлементов (ПСЭ_{Zn,Cu}) в растениях эхинацеи пурпурной, мг/кг за 2016-2018 гг.

Варианты опыта	ПСЭ _{pZn}	ПСЭ _{pCu}	Формула прогноза
При внесении цинка (Zn 21,4)	34,26	-	157
	-	15,21	158
При внесении меди (Cu 9,4)	-	36,23	159
	53,53	-	160

Примечание: МДУ_{Zn} – 50 мг/кг, МДУ_{Cu} – 30 мг/кг.

Данные таблицы 41 позволяют установить, следующее: во-первых фактическое содержание Zn и Cu в растениях эхинацеи не превышают уровни предельного содержания элемента (ПСЭ); во-вторых при внесении микроэлементов предельно-допустимое содержание в некоторых случаях превышает установленные показатели МДУ, это свидетельствует о том, для каждой культуры (учитывая ее биологию, почвенно-климатические условия) необходимо устанавливать «отдельный» уровень предельного (максимального) содержания цинка и меди в растениеводческой продукции.

Таким образом, внесенные расчетные дозы цинка и меди в почву под эхинацею пурпурную не опасны для ее возделывания в почвенно-климатических условиях Западной Сибири.

5.2 Содержание N_n, P_n, K_c в растениях эхинацеи пурпурной при внесении цинка и меди

Рядом исследователей в условиях Западной Сибири на лугово-черноземной почве установлена положительная связь между определенными дозами макроудобрений и общим содержанием этих элементов в растениях. Получены коэффициенты интенсивности действия внесенного азота и фосфора в почву и идентификация ответной реакции растений на изменение химического состава растений полыни гладкой % («b_N» составил 0,0022-0,0098, «b_P» – 0,0002-0,001) [145]. Для календулы лекарственной – в фазу розетки и бутонизации «b_N» составил 0,052, по фосфору «b_P» – 0,03 [169]. Для пустырника пятилопастного «b_N» составил 0,265, по фосфору «b_P» – 0,008, в фазу цветения - «b_N» равен 0,49, «b_P» – 0,003 [285].

При оптимизации минерального питания растений, принципиальное значение имеет изучение взаимодействия ионов азота, фосфора, калия и цинка. Установлено, что физиологическая роль Zn тесно взаимосвязана с азотным

обменом в растениях, тем самым чаще проявляются явления синергизма между Zn/N. Также данные свидетельствуют о проявлении синергизма между фосфором и цинком. Сведения о взаимодействии Zn и K в литературных источниках очень ограничены. Чаще встречаются данные указывающие на синергизм между калием и цинком при поступлении в растения [57].

Установлено, что медь играет важную роль в азотном обмене растений, участвуя в восстановлении нитратов [115]. При медной недостаточности не функционирует цинк.

В исследованиях R. Krähler, B. Sattelmacher установлено, что содержание азота в почве и растениях увеличивается при достаточном поступлении меди [306].

Результаты исследований И. В. Верниченко, И. И. Серегиной свидетельствуют, что улучшение обеспеченности рядом микроэлементов положительно влияет на азотное питание растений. В частности применение цинка способствует увеличению скорости редукции поступивших в растения меченых нитратов, повышает степень использования поглощенного аммонийного и нитратного азота на синтез аминокислот и их включение в состав белка [50, 228].

В целях оперативной диагностики минерального питания лекарственного растения в период ее роста и развития, изучалось содержание основных элементов питания неорганического азота (N_n), неорганического фосфора (P_n) и свободного калия (K_c) в тканевых органах (листьях) культуры эхинацеи пурпурной в зависимости от уровня применяемых микроэлементов (цинка и меди) по годам исследования (Приложения Ц, Ш). Средние данные по фазам развития культуры представлены в таблице 42.

Данные таблицы 42 показывают изменение в динамике накопления неорганического азота, фосфора и свободного калия в листьях растений эхинацеи пурпурной по фазам роста и развития. Согласно полученным математическим данным полевого опыта, отмечается максимальное содержание неорганического азота, фосфора и свободного калия в фазу отрастания и постепенное

закономерное снижение содержания элементов питания к конечной фазе развития (цветение). Изменение содержания N_н, P_н, K_с в растениях эхинацеи пурпурной по годам происходит закономерно (Приложение Ц, уравнения 161-190).

Таблица 42 – Содержание основных элементов питания в листьях растений эхинацеи пурпурной, (мг/100 г.) в основные фазы роста в зависимости от уровня цинкового и медного питания, (средние данные полевых опытов 2016-2018 гг.)

Варианты опыта	Неорганический азот (N _н)		Неорганический фосфор (P _н)		Свободный калий (K _с)	
	Отрастание	Цветение	Отрастание	Цветение	Отрастание	Цветение
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	146,6±10,38	74,9±3,28	12,1±0,42	12,1±0,3	363,1±6,87	240,4±3,86
Фон(N ₁₂₅)	201,0±3,37	84,9±2,0	12,4±0,38	12,6±0,24	378,2±4,92	262,3±1,0
Фон+10,7кг двга	219,5±0,98	88,1±1,57	14,4±0,12	16,5±0,26	405,3±1,43	283,1±1,65
Фон+21,4кг двга	237,5±1,34	110,1±1,27	16,1±0,10	16,9±0,31	440,8±3,15	293,3±2,97
Фон+32,4кг двга	248,6±2,78	109,7±1,21	15,7±0,05	14,4±0,01	437,7±2,75	269,9±0,05
Фон+42,8кг двга	217,4±1,25	105,2±0,63	18,3±0,38	14,3±0,02	430,9±11,88	264,7±0,72
Фон+2,3 кг двга	233,8±0,87	100,2±0,01	15,7±0,05	13,9±0,07	403,8±1,62	267,3±0,38
Фон+4,7кг двга	254,1±3,49	102,9±0,34	16,0±0,09	14,2±0,03	426,2±1,27	271,4±0,14
Фон+7,0кг двга	270,9±5,6	108,3±1,03	17,6±0,29	14,4±0,01	440,1±0,06	277,2±0,89
Фон+(9,4кг двга	241,4±1,85	118,6±2,36	14,9±0,05	15,3±0,11	437,5±2,73	273,2±0,38

Примечание: n=30.

На основании полученных экспериментальных данных получены математические модели связи в системе: «почва (кг/га) → растение (мг%)» – содержание минеральных форм N_н, P_н, K_с в растениях (Таблица 43, уравнения 191-202).

Моделирование режима минерального питания эхинацеи пурпурной показывает, что за годы проведенных исследований установлены лучшие дозы микроэлементов, способствующие накоплению азота, фосфора и калия растениями эхинацеи пурпурной.

Таблица 43 –Математические модели связи содержания макроэлементов в растениях в основные фазы развития (мг/100 г) при оптимальном питании цинком и медью, 2016-2018 гг.

Фаза развития		Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Отрастание	2016-2018 гг.	$N_H = 1,71 Zn + 201,08;$ (191)	0,99
		$N_H = 4,97 Cu + 217,08;$ (192)	0,71
		$P_H = 0,17 Zn + 12,47;$ (193)	0,99
		$P_H = 0,29 Cu + 13,97;$ (194)	0,57
		$K_c = 2,93 Zn + 376,79;$ (195)	0,99
		$K_c = 6,58 Cu + 386,37;$ (196)	0,94
Цветение	2017-2018 гг.	$N_H = 1,17 Zn + 81,81;$ (197)	0,92
		$N_H = 3,20 Cu + 88,02;$ (198)	0,97
		$P_H = 0,20 Zn + 13,21;$ (199)	0,91
		$P_H = 0,25 Cu + 12,92;$ (200)	0,95
		$K_c = 1,45 Zn + 264,11;$ (201)	0,96
		$K_c = 1,34 Cu + 264,0;$ (202)	0,88

Применение цинка и меди в оптимальных дозах обеспечило получение оптимальных уровней содержания в растениях N_H , P_H , K_c в фазу цветения (в среднем за годы исследований, Таблица 44), что соответствовало коэффициентам интенсивности действия «*b*». Установлено влияние 1 кг Zn и Cu внесенного в почву на уровень содержания минеральных форм макроэлементов в листьях растений в фазу отрастания (Таблица 43, уравнения 191-196) и в фазу цветения (Таблица 43, уравнения 197-202). Полученные высокие коэффициенты корреляции (r) свидетельствуют о наличии прямых сильных связей в системе «почва → растение».

Из данных таблицы 43 и уравнений 191-202, следует, что внесенные в почву до посадки оптимальные дозы Zn и Cu под эхинацею пурпурную, проявили эффективное действие на накопление основных элементов питания (азота, фосфора и калия) в органах культуры в фазы отрастания и цветения растений.

Использование данных по содержанию азота (N_H), фосфора (P_H) и калия (K_c) в листьях и математические уравнения, позволяет предложить оптимальные

уровни содержания N_n , P_n , K_c в растениях эхинацеи пурпурной, Таблица 44.

Используя данные таблицы 44 получаем уравнения оптимального баланса содержания макроэлементов в растениях, уравнения 203-208.

Таблица 44– Оптимальные уровни содержания неорганического азота, фосфора и свободного калия в растениях (мг/100 г.)

Год жизни культуры	влияние Zn удобрений			влияние Cu удобрений		
	N_n	P_n	K_c	N_n	P_n	K_c
Второй год	123	23	361	139	20	338
Третий год	97	11	225	97	9	208
Средние данные	110	17	293	118	15	273
Примечание – второй год – 2017 год, третий год – 2018 год, в среднем – 2016-2018 гг.						

Фактически оптимальное соотношение макроэлементов за годы исследований (2017-2018 гг.) в растениях эхинацеи пурпурной было следующим:

Уравнения оптимального баланса:

При внесении оптимальной дозы цинка ($Zn_{21,4}$):

$$2017 \text{ г.} \quad N_n \approx 5.3 \quad P_n \approx 0.3 \quad K_c; \quad (203)$$

$$2018 \text{ г.} \quad N_n \approx 8.8 \quad P_n \approx 0.1 \quad K_c; \quad (204)$$

$$2017-2018 \text{ гг.} \quad N_n \approx 6.5 \quad P_n \approx 0.1 \quad K_c; \quad (205)$$

При внесении оптимальной дозы меди ($Cu_{9,4}$):

$$2017 \text{ г.} \quad N_n \approx 7.0 \quad P_n \approx 0.1 \quad K_c; \quad (206)$$

$$2018 \text{ г.} \quad N_n \approx 10.8 \quad P_n \approx 0.1 \quad K_c; \quad (207)$$

$$2017-2018 \text{ гг.} \quad N_n \approx 7.9 \quad P_n \approx 0.1 \quad K_c. \quad (208)$$

Установлено, что эхинацея пурпурная, способна накапливать оптимальное количество макроэлементов азота (N_n , мг/100 г), фосфора (P_n , мг/100 г) и калия (K_c , мг/100 г) для формирования существенного урожая биомассы на черноземах Западной Сибири.

При оптимальных дозах внесения Zn и Cu в почву под эхинацею пурпурную ($Zn - 21,4$ и $Cu - 9,4$ кг/га), полученном урожае (9,9 и 13,2 т/га) на данных вариантах, уровнях содержания N_n , P_n , K_c в листьях растений в фазу цветения, можно установить зависимость урожая сухого вещества культуры от оптимального уровня содержания макроэлементов в исследуемой культуре.

В таблице 45 и уравнениях 209-214 показаны связи урожайности культуры с содержанием неорганического азота (N_n , мг/100 г), фосфора (P_n , мг/100 г) и свободного калия (K_c , мг/100 г) в тканях растений в фазу цветения от внесения расчетных доз цинка и меди в почву.

Таблица 45 – Математические уравнения взаимосвязи урожайности сухого вещества эхинацеи пурпурной (Y , т/га) с содержанием азота (N_n), фосфора (P_n), калия (K_c) в растениях в фазу цветения, за 2017-2018 гг.

Дозы удобрений	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
$Zn_{21,4}$	$Y_{т/га} = 0,061 N_n, мг\% + 3,19;$ (209)	$r = 0,99$
	$Y_{т/га} = 0,30 P_n, мг\% + 4,32;$ (210)	$r=0,83$
	$Y_{т/га} = 0,05 K_c, мг\% - 5,31;$ (211)	$r=0,93$
$Cu_{9,4}$	$Y_{т/га} = 0,16 N_n, мг\% - 5,64;$ (212)	$r=0,95$
	$Y_{т/га} = 2,02 P_n, мг\% - 17,46;$ (213)	$r=0,94$
	$Y_{т/га} = 0,34 K_c, мг\% - 81,46.$ (214)	$r=0,94$

Используя полученные математические характеристики «b» – коэффициенты интенсивности действия 1 мг% поступившего N_n , P_n , K_c в растение на образование биомассы культуры, можно прогнозировать урожайность при внесении микроэлементов в лугово-черноземную почву по уравнениям 209-214.

В таблице 46 показан прогноз урожайности эхинацеи по содержанию N_n в растениях в период массового цветения растений.

Таблица 46 – Прогнозирование продуктивности эхинацеи пурпурной на основе растительной диагностики

Показатель	Содержание N_n в растениях в цветение, мг%					Прогнозирование урожайности по уравнению (212):
	84,96	100,2	102,99	108,28	118,56	
Урож-ть, т/га: Фактическая	8,2	9,7	11,1	12,7	13,2	$Y, т/га=0,16N_n-5,64;$ $r=0,95$
Прогнозируемая	8,0	10,3	10,8	11,7	13,3	
Прогноз, %	98	106	97	92	101	

Данные таблицы 46 показывают, что при оптимальных условиях макро- и микроэлементного питания, роста и развития лекарственного растения – эхинацеи пурпурной результаты химического анализа культуры дают возможность с высокой точностью проводить диагностику питания азотом, фосфором, калием, а также выполнять прогноз урожайности лекарственного сырья.

5.3 Оптимальные уровни и соотношения элементов питания в растениях и их связи с урожаем

Основой диагностики питания растений является определение потребностей сельскохозяйственных культур в основных элементах питания, а также их оптимальных уровней [106, 164, 201, 275, 307].

Каждое культурное растение имеет свой оптимальный уровень, связано это с его биологией, особенностями онтогенеза, урожайностью и др. [106, 274, 276].

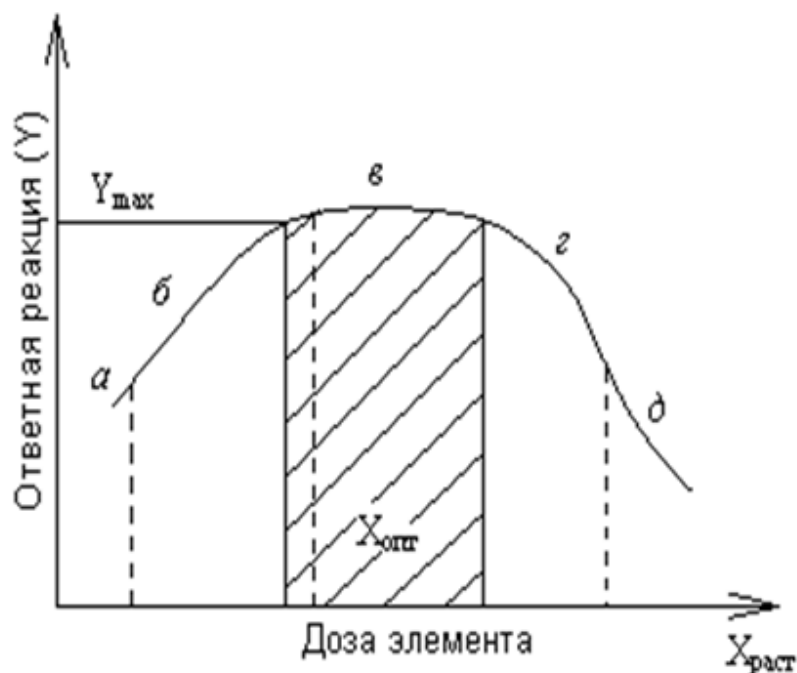
Используя результаты химического анализа растений можно оценивать их способность использовать питательные элементы почвы, при определенных условиях внешней среды, а также увязать действие многих факторов образованием величины урожая и его качества. Таким образом, взаимосвязь этих факторов в результате отражается на урожайности и элементном составе растений [117, 165, 276].

Известно, что увеличение доз удобрений, вносимых под сельскохозяйственные культуры, приводит к барьерному характеру накопления элементов питания в растениях (до определенного уровня), на последующее повышение доз элементов питания растение в действительности не реагирует, так как сок, содержащийся в клетках растений является буферной системой, которая способна переводить элементы в разные состояния, как следствие увеличение доз приводит к снижению урожая и качества [217, 274].

В данных исследованиях оценка химического состава растений проведена с учетом формирования биомассы растений эхинацеи пурпурной.

X – химический состав растений функция химического состава почвы ($X=f_{\text{почвы}}$), Y – урожайность функция химического состава растений ($Y=f(X_{\text{раст}})$). Содержание химических элементов в растении должно быть сбалансированно. Нормальная жизнедеятельность растительного организма невозможна при изменении количества элементов питания в положительную или отрицательную сторону.

Ю. И. Ермохиным предложен график, который наглядно демонстрирует влияние дозы удобрений на урожайность культуры «доза – ответная реакция растений» (Рисунок 21).



Первая фаза (а) – голодание организма при дефиците химических элементов;
Вторая фаза (б) – положительная реакция при увеличении доз элементов;
Третья фаза (в) – оптимальный уровень химических элементов;
Четвертая и пятая фазы (г, д) – токсическое действие химических элементов.

Рисунок 21 – Реакция растения при использовании различных доз химических веществ (по Ермохину Ю.И., 2014) [109-111].

Концентрация исследуемых микроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной свидетельствует об оптимальном содержании подвижных форм цинка и меди в диагностическом слое лугово-черноземной почвы.

Для оптимизации минерального питания лекарственного растения и практического использования необходимо установить связи между элементным

составом растений, почвы и продуктивностью эхинацеи. Для этого необходимо определить пределы, в которых происходит изменение концентрации элемента питания в растениях, и оптимальное содержание обеспеченности конкретным элементом.

Взаимосвязь между урожайностью изучаемой культуры и содержанием в ней цинка и меди представлена в виде рисунков 22-23.

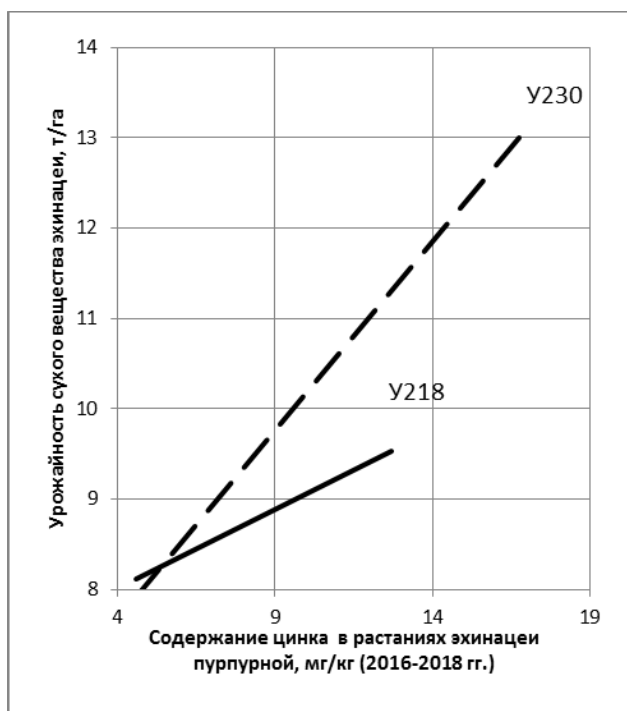


Рисунок 22 – Зависимость урожайности эхинацеи при оптимальном уровне содержания Zn в растениях в фазу цветения (2016-2018 гг.).

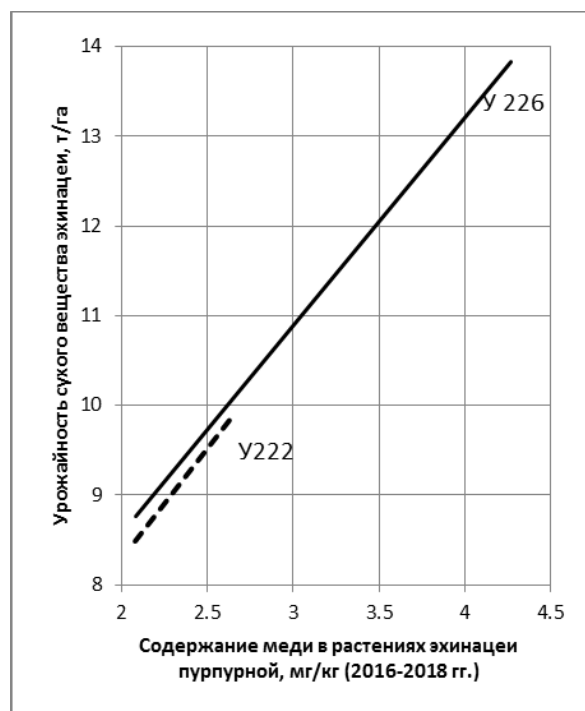


Рисунок 23 – Зависимость урожайности эхинацеи при оптимальном уровне содержания Cu в растениях в фазу цветения (2016-2018 гг.).

Следовательно, можно сделать вывод, что с внесением расчетных доз микроудобрений, исходя из ПДК элементов в виде ацетата цинка и ацетата меди под растения эхинацеи, увеличивается использование элементов питания эхинацеи и повышается ее урожайность (Рисунки 22-23).

Таким образом, связь урожайности абсолютно сухого вещества эхинацеи пурпурной (Y , т/га) при уборке в фазу цветения с содержанием цинка и меди в лекарственном сырье ($X_{1,2}$, мг/кг) по годам жизни растения, выражается линейными уравнениями 215-230, с высокими коэффициентами регрессии (Таблица 47).

Таблица 47 – Математические модели связи урожайности сухого вещества эхинацеи пурпурной (Y, т/га) при оптимальном уровне Zn (X₁, мг/кг) и Cu (X₂, мг/кг) в растениях первого-третьего года жизни

Показатели (X)	Уравнения	«b», мг/кг	Коэффициент корреляции (r)
<i>При внесении цинковых удобрений (Zn 21,4)</i>			
Содержание, Zn мг/кг, X ₁	$Y_{215} = 0,14 X_1, \text{ мг/кг} + 0,65;$ (215)	0,14	r = 0,99
	$Y_{216} = 0,18 X_1, \text{ мг/кг} + 10,31;$ (216)	0,18	r = 0,88
	$Y_{217} = 0,17 X_1, \text{ мг/кг} + 11,24;$ (217)	0,17	r = 0,78
	$Y_{218} = 0,18 X_1, \text{ мг/кг} + 7,3;$ (218)	0,18	r = 0,88
Содержание, Cu мг/кг, X ₂	$Y_{219} = 0,90 X_2, \text{ мг/кг} - 0,75;$ (219)	0,90	r = 0,95
	$Y_{220} = 1,18 X_2, \text{ мг/кг} + 9,19;$ (220)	1,18	r = 0,95
	$Y_{221} = 6,5 X_2, \text{ мг/кг} + 0,91;$ (221)	6,5	r = 0,81
	$Y_{222} = 2,53 X_2, \text{ мг/кг} + 3,21;$ (222)	2,53	r = 0,96
<i>При внесении медных удобрений (Cu 9,4)</i>			
Содержание, Cu мг/кг, X ₂	$Y_{223} = -0,83 X_2, \text{ мг/кг} + 3,86;$ (223)	-0,83	r = 0,63
	$Y_{224} = 2,02 X_2, \text{ мг/кг} + 7,03;$ (224)	2,02	r = 0,99
	$Y_{225} = 1,69 X_2, \text{ мг/кг} + 11,6;$ (225)	1,69	r = 0,76
	$Y_{226} = 2,31 X_2, \text{ мг/кг} + 3,95;$ (226)	2,31	r = 0,95
Содержание, Zn мг/кг, X ₁	$Y_{227} = 0,171 X_1, \text{ мг/кг} + 0,49;$ (227)	0,171	r = 0,97
	$Y_{228} = 0,48 X_1, \text{ мг/кг} + 8,63;$ (228)	0,48	r = 0,96
	$Y_{229} = 0,41 X_1, \text{ мг/кг} + 10,1;$ (229)	0,41	r = 0,98
	$Y_{230} = 0,42 X_1, \text{ мг/кг} + 5,99.$ (230)	0,42	r = 0,98

Из установленных математических зависимостей следует, что для диагностики питания эхинацеи в условиях юга Западной Сибири, возможно использование результатов химического анализа культуры (Таблица 48).

Таблица 48 - Прогноз урожайности лекарственной культуры (эхинацеи) по содержанию цинка и меди в растениях

Оптимальное содержание, мг/кг, фаза цветения	Урожайность, т/га		Ошибка		Уравнение прогноза
	фактическая	прогнозируемая	т/га	%	
Zn – 12,7	9,9	9,5	0,4	4,0	218
Cu – 2,66	9,9	9,9	-	-	222
Cu – 4,3	13,2	13,8	0,6	-4,5	226
Zn – 17,1	13,2	13,2	-	-	230

При анализе математических зависимостей между оптимальным содержанием цинка и меди в растениях эхинацеи и урожайностью данной культуры, в наших исследованиях определены оптимальные уровни химических элементов, способствующие получению высокой урожайности (Таблица 48).

Используя данные оптимального содержания макро- и микроэлементов в растениях, предоставляется возможным с большой вероятностью прогнозировать действие минеральных удобрений с использованием K_p – коэффициента потребности в химическом элементе. Данный норматив отражает отклонение фактического уровня элементов от оптимального (231):

$$K_p = \frac{N:P, N:K, Zn:Cu, \text{ и т. д. (оптим)}}{N:P, N:K, Zn:Cu \text{ и т. д. (факт)}}, \quad (231)$$

При $K_p < 1$ – потребность растений в конкретном элементе отсутствует, а при $K_p > 1$ растения испытывают в необходимости элементах питания.

Ермохиным Ю.И. [107] была предложена математическая формула (232) расчёта доз минеральных удобрений для подкормки растений в основные фазы роста и развития:

$$\text{Доза удобрений} = K_p \cdot h, \quad (232)$$

где h – минимальная норма потребления элементов питания растением в определенную фазу развития культуры, выявленная ранее для уровня высоких урожаев.

Сбалансированное питание лекарственной культуры записывается следующим математически уравнением (233):

$$N \approx a_1 \cdot P \approx a_2 \cdot K \approx a_3 \cdot Zn \approx a_4 \cdot Cu \quad (233)$$

На основании трёхлетних данных полевых исследований с микроудобрениями, установленных математических зависимостей исследуемой системы «лугово-черноземная почва – ацетат цинка и меди – лекарственное растение (эхинацея)» были установлены уровни содержания и соотношения цинка и меди в почве и растениях эхинацеи пурпурной, для получения наибольшей урожайности биомассы эхинацеи пурпурной – 13,2 т/га (Таблица 49).

Таблица 49 – Установленные оптимальные уровни элементов питания и их соотношения в лекарственных растениях эхинацеи пурпурной

Фаза	Zn	Cu	N _H	P _H	K _c	Урожайность / прибавка
	мг/кг		мг%			
При внесении меди (9,4 кг/га)						
Цветение	17,1	4,3	118	15	273	Средняя – 13,2 / 61%; Общая – 39,6 / 60,3%; Сумма: наземная масса + корни – 52,7 / 59,2%
Оптимальное уравновешенное питание эхинацеи пурпурной						
Цветение	Zn ≈ 4.0 Cu		N _H ≈ 7.9 P _H ≈ 0.4 K _c ≈ 6.9 Zn ≈ 27.4 Cu			
При внесении цинка (21,4 кг/га)						
Цветение	12,7	2,66	110	17	293	Средняя – 9,9 / 20%; Общая – 29,8 / 20,6%; Сумма: наземная масса + корни – 40,3 / 21,8%
Фактическое несбалансированное питание эхинацеи пурпурной						
Цветение	Zn ≈ 4.8 Cu		N _H ≈ 6.5 P _H ≈ 0.4 K _c ≈ 8.7 Zn ≈ 41.3 Cu			

Анализ полученных данных позволил установить оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов в исследуемой культуре – эхинацеи пурпурной, для получения максимального урожая культуры. Следовательно, оптимальное соотношение подвижных форм Zn : Cu составляет 4.0 для получения урожая не менее 13,2 т/га.

Полученные уравнения оптимального баланса в растениях демонстрируют взаимодействие ионов при сбалансированном питании, которое обуславливается содержанием и ионным равновесием элементов питания диагностического слоя лугово-черноземной почвы. Низкая концентрация химических элементов в растениях связана с недостатком их в почве, а также с процессами антагонизма других элементов. Таким образом, необходимо пользоваться оптимальными параметрами комплексного метода «ИСПРОД».

По данным авторов [93, 101, 287 и др.] высокие концентрации элементов в растениях могут обуславливаться взаимодействием ионов в процессе синергизма.

По результатам проведенных многолетних исследований установлено, что

на фоновом варианте N_{125} полевого опыта содержание Zn, Cu в конечную фазу развития культуры (цветение) ниже установленных оптимальных уровней (Рисунок 24 а): соответственно 4,6; 2,08. На этом варианте отмечается наименьшая продуктивность эхинацеи пурпурной – 8,2 т/га.

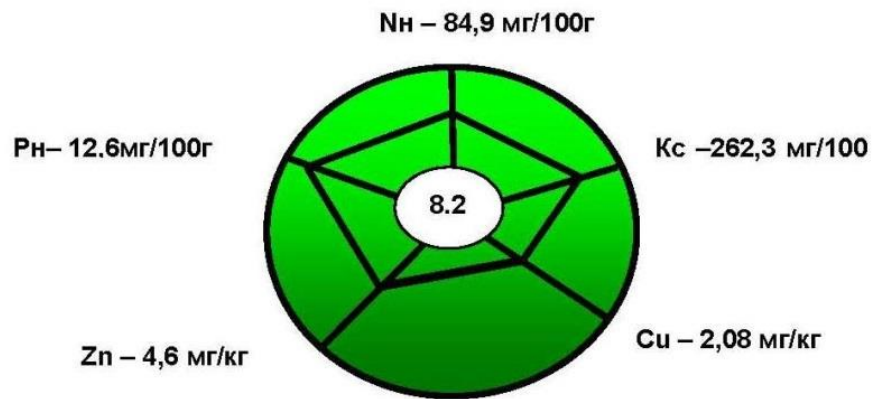
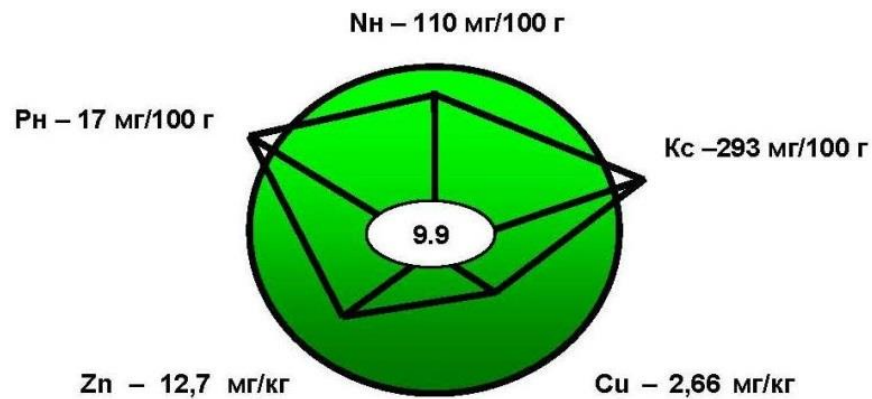
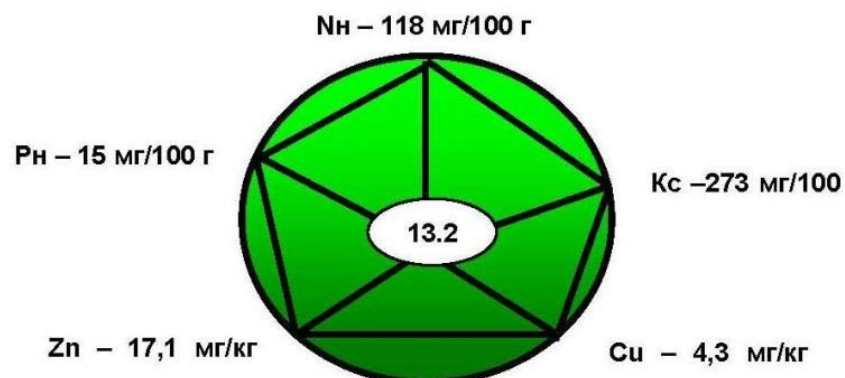
а) Фон (N_{125})б) Несбалансированное питание по ($Zn_{21,4}$)в) Оптимальное сбалансированное питание при внесении меди ($Cu_{9,4}$)

Рисунок 24 – Пентагональные диаграммы связи урожая лекарственной культуры от концентрации питательных элементов в растениях (в среднем за 2016-2018 гг.)

В вариантах опыта при внесении $Zn_{21,4}$ установлены фактические уровни элементов питания (Рисунок 24, б).

В вариантах опыта с наилучшей урожайностью 13,2 т/га при внесении $Cu_{9,4}$ установлены оптимальные уровни элементов (Рисунок 24, в).

Так, неконтролируемое применение удобрений приводит к нарушению ионного равновесия питательных элементов в почве и растении, что отражается на дисбалансе в питании культуры и конечном счете сказывается на величине и качестве растительной продукции (Рисунок 24, б).

Применение микроудобрений (меди) под эхинацею пурпурную, позволяет создавать оптимальное питание и изменять химический состав растений в нужном направлении. В таких условиях растения способны к хорошему развитию и формированию максимального урожая культуры (Рисунок 24, в).

Следовательно, изучение системы «микроудобрения ↔ лугово-черноземная почва ↔ лекарственное растение» позволяет выполнять прогноз эффективности действия применяемых расчетных доз цинка и меди, а также устанавливать содержание и соотношение макро- и микроэлементов в конкретной почве и растениях.

6 УДОБРЕНИЕ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЭХИНАЦЕИ ПУРПУРНОЙ

В связи с увеличением потребностей производства лекарственных препаратов на натуральной основе и биологически активных добавок (БАД) необходимо развитие нового перспективного направления, таким является – возделывание лекарственных растений.

Условия минерального питания, действие и последствие расчетных доз удобрений под сельскохозяйственные культуры напрямую определяют качество урожая, влияют на рост и развитие растений, формирование биомассы культуры. Все перечисленное не может не отразиться на показателях качества растительного сырья. Регулируя и контролируя условия минерального питания растений в течение вегетации, возникает возможность управлять процессом питания культуры и тем самым получать продукцию желаемого качества. Актуальность в использовании минеральных удобрений состоит в том, что мы можем получать не только высокую урожайность сельскохозяйственных культур, но и конечную продукцию надлежащего качества [120, 177, 180, 290].

Только при наличии оптимальных условий минерального питания реализуются потенциальные возможности роста и развития растений. Изучая обмен веществ в растениях, следует принимать во внимание, каким образом используются минеральные вещества, поступившие через корневую систему и меняющихся по ходу всей вегетации. Резервы пластических веществ в надземной массе растений снижаются, если в почве недостаточный уровень или неуравновешенное соотношение элементов питания, как следствие этого урожай формируется низкого качества [180].

Установленные функциональные нормативные взаимосвязи в системе «почва ↔ удобрение ↔ растение» дают возможность управлять в биологическом отношении качеством получаемого растительного сырья ещё задолго до его уборки [44].

6.1 Влияние цинка и меди на качество урожая эхинацеи пурпурной

Поступление элементов питания и накопление в растениях приурочено к определённому периоду их развития. В связи с этим, активный биосинтез биологически активных веществ лекарственных растений, происходит в определённое время, это определяется фазами роста и развития культур. Согласно литературным данным и используемым методикам при заготовке и переработке лекарственных растений, для получения максимально качественного урожая необходимо производить сбор лекарственных культур в завершающую фазу своего развития (цветение) [272].

Результаты исследований Плешкова Б.П. и Толстоусова В.П. свидетельствуют о том, что условия минерального питания растений влияют не только на величину урожая, но и на его качество [203, 255].

Главным условием к использованию лекарственного сырья является его качество. Качество растительного лекарственного сырья регулируется специальными нормативно-техническими документами: Государственными и отраслевыми стандартами (ГОСТ и ОСТ), Государственной фармакопеей (ГФ), фармакопейными статьями (ФС).

К основным показателям качества урожая эхинацеи пурпурной относятся: аскорбиновая кислота (витамин С), сухое вещество, каротин (витамин А), общая зола, безазотистые экстрактивные вещества, дубильные вещества (танины), цикориевая кислота, токсичные элементы (кадмий, мышьяк, ртуть, свинец).

В наших исследованиях мы определяли содержание сухого вещества в общей биомассе растений, так как показатели качества (общую золу, дубильные вещества и каротин), в том числе и содержание микроэлементов (цинка и меди) в растениях определяли в сухом сырье эхинацеи пурпурной.

Основным показателем качества является *сухое вещество* – это безводная часть растений. Содержание сухого вещества определяемые по годам исследования приведены в Приложениях В, Г, Д. средние значения в Таблице 50.

Таблица 50 – Биосинтез сухого вещества (т/га) растений эхинацеи пурпурной в зависимости от доз применения микроудобрений, 2016-2018 гг.

Вариант	Урожайность сухого вещества, т/га		
	биомассы растений		соцветий
	2017-2018 гг.	2016-2018 гг.	2017-2018 гг.
Контроль	10,6 ± 1,17	7,5 ± 0,81	5,1 ± 0,88
Фон (N ₁₂₅)	11,7 ± 0,91	8,2 ± 0,59	5,4 ± 0,75
N ₁₂₅ + 0,25 ПДК Zn	12,3 ± 0,74	8,8 ± 0,50	6,5 ± 0,27
N ₁₂₅ + 0,5 ПДК Zn	13,9 ± 0,10	9,9 ± 0,07	7,7 ± 0,26
N ₁₂₅ + 0,75 ПДК Zn	10,7 ± 1,26	7,7 ± 0,85	6,2 ± 0,40
N ₁₂₅ + 1,0 ПДК Zn	11,1 ± 1,1	7,7 ± 0,76	5,9 ± 0,53
N ₁₂₅ + 0,25 ПДК Cu	13,7 ± 0,05	9,7 ± 0,03	7,1 ± 0,004
N ₁₂₅ + 0,5 ПДК Cu	15,8 ± 0,97	11,1 ± 0,64	8,3 ± 0,52
N ₁₂₅ + 0,75 ПДК Cu	17,9 ± 1,85	12,7 ± 1,25	9,3 ± 0,96
N ₁₂₅ + 1,0 ПДК Cu	18,8 ± 2,2	13,2 ± 1,52	9,6 ± 1,1
<i>Примечание: 2017-2018 гг. – среднее за два года последствия, 2016-2018 – среднее за годы исследований.</i>			

Из таблицы 50 следует, что применение микроудобрений в оптимальных дозах положительно сказалось на формировании урожая сухого вещества эхинацеи пурпурной.

В годы последствия (2017-2018 гг.) цинка и меди, внесенных в почву в оптимальных дозах способствовало максимальному выходу сухого вещества целых растений эхинацеи (13,9-18,8 т/га) и соцветий (7,7-9,6 т/га).

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) удобрений (цинка и меди) максимальное содержание сухого вещества (9,9-13,2 т/га) отмечается в вариантах 0,5 ПДК Zn (21,4 кг/га) и ПДК Cu (9,4 кг/га). Математические связи доз микроудобрений с урожаем сухого вещества и формированием качества урожая более подробно рассмотрены ниже в данной работе.

При приеме лекарственного сырья эхинацеи пурпурной уделяется большое внимание ряду показателей качества, например – содержанию *общей золы*, которое не должно превышать 13 %. В России нормативный документ, регламентирующий показатели качества эхинацеи пурпурной – ФС.2.5.0055.15 [263] и ТУ 9373-142-04868244-2008 [260] отсутствует норма содержания общей

зола. Проведенные нами исследования с эхинацеей пурпурной в условиях Западной Сибири позволили установить норму золы в пределах 13% [128].

Общая зола – сумма остатков неорганических веществ и посторонних минеральных примесей остающийся после сжигания и прокаливания (почва, песок, пыль и др.).

В полевых опытах установлено, что содержание общей золы в исследуемом лекарственном сырье эхинацеи пурпурной изменяется в зависимости от года исследования (Рисунок 25).

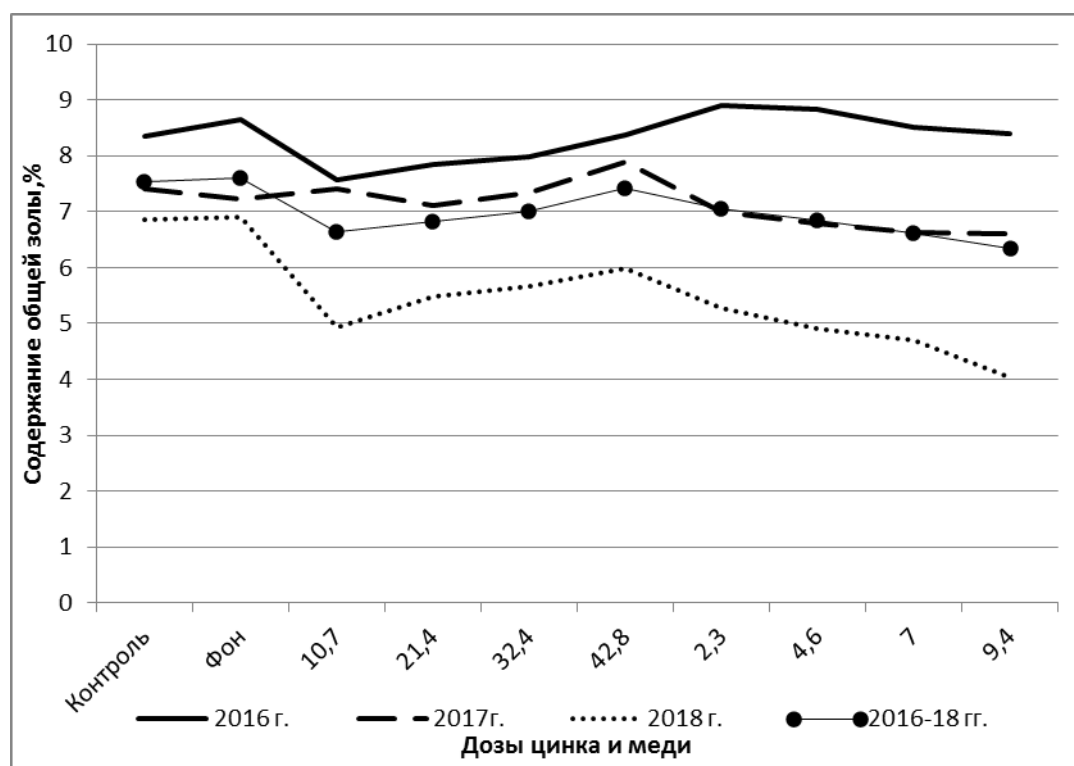


Рисунок 25 – Количество общей золы в растениях эхинацеи пурпурной по вариантам опыта зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Применяемые дозы микроудобрений в процессе действия и два года последействия (2017-2018 гг.) способствовали небольшому снижению общей золы в растениях эхинацеи пурпурной, особенно последующих двух лет (Приложение Э, Таблица 1).

В среднем за 2016-2018 гг. при однократном внесении цинковых удобрений (в дозах 10,7...42,8 кг д.в./га) содержание общей золы в растениях эхинацеи пурпурной изменялось в пределах от 6,63...7,42 %, что меньше фона на 2,2-12,6%,

соответственно. При внесении расчетных доз медных удобрений в дозах 2,3-9,4 кг Cu/га содержание общей золы в растениях было ниже фонового варианта на 10,0-16,5%.

Растения эхинацеи накапливают питательные вещества, начиная с первого года жизни, их концентрация увеличивается с возрастом культуры.

Дубильные вещества (танины, таниды или танниды) – биологически активные экстрагируемые соединения, растворимые в воде и спирте, имеющие характерный с вяжущий вкус [116].

Дубильные вещества растений относятся к группе естественных полифенольных растительных соединений, имеющие разную молекулярную массу. При взаимодействии с коллагеном (белок кожных покровов), образуются структуры устойчивые, к процессам разложения (гниения). Представляют собой сложную смесь фенольных соединений. Согласно литературным источникам растения содержащие конденсированные или гидролизуемые таниды относят к определенным группам лекарственного растительного сырья [124, 136, 183].

Танины содержат практически все растения, их количество достигает 20-30% и более. Издавна дубильные вещества используют при лечении различных заболеваний: ожоги, стоматиты, кожные и желудочно-кишечные заболевания и др., благодаря тому, что они обладают противовоспалительными, бактерицидными и вяжущими свойствами [273].

В промышленности чаще используются вытяжки из коры ели, дуба, ивы, корней и древесины некоторых растений (таннидоносов) и др. На сегодняшний день используют синтетические дубители – синтаны, но все-таки в приоритете остаются природные аналоги [279, 289].

Имеются данные о содержании дубильных веществ в различных растениях: кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis L.*) содержит в корневищах – 12-13%, в корнях – 16-17%, в наплывах на корневищах – до 23%; корневища Бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia*) содержат до 25% дубильных веществ; содержание танинов в растениях тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*) до 2,8% [174, 183].

По литературным данным [131, 138, 264] растения эхинацеи пурпурной в зависимости от климатических условий возделывания содержание дубильных веществ составляет 4,5-5,2%.

В таблице 51 и на рисунке 26 представлено среднее содержание дубильных веществ в растениях лекарственного сырья эхинацеи пурпурной за три года наших исследований. В настоящих исследованиях проведен анализ содержания дубильных веществ по годам жизни культуры (Таблице 2, Приложение Э).

Таблица 51 – Среднее содержание дубильных веществ (%), в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.
(фаза цветения)

Вариант	2016-2018 гг.
Контроль	10,34 ± 0,44
Фон (N ₁₂₅)	11,76 ± 0,26
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	12,84 ± 0,12
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га)	14,48 ± 0,09
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	15,24 ± 0,19
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	15,96 ± 0,29
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	12,90 ± 0,11
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	13,66 ± 0,01
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га)	14,49 ± 0,10
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	15,80 ± 0,26
<i>Примечание: Все различия между опытными и контрольным и фоновым вариантами статистически значимы при p < 0,05, n=30.</i>	

Содержание дубильных веществ в растениях за годы проведенных исследований изменялось. При использовании цинковых и медных удобрений от низких (0,25 ПДК_{Zn/Cu}) до оптимальных доз (0,5 ПДК_{Zn} и 1 ПДК_{Cu}) содержание дубильных веществ в растениях эхинацеи пурпурной устойчиво повышалось (Таблица 51).

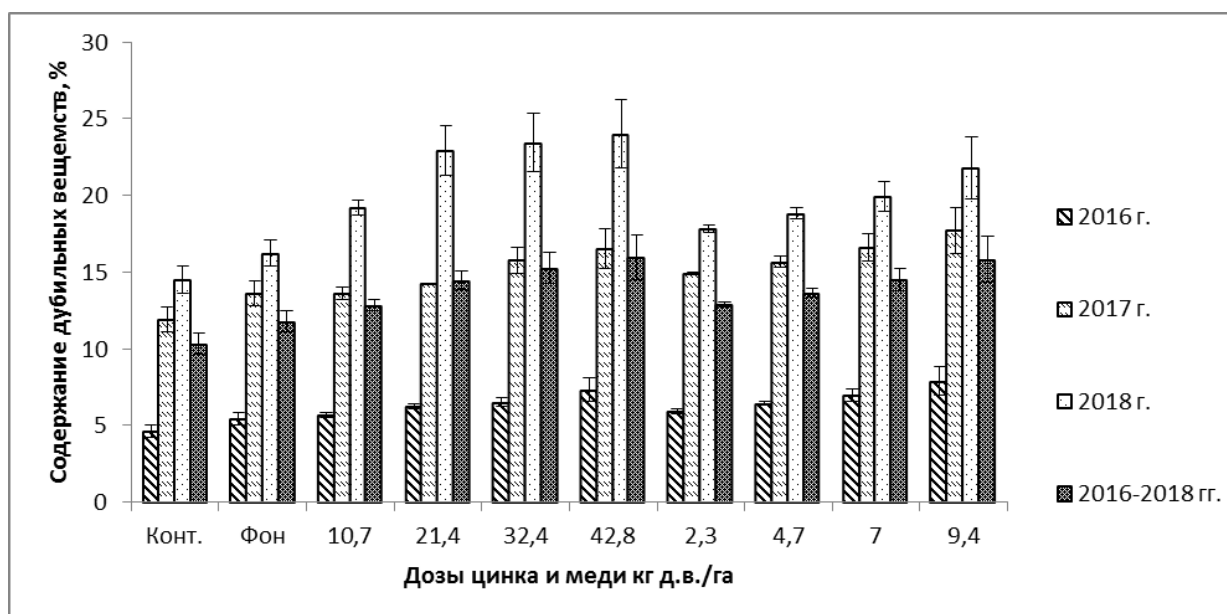


Рисунок 26 – Содержание дубильных веществ в растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Внесение цинковых и медных удобрений (Zn и Cu, кг/га) оказало влияние на накопление дубильных веществ ($Y_{\text{дуб. вещ-в}}$) в растениях эхинацеи пурпурной по годам исследований, об этом свидетельствуют установленные функциональные связи « $b_{\text{дуб-х.г-г}}$ » и высокие коэффициенты регрессии ($r = 0,87-0,99$) (Таблица 52). Математические характеристики, представленные в таблице 52, позволяют с большой вероятностью осуществлять прогноз содержания дубильных веществ в лекарственном сырье.

Таблица 52 – Математическое моделирование биосинтеза дубильных веществ в растениях эхинацеи пурпурной с учетом года жизни и оптимальных доз внесенных цинка и меди в почву

Годы жизни	Прогнозирование дубильных веществ, %	Фактическое содержание, %	r
Первый 2016г.	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,038Zn_{21,4} + 5,4 = 6,21$ (234)	6,25	r=0,98
	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,25Cu_{9,4} + 5,4 = 7,75$ (235)	7,88	r=0,99
Второй 2017г.	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,031Zn_{21,4} + 13,5 = 14,2$ (236)	14,26	r=0,87
	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,42Cu_{9,4} + 13,7 = 17,65$ (237)	17,73	r=0,99
Третий 2018г.	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,31Zn_{21,4} + 16,1 = 22,73$ (238)	22,94	r=0,99
	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,56Cu_{9,4} + 16,3 = 21,56$ (239)	21,78	r=0,99
Среднее (2016-2018гг.)	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,13Zn_{21,4} + 11,7 = 14,48$ (240)	14,48	r=0,99
	$Y_{\text{дуб. вещ-в}} = 0,41Cu_{9,4} + 11,8 = 15,65$ (241)	15,80	r=0,99

Полученные уравнения 234-241 показывают, что каждый кг цинковых и медных удобрений, однократно внесенных в почву в 2016 году, увеличивают содержание дубильных веществ в растениях в среднем за годы исследований на 0,13 и 0,41%.

Согласно математическому моделированию наблюдается тесная связь «удобрение-качество» с высокими коэффициентами корреляции (r), позволяющие прогнозировать уровень повышения содержания дубильных веществ в растениях по годам жизни растений, уравнения (234-241). Следовательно, применение установленных математическим путем моделей позволяет выполнять прогноз количественного содержания дубильных веществ в растениях эхинацеи, в среднем за годы исследований прогнозные содержание танинов в вариантах с внесением Zn – 14,48% с Cu – 15,8%.

При внесении медных удобрений, отмечается наибольшее содержание дубильных веществ в растениях в отличие от вариантов, удобренных цинком, это связано с тем, что медь ключевой компонент биологических соединений и участвует в производстве танинов [299].

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, микроэлементы (Zn и Cu), применяемые в оптимальных дозах оказывают положительное влияние на биосинтез танинов сухом веществе урожая лекарственного сырья.

Важнейшим показателем качества данной культуры является содержание витамина С.

Аскорбиновая кислота (витамин С) – это один из важнейших микронутриентов для жизнедеятельности организма человека, обладает антиоксидантной способностью. Эффективен при профилактике и лечении новообразований и травм. Накопление витамина С растением зависит от почвенно-климатических условий, уровня сбалансированного элементного питания, солнечной радиации и фотосинтеза [31, 190].

Синтез аскорбиновой кислоты в растениях тесно связан с содержанием особо активных форм сахаров, которые образуются в процессе фотосинтеза, от которого зависит биосинтез витамина С [90].

Эхинацея пурпурная способна накапливать витамин С в незначительном количестве, возраст растений и удобрения существенного влияния на накопление аскорбиновой кислоты не оказывают [291].

Имеются единичные данные о содержании аскорбиновой кислоты в растениях эхинацеи пурпурной. Так в свежей биомассе *Echinacea* 3-го года жизни содержит 18,04 мг%, 4-го – 16,02, 5-го – 17,68, 7-го – 12,32 мг% [129].

В сравнении с данными авторов следует отметить, что содержание аскорбиновой кислоты в растениях эхинацеи, выращенной в условиях Западной Сибири, ниже 2-3 раза, чем в растениях Нечерноземной зоны РФ, что связано с климатическими и почвенными условиями (2016-2018 гг.) [129].

Применение Zn и Cu в различных дозах способствовали увеличению содержанию витамина С в растениях эхинацеи в зависимости от года жизни (Таблица 53, Рисунок 27, Приложение Ю, Таблица 1).

Таблица 53 – Содержание витамина С (мг%), в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Вариант	2016-2018 гг.
Контроль	2,11 ± 0,27
Фон (N ₁₂₅)	3,07 ± 0,15
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	3,67 ± 0,07
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га)	4,14 ± 0,01
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	4,67 ± 0,06
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	4,95 ± 0,1
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	3,85 ± 0,05
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	4,54 ± 0,04
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га)	5,18 ± 0,13
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	5,84 ± 0,21

Примечание: Все различия между опытными и контрольным и фоновым вариантами статистически значимы при $p < 0,05$, $n=30$.

В результате проведенных полевых опытов с микроудобрениями, внесённых в лугово-черноземную почву, концентрация аскорбиновой кислоты в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения увеличивалась в зависимости от уровня обеспеченности цинком и медью (Рисунок 27).

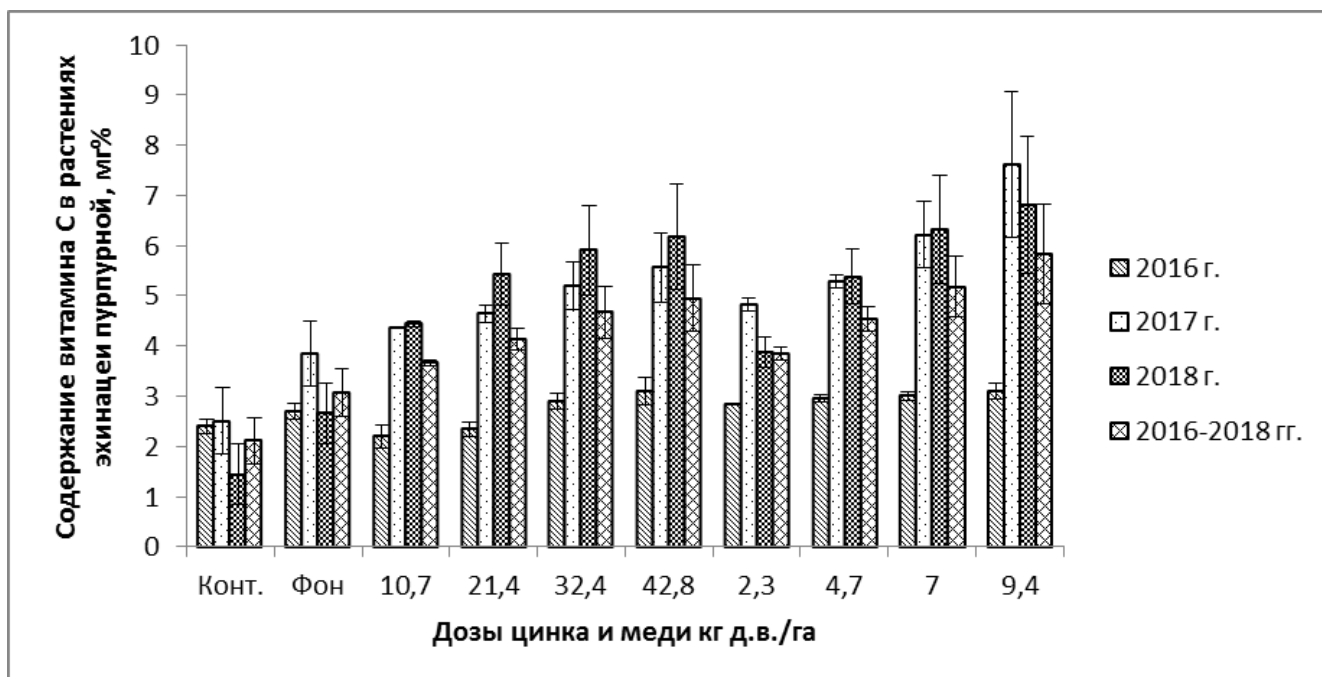


Рисунок 27 – Содержание витамина С в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Полученные данные полевых исследований позволили выявить и установить математические связи между дозами применяемых микроудобрений (кг/га) и биосинтезом витамина С ($Y_{\text{Аск. к-та}}$) растениями эхинацеи, которые характеризуется высокими корреляциями с применением Zn ($r=0,68-99$) и Cu ($r=0,98-99$), (Таблица 54).

Полученные уравнения установленной прямой связи «внесённые цинковые и медные удобрения → витамин С», свидетельствуют в влиянии внесённых микроэлементов (цинк и медь) на биосинтез аскорбиновой кислоты за первый, второй и третий год жизни лекарственной культуры эхинацеи пурпурной (Таблица 54, уравнения 242-249).

Таблица 54 – Математическое моделирование биосинтеза аскорбиновой кислоты в растениях эхинацеи пурпурной с учетом года жизни и оптимальных доз внесенных цинка и меди в почву

Годы жизни	Прогнозирование Витамина С, мг%	Фактическое содержание, мг%	r
Первый 2016г.	$Y_{\text{Аск. к-та}} = -0,02 \text{ Zn}_{21,4} + 2,60 = 2,17$ (242)	2,35	r=0,68
	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,04 \text{ Cu}_{9,4} + 2,73 = 3,11$ (243)	3,1	r=0,98
Второй 2017г.	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,04 \text{ Zn}_{21,4} + 3,89 = 4,75$ (244)	4,65	r=0,98
	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,39 \text{ Cu}_{9,4} + 3,79 = 7,46$ (245)	7,61	r=0,98
Третий 2018г.	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,13 \text{ Zn}_{21,4} + 2,79 = 5,57$ (246)	5,43	r=0,99
	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,46 \text{ Cu}_{9,4} + 2,87 = 7,19$ (247)	6,81	r=0,98
Среднее (2016-2018гг.)	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,05 \text{ Zn}_{21,4} + 3,09 = 4,16$ (248)	4,14	r=0,99
	$Y_{\text{Аск. к-та}} = 0,30 \text{ Cu}_{9,4} + 3,13 = 5,95$ (249)	5,84	r=0,99

Таким образом, следует отметить положительный эффект действия оптимальных доз Zn и Cu, внесенных под эхинацею пурпурную.

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) применение оптимальных доз Zn и Cu способствовали накоплению витамина до 4,14 и 5,84%, что выше фонового варианта на 27 и 65,2%. Полученные математические связи позволяют выполнить прогноз содержания витамина С, в зависимости от уровня микроэлементного питания (4,16 и 5,95 %).

Большую роль в обменных процессах живого организма играет каротин (**Витамин А**) [90].

Благодаря способности каротина образовывать пероксиды он способен окислять различные вещества [270].

Содержание витамина А находится в прямой зависимости от почвенно-климатических условий, биологии каждой культуры и других факторов среды (внешних и внутренних). Установлено, что свет оказывает, благоприятное действие на биосинтез культурами витамина А. Имеется ряд данных о влиянии удобрений на содержание каротина в растениях. Внесение макроудобрений, а также известкование почвы положительно влияют на концентрацию каротина в растениях [90].

Однократное внесение цинковых и медных удобрений в различных дозировках (в 2016 году) повлияли в процессе последствия удобрений на биосинтез каротина в растениях эхинацеи пурпурной по годам проведенных многолетних исследований (Таблица 55, Приложение Ю, Таблица 2).

Таблица 55 – Содержание каротина (мг/кг), в массе целых растений эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Вариант	2016-2018 гг.
Контроль	25,69 ±1,67
Фон (N ₁₂₅)	27,65 ±1,42
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	37,11 ±0,20
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га)	46,81 ± 1,06
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	51,07 ± 1,6
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	28,38 ±1,32
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	32,31 ±0,82
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	40,65 ±0,26
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га)	45,45 ±0,88
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	51,21 ± 1,62
<i>Примечание: Все различия между опытными и контрольным и фоновым вариантами статистически значимы при p < 0,05, n=30.</i>	

В исследованиях (2016-2018 гг.) установлено положительное действие цинка и меди на биосинтез витамина А в растениях эхинацеи пурпурной.

Данные таблицы 55 показывают, что однократное применение цинковых и медных удобрений от низких до оптимальных доз (Zn – 21,4 кг/га, Cu – 9,4 кг/га) способствуют накоплению каротина растениями эхинацеи пурпурной на протяжении трех лет жизни культуры (Рисунок 28)

Практическое использование результатов математического анализа между уровнем содержания каротина в растениях ($Y_{\text{каротин}}$) эхинацеи пурпурной и применяемыми оптимальными дозами цинковых и медных удобрений (кг/га) за время исследования, характеризовался математическими моделями по годам жизни растений в виде уравнений 250-259 (Таблица 56).

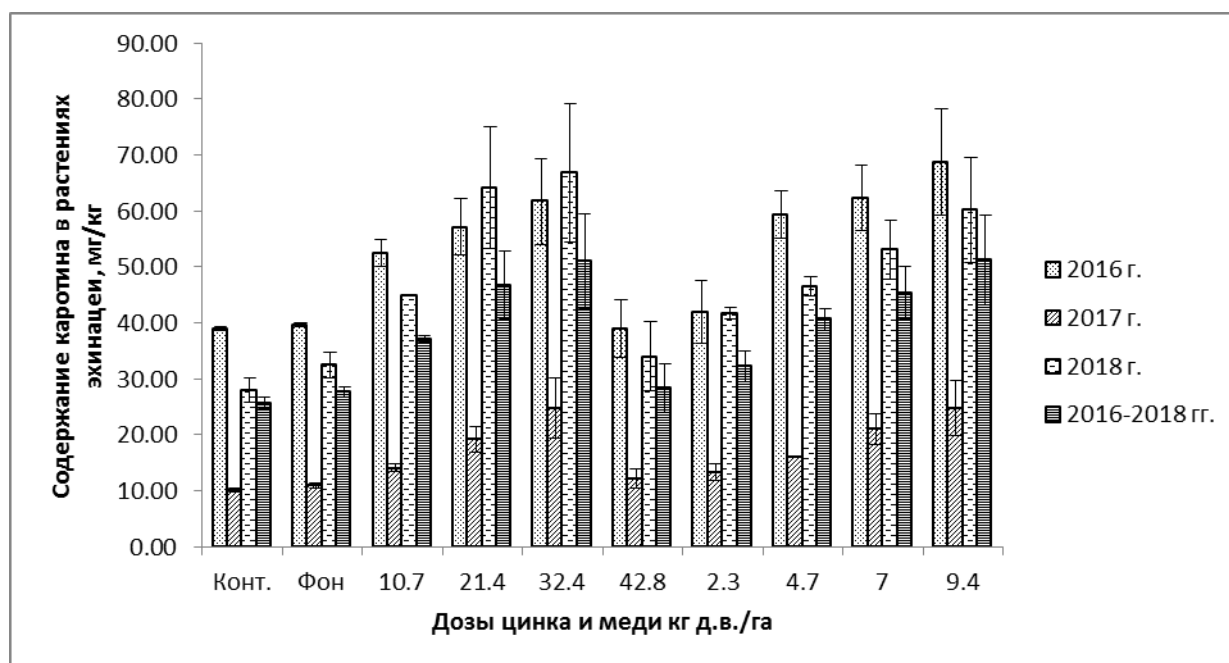


Рисунок 28 – Содержание каротина в эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Таблица 56 – Математическое моделирование биосинтеза каротина в растениях эхинацеи пурпурной с учетом года жизни и оптимальных доз внесенных цинка и меди в почву

Годы жизни	Прогнозирование Каротина, мг/кг	Фактическое содержание, мг/кг	r
Первый 2016г.	$Y_{\text{каротин}} = 0,82 \text{ Zn}_{21,4} + 40,96 = 42,71$ (250)	57,07	r=0,96
	$Y_{\text{каротин}} = 3,35 \text{ Cu}_{9,4} + 38,72 = 70,21$ (251)	68,71	r=0,96
Второй 2017г.	$Y_{\text{каротин}} = 0,39 \text{ Zn}_{21,4} + 10,58 = 18,93$ (252)	19,21	r=0,99
	$Y_{\text{каротин}} = 1,51 \text{ Cu}_{9,4} + 10,15 = 24,34$ (253)	24,78	r=0,99
Третий 2018г.	$Y_{\text{каротин}} = 1,48 \text{ Zn}_{21,4} + 31,3 = 63,0$ (254)	64,15	r=0,99
	$Y_{\text{каротин}} = 2,84 \text{ Cu}_{9,4} + 33,48 = 60,18$ (255)	60,15	r=0,99
Среднее (2016-2018гг.)	$Y_{\text{каротин}} = 0,9 \text{ Zn}_{21,4} + 27,61 = 46,87$ (258)	46,81	r=0,99
	$Y_{\text{каротин}} = 2,56 \text{ Cu}_{9,4} + 27,45 = 51,51$ (259)	51,21	r=0,99

Корреляционно-регрессионный анализ данных по годам роста и развития растений (уравнения 250-259) показал наличие прямолинейной зависимости содержания каротина ($b_{\text{каротин}}$) в растениях эхинацеи пурпурной при использовании оптимальных доз цинковых (21,4 кг/га) и медных (9,4 кг/га) удобрений.

В среднем за годы исследований (2016-2018 гг.) 1 кг Zn и Cu в пределах установленных оптимальных доз (21,4 и 9,4 кг/га) увеличивают концентрацию каротина в лекарственном сырье на 0,9 и 2,56 мг/кг. Установленные коэффициенты действия « $b_{\text{каротин}}$ » позволяют прогнозировать уровень содержания каротина в растениях эхинацеи пурпурной, используя применяемые цинковые и медные удобрения в пределах расчётных оптимальных доз удобрений (уравнения 248-249).

Биологические *экстрактивные вещества* это большая группа соединений, имеющих сложное строение, могут быть: терпенами и их производными, липидами, жирными кислотами, полисахаридами и др., которые свободно извлекаются из сырья в процессе водной экстракции. БЭВ обладают биологической активностью, участвуют в жизнедеятельности растительного организма [25].

Данные по изучению экстрактивных веществ (ЭВ) в растениях эхинацеи пурпурной представлены в таблице 57. Из данных таблицы видно, что применение микроудобрений под эхинацею пурпурную, способствуют накоплению ЭВ в растениях.

Таблица 57 – Содержание экстрактивных веществ (%), в растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Вариант	2016-2018 гг.
Контроль	61,73 ± 0,08
Фон (N ₁₂₅)	58,74 ± 0,59
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	61,63 ± 0,05
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га)	62,06 ± 0,15
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	63,39 ± 0,45
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	64,02 ± 0,59
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	60,44 ± 0,21
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	58,36 ± 0,68
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га)	60,86 ± 0,12
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	62,65 ± 0,28

Примечание: Все различия между опытными контрольными и фонными вариантами статистически значимы при $p < 0,05, n = 10$.

Так внесение цинка от низких (10,7 кг/га) до оптимальных (21,4 кг/га) доз способствовало накоплению экстрактивных веществ в растениях эхинацеи до 62,06%, что превышает содержание на фоновом варианте на 5,6%. Внесение расчетных доз меди также отразилось на концентрации ЭВ. Применение меди в оптимальной дозе 9,4 кг Cu/га увеличивало содержание ЭВ до 62,65 %, что превысило содержание экстрактивных веществ в растениях фонового варианта на 6,6%. В связи с выше изложенным следует отметить, что при накоплении ЭВ эхинацея оказалась отзывчива на применение расчетных доз микроудобрений (Рисунок 29).

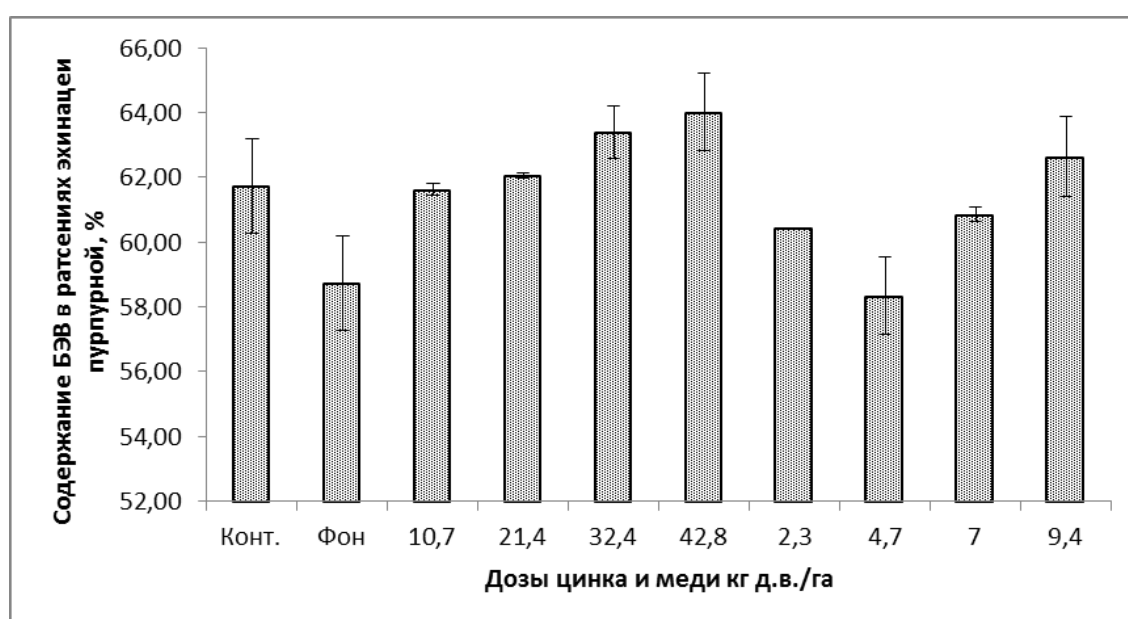


Рисунок 29 – Содержание экстрактивных веществ в сырье эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Таким образом, с помощью использования математического моделирования формирования качества урожая культур, установлена взаимосвязь между содержанием экстрактивных веществ в растениях эхинацеи ($Y_{ЭВ}$) и расчетными дозами цинковых и медных (кг/га) удобрений, (Таблица 58, уравнения 260-261).

Использование полученных уравнений регрессии (260-261), позволяет прогнозировать качество урожая эхинацеи пурпурной.

Таблица 58 – Математические связи содержания экстрактивных веществ в растениях эхинацеи пурпурной с учетом оптимальных доз внесенных цинка и меди в почву

Годы жизни	Прогнозирование экстрактивных веществ, мг%	Фактическое содержание, мг%	r
2016-2018 гг.	$Y_{ЭВ} = 0,115 Zn_{21,4} + 59,2 = 61,66$ (260)	62,06	r=0,95
	$Y_{ЭВ} = 0,35 Cu_{9,4} + 58,57 = 61,86$ (261)	62,65	r=0,75

Полученные уравнения прямолинейной зависимости свидетельствуют о том, что каждый кг цинка и меди внесенный в лугово-черноземную почву способствовал увеличению содержания экстрактивных веществ в растениях эхинацеи на 0,115 и 0,35 % и фактическом содержании 62,06 и 62,65 мг%. Так же использование уравнений 260-261, позволяет выполнять прогноз содержания БЭВ в растениях эхинацеи (61,66 и 61,86 мг%).

Согласно ФС.2.5.0055.15 [263] одним из показателей качества лекарственного сырья эхинацеи пурпурной является сумма фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту, содержание которой должно быть не менее 2,5%.

Цикориевая кислота – является основным компонентом производных оксикоричных кислот. Согласно данным автора К.А. Фарниевой [264] она обладает антимикробными и иммуностимулирующими свойствами, ее содержание в растениях изменяется в зависимости от года жизни культуры, фазы вегетации и продолжительности культивирования. Эти параметры необходимо учитывать при заготовке лекарственного сырья.

Литературные данные свидетельствуют о положительном действии применения азота, марганца и цинка под исследуемую культуру и накоплением цикориевой кислоты [151].

Данные автора К.А. Фарниевой [264] свидетельствуют о том, что среднее содержание цикориевой кислоты в растениях трех лет жизни (2008-2010 г.)

составляет 3,0 %, эти данные близкие с данными полученными в наших многолетних исследованиях.

Данные по изучению в растениях эхинацеи содержания цикориевой кислоты представлены в Таблице 59. Данные таблицы показывают, что применение оптимальных расчетных доз цинковых и медных удобрений под эхинацею, способствуют максимальному накоплению цикориевой кислоты в растениях.

Таблица 59 – Содержание фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту (%), в растениях эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

Вариант	2016-2018 гг.
Контроль	3,1094 ± 0,075
Фон (N ₁₂₅)	2,7516 ± 0,005
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га	2,7347 ± 0,009
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га)	2,9501 ± 0,039
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га	2,8009 ± 0,006
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га	2,6413 ± 0,03
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га	2,6286 ± 0,033
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га	2,6316 ± 0,032
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га)	2,6587 ± 0,026
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га	2,8545 ± 0,018
<i>Примечание: Все различия между опытными и контрольным и фоновым вариантами статистически значимы при p < 0,05, n=10.</i>	

Однократное применение цинковых удобрений от низких (10,7 кг/га) до оптимальных (21,4 кг/га) доз способствовало накоплению цикориевой кислоты в растениях эхинацеи до 2,9501%, что превышает содержание на фоновом варианте на 0,2%. Внесение расчетных доз медных удобрений также отразилось на концентрации цикориевой кислоты растениями данной культуры. Применение Cu в оптимальной дозе (9,4 кг/га) увеличивало содержание цикориевой кислоты до 2,8545 % и превысило ее содержание на фоновом варианте на 0,103%. Таким образом, стоит заключить, что при накоплении цикориевой кислоты эхинацея пурпурная, возделываемая на лугово-черноземной почве Западной Сибири более

отзывчива на применение внесенных цинковых удобрений в оптимальной дозе - 21,4 кг/га (Рисунок 30).

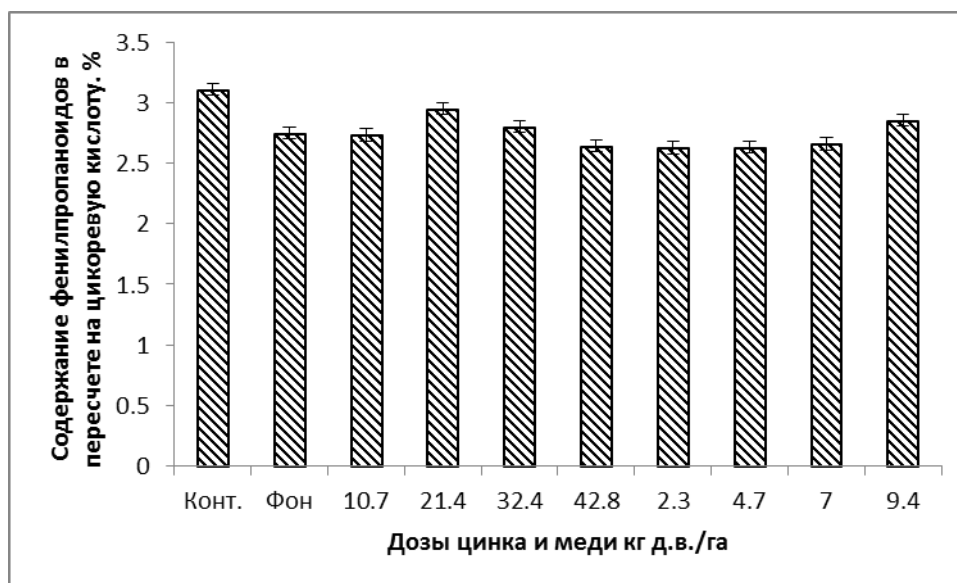


Рисунок 30 – Содержание фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту (%) в сырье эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг.

С помощью методов математического моделирования формирования качества урожая, мы установили связь между содержанием цикориевой кислоты в растениях эхинацеи ($Y_{\text{Цик.к-та}}$) и внесенных расчетных доз цинковых и медных (кг/га) удобрений, (Таблица 60, уравнения 262-263), позволяющих прогнозировать качество урожая данной культуры.

Таблица 60– Математические связи содержания цикориевой кислоты в растениях эхинацеи пурпурной с учетом оптимальных доз внесенных цинка и меди в почву

Годы жизни	Прогнозирование цикориевых кислот, %	Фактическое содержание, %	r
2016 -2018 гг.	$Y_{\text{Цик.к-та}} = 0,009 \text{Zn}_{21,4} + 2,71 = 2,9026$ (262)	2,9501	r=0,83
	$Y_{\text{Цик.к-та}} = 0,0086 \text{Cu}_{9,4}^2 - 0,07 \text{Cu}_{9,4} + 2,75 = 2,8516$ (263)	2,8545	r=0,99

Полученные уравнения прямолинейной и полиномиальной зависимости свидетельствуют о том, что каждый кг цинка и меди внесенный в лугово-

черноземную почву способствовал увеличению содержания цикориевых кислот в растениях эхинацеи на 0,009 и 0,0086 % и фактическом содержании 2,9501 и 2,8545%. Использование уравнений 262-263, позволяет выполнять прогноз содержания цикориевых кислот в данной культуре (2,9026 и 2,8516%).

За три года исследований установлено положительное влияние оптимальных расчетных доз микроудобрений на качество эхинацеи пурпурной. Стоит отметить, что численные значения показателей качества (дубильных веществ, каротина, витамина С, экстрактивных веществ и цикориевой кислоты) выше в вариантах с применением оптимальной дозы меди (9,4 кг/га), что связано с оптимальным уравновешенным питанием данной культуры.

6.2 Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном сырье эхинацеи пурпурной

Согласно ОФС.1.5.1.0001.15 [189] при исследованиях показателей качества эхинацеи пурпурной необходимо определять наличие токсичных элементов в лекарственном сырье таких как : кадмий, мышьяк, ртуть, свинец, так как данные элементы обладают высокой токсичностью и способны к аккумуляции в живых организмах.

Свинец относится к первому классу опасности, представляет наибольшую токсикологическую угрозу для растений [227]. ПДК для свинца для растений составляет 6,0 мг/кг.

Кадмий – токсикант 1 класса опасности, обладает высокой биоаккумуляцией [225]. Отмечается, что он более токсичен для человека, нежели для растений, с этим связана необходимость контроля его содержания в растениеводческой продукции [79].

Ртуть – самый опасный и высокотоксичный элемент (яд), способен накапливаться во всех живых организмах (растение, животное, человек) [226]. Допустимый уровень ртути в растениях составляет 0,1 мг/кг.

Мышьяк является опасным элементом для живых организмов, но присутствует в составе растений. Полностью его биохимическая роль в растениях не изучена, но есть предположения, что его поглощение растениями происходит с водой [33].

В связи с необходимостью в изучении содержания токсичных элементов нами было исследованы растительные образцы эхинацеи пурпурной на определение концентрации кадмия, мышьяка ртути и свинца в период уборки урожая (Таблица 61, Рисунки 31-34).

Таблица 61– Содержание токсичных элементов в растениях эхинацеи пурпурной, в фазу цветения (полевые опыты 2016-2018 гг.)

Элемент, мг/кг	Содержание токсичных элементов			ПДК*
	Фон (N ₁₂₅)	1 ПДК Zn (Zn 42,8 кг/га)	1 ПДК Cu (Cu 9,4 кг/га)	
Cd	0,016±0,001	0,018±0,001	0,018±0,001	1,0
As	0,007±0,003	0,005±0,003	0,008±0,004	0,5
Hg	0,018±0,0072	0,025±0,0070	0,0194±0,0078	0,1
Pb	3,18±0,58	3,32±0,61	3,60±0,66	6,0
<i>Примечание: Предельно-допустимое содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных препаратах.</i>				

Так, внесение цинковых и медных удобрений (Рисунок 31) способствовало незначительному увеличению содержания кадмия (Cd) в растениях от 0,016 на фоне до 0,018 млн⁻¹ при внесении Zn и Cu до ПДК (на 12,5 %).

Применение цинка и меди в дозах 42,8 и 9,4 кг/га (ПДК) способствовало снижению содержания мышьяка (As) до 0,005 и 0,008 мг/кг или 92,9 и 88,6% от фонового варианта – 0,007 мг/кг (Рисунок 32).

Однократное внесение Zn и Cu в максимальных дозах способствовало незначительному накоплению ртути (Hg) в растительных образцах эхинацеи на 0,007 и 0,0014 мг/кг от фонового варианта 0,018 мг/кг (Рисунок 33).

Согласно данным таблице 61 и рисунку 34 микроэлементы в максимальных дозах способствовали поступлению свинца (Pb) в сырье данной культуры. Так 1 ПДК цинка и меди увеличивал содержание свинца на 0,14 и 0,42 млн⁻¹ или на 4,4 и 13,2%.

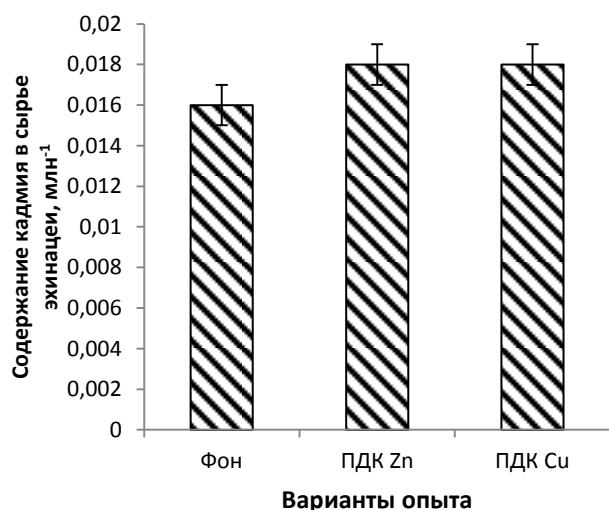


Рисунок 31 – Содержание Cd в сырье эхинацеи (2016-2018 гг.)

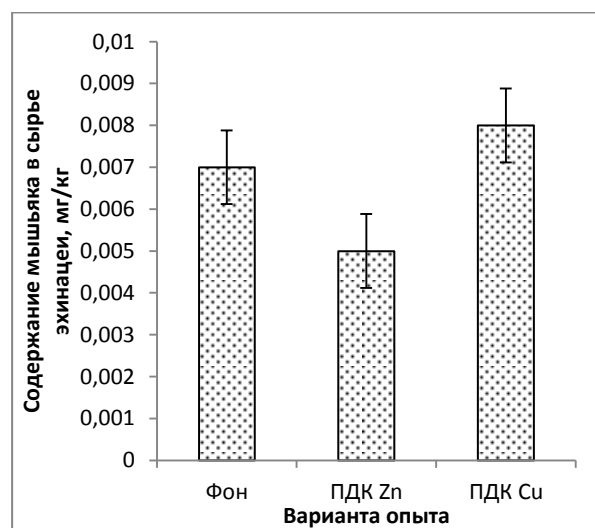


Рисунок 32 – Содержание As в сырье эхинацеи (2016-2018 гг.)

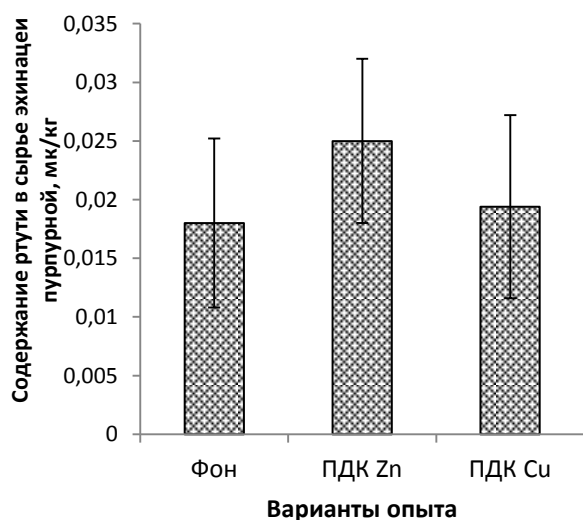


Рисунок 33 – Содержание Hg в сырье эхинацеи (2016-2018 гг.)

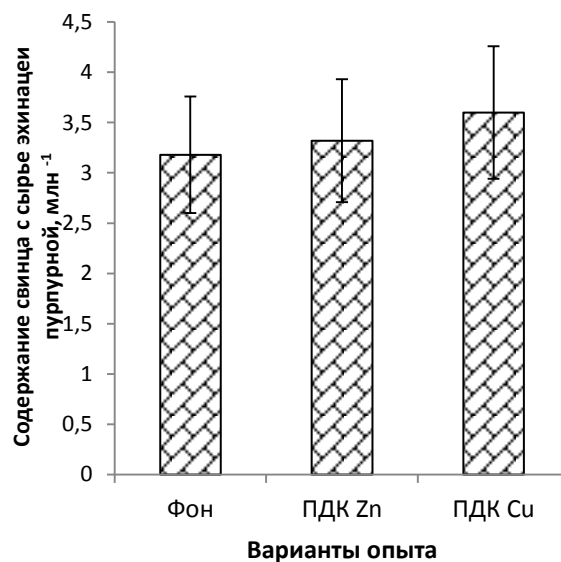


Рисунок 34 – Содержание Pb в сырье эхинацеи (2016-2018 гг.)

Таким образом, установлено, что однократно внесённые цинковые и медные удобрения в лугово-черноземную почву под эхинацею пурпурную в пределах максимальных расчетных доз способствуют незначительному увеличению содержания токсичных элементов в растениях эхинацеи пурпурной и не превышает ПДК. Следовательно, стоит заключить, что действие удобрений в пределах установленных оптимальных доз цинка и меди также не приводит к сильному накоплению Cd, As, Hg, Pb в растениях эхинацеи пурпурной.

Согласно представленным экспериментальным данным применение микроэлементов (цинка и меди) даже в высоких максимальных дозах 1 ПДК под

эхинацею пурпурную, способствовало небольшому увеличению содержания токсичных элементов в сырье, но не превышала установленные уровни.

Согласно ОФС.1.5.1.0001.15 [189] при изучении качества эхинацеи пурпурной необходимо исследование лекарственного сырья на наличие остаточных количеств пестицидов и радионуклидов. В своих исследованиях данные показатели мы не определяли, так как при выращивании лекарственных растений эхинацеи пестициды не использовали.

Таким образом, применение цинка и меди под лекарственное растение эхинацею пурпурную с использованием комплексного метода Ю.И. Ермохина «ПРОД» оказывает положительное действие на биосинтез биологически активных веществ в растительном сырье, следовательно, повышает качество исследуемой лекарственной культуры.

7 БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОД ЭХИНАЦЕЮ ПУРПУРНУЮ

Эффективность возделывания сельскохозяйственных, в том числе лекарственных культур определяется стремлением производства к получению максимального урожая при минимальных трудовых денежных затратах.

Приёмы и мероприятия, используемые во всех отраслях, в том числе и в сельском хозяйстве, должны быть экономически выгодны и энергетически целесообразны. Интенсивность развития сельского хозяйства напрямую зависит от роста затрат на невозобновляемую энергию. В связи с этим является важным создание и использование технологий интродукции растениеводческой продукции с минимальными энергозатратами [94, 198].

Наибольшую актуальность в последнее время приобретает проблема снижения энергозатрат для производства продукции сельскохозяйственного назначения, а, следовательно, и на воспроизводство почвенного плодородия. Увеличение затрат объёмов применяемых удобрений связано с ростом продуктивности земледелия, интенсификацией сельскохозяйственного производства. В приросте урожая доля удельного веса удобрений достигает 40-50% [176].

Под энергетической эффективностью понимают связь и соотношения между собой различных показателей (биологическая энергия биомассы урожая, затраты на выращивание, уборку сельскохозяйственных культур и др.). Рассчитать, возможно, по нескольким показателям, с помощью которых выделить фазы вегетации культур, нормы и способы внесения удобрений, для конкретных почвенно-климатических условий.

Существует прямая зависимость между увеличением доз применяемых минеральных удобрений их вида и соотношения и энергозатратами.

Биологическая энергетическая оценка даёт возможность количественной

оценке энергетической стоимости полученной продукции и служит показателем энергетической эффективности сельскохозяйственного производства [113].

Для определения энергетической эффективности применяемых ацетатов цинка и меди использовалась разработанная методика по Ю.И. Ермохину и А.Ф. Неклюдову [113].

Энергетическую эффективность внесенных расчетных доз цинковых и медных удобрений определяли путем математического расчета. Для этого использовали некоторые показатели: 1) аккумулированная энергия в надземной биомассе растений от применения Zn и Cu (приходная часть); 2) технологические энергетические затраты (расходная часть).

Величину энергии (V_{f0}), содержащуюся в надземной и подземной биомассе лекарственной культуры, полученной от внесенных ацетатов цинковых и медных удобрений, определяли, используя математическую формулу (262) [113]:

$$V_{f0} \text{ (МДж/га)} = Y_{п} \text{ (ц/га)} \cdot L \text{ (МДж)} \cdot 100; \quad (262)$$

где $Y_{п}$ – полученная прибавка лекарственного сырья на удобренных вариантах опыта;

L – количество общей энергии в 1 кг сухого вещества полученного урожая;

100 – коэффициент перевода в кг.

В проведенных многолетних полевых исследованиях наибольшая средняя прибавка урожая биомассы эхинацеи получилась при внесении следующих доз цинка и меди по фону N_{125} : 0,50 ПДК Zn 21,4 кг/га (1,7 т/га) и ПДК Cu 9,4 кг/га (5,0 т/га). Наибольшая прибавка корневищ эхинацеи пурпурной отмечается при дозе внесения 0,50 ПДК Zn (2,1 т/га) и ПДК Cu (4,7 т/га). Общая прибавка урожая растений эхинацеи пурпурной (надземная и подземная биомасса) на этих вариантах составляет 7,2 и 19,6 т/га соответственно.

Энергозатраты (A_0 , МДж) связанные с внесением макро- и микроудобрений, а также включая затраты на уборку культуры рассчитываются по математической формуле предложенной Ю.И. Ермохиным и А.Ф. Неклюдовым [113] (263):

$$A_0 = (h_N * a) + (h_{Zn} * a) + (h_{Cu} * a) + (Y_{п} * a_{уборки}) + h_{ф.в.} * a_{внесение} \quad (263)$$

где h_N, h_{Zn}, h_{Cu} – расчетные дозы внесенных минеральных удобрений, кг д.в./га;
 U_{II} – прибавка биомассы растений от использования микроудобрений, ц/га;
 $h_{ф.в.}$ – внесенные дозы азота, цинка и меди, ц/га;
 $a_{уб}, a_{вн}$ – энергетические затраты на применение удобрений и уборку культуры, МДж;
 a_N, a_{Zn}, a_{Cu} – энергетические затраты в пересчете на один кг д.в. удобрений.

Для расчёта биоэнергетической эффективности использования микроудобрений использовали математическую формулу 264, предложенную Ю.И. Ермохиным и А.Ф. Неклюдовым [113]. Результаты расчетов биоэнергетического КПД представлены в таблице 62.

$$\eta = V_{ф0} / A_0 \quad (264)$$

где $V_{ф0}$ – энергия прибавки урожая, полученная от внесения удобрений, МДж/га;
 A_0 – энергетические затраты на использование макро- и микроудобрений, МДж.

Таблица 62 – Энергетическая эффективность использования минеральных удобрений при возделывании эхинацеи пурпурной (2016-2018 гг.)

Показатели, влияющие на эффективность	Оптимальные дозы микроудобрений			
	Zn 21,4 кг д.в./га (0,50 ПДК Zn)		Cu 9,4 кг д.в./га (1.0 ПДК Cu)	
	Средняя урожайность	Общая урожайность	Средняя урожайность	Общая урожайность
Прибавка урожая, т/га	1,7/2,1	7,2	5,0/4,7	19,6
Количество энергии ($V_{ф0}$, МДж/га) под влиянием микроудобрений	32 147/39 711	136 152	94 550/88 877	370 636
Энергетические затраты за 3 года исследований (A_0 , МДж)	9 123/9 654	12 785	4 225/4 644	12 807
Биоэнергетическая эффективность (КПД – η , ед.)	3,52/4,11	10,6	22,38/19,14	28,9

Примечание: в числителе – биомасса эхинацеи, в знаменателе – корневища эхинацеи

Результаты проведенных исследований в течение трех лет свидетельствуют о том, что внесение расчетных доз медных и цинковых удобрений в лугово-черноземную почву в оптимальных дозировках под лекарственную культуру эхинацею пурпурную энергетически эффективно, так как рассчитанный КПД >1 .

Использование полученных данных об энергетической эффективности, полученных при внесении цинковых и медных удобрений позволяет давать полную и объективную оценку системы применения микроудобрений на всех этапах производства, связанных с выращиванием эхинацеи пурпурной.

Согласно данным таблицы 62, в проведенных полевых опытах установлено, что наиболее энергетически эффективно (КПД 22,38/19,14) применение оптимальных доз Cu (9,4 кг/га). В целом за годы исследований КПД равен 28,9 ед., что превышает в 2,7 раз данные вариантов с цинковыми удобрениями. Применение цинковых удобрений в дозе 21,4 кг/га на азотном фоне КПД на единицу затрат в среднем за годы исследований составляет 3,52 ед, за три года проведенных исследований – 10,6 ед.

Для того, чтобы давать рекомендации по использованию в производстве установленных в настоящих исследованиях оптимальных доз микроудобрений, необходимо сделать экономическое обоснование.

Используя полученные данные прибавок урожайности лекарственного сырья, цен установленных Российскими фармацевтическими заводами становится возможным расчёт экономической эффективности применения цинка и меди на лугово-черноземной почве. Это позволит установить рентабельность затрат в полученную прибавку лекарственного сырья от однократного применения цинка и меди.

Цена 1 кг биомассы сухого вещества растений эхинацеи равна 150 рублей (150 тыс. за 1 т), стоимость 1 кг корневищ равна 400 рублей (400 тыс. за 1т). Расходы на закупку микроудобрений (ацетатов) составили в 2016 г. – цинковые – 655 руб./кг, медные – 455 руб./кг, аммиачная селитра – 21 руб./кг. Расходы на приобретение семенного материала лекарственного растения составили – 3100 рублей.

В таблице 63 представлены данные расчета экономической эффективности однократно внесенных оптимальных доз меди – 9,4 кг/га и цинка – 21,4 кг/га под эхинацею пурпурную.

Таблица 63 – Экономическая эффективность применения цинка и меди под эхинацею пурпурную, полевые опыты 2016-2018 гг.

Оптимальные дозы микроудобрений	Прибавка урожая, т/га	Затраты на применение меди и цинка, руб./га	Цена реализации, руб./т	Общая стоимость прибавок урожайности культуры, руб./га	Чистый доход от использования ацетата меди и цинка, с1 га	Доля урожайности, %	Рентабельность, %
Cu 9,4 кг дв/га (1,0 ПДК Cu)	5,04,7*	39193	150 тыс./ 400 тыс.	750 тыс./1 880 тыс.	710 807/ 1 840 807	37,9/-	1813/4966
Zn 21,4 кг дв/га (0,50 ПДК Zn)	1,7,2,1*	54888	150 тыс./ 400 тыс.	255 тыс./840 тыс.	200 112/ 785 112	17,2/-	365/1430

*Примечание: * в числителе – биомасса эхинацеи, в знаменателе – корневища эхинацеи.*

Из представленных данных (Таблица 63), следует, что при использовании цинка и меди в рекомендуемых нами дозах на азотном фоне можно получать до 710 тыс. от ПДК Cu (9,4 кг/га) и до 200 тыс. от 0,5 ПДК Zn (21,4 кг/га) от реализации культуры и до 1 840 тыс./руб. от ПДК Cu (9,4 кг/га) от реализации корневищ, рублей с 1 га чистого дохода. При этом рентабельность применения цинковых и медных удобрений разная, при внесении Zn – 365 / 1430, при внесении Cu – 1813 / 4969 %. Доля урожайности эхинацеи пурпурной за счет применения цинка 17,2 и меди составляет от 37,9 %.

Таким образом, результаты расчетов экономической и биоэнергетической эффективности использования ацетатов микроудобрений позволил реально и в полном объеме оценить рентабельность внесения медных удобрений при возделывании лекарственной культуры в условиях южной лесостепи Западной Сибири на лугово-черноземной почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате исследований в 2016-2018 гг. было установлено влияние цинковых и медных удобрений на величину урожая лекарственного сырья эхинацеи пурпурной сорта Знахарь на лугово-черноземной почве юга Западной Сибири: максимальная урожайность биомассы 9,9 и 13,2 т/га абсолютно сухого вещества получены при разовом внесении цинка и меди в дозах 21,4 кг д.в./га (0,5 ПДК Zn) и 9,4 кг д.в./га (1 ПДК Cu), соответственно.

2. По результатам проведенных полевых и лабораторных исследований выявлены количественные характеристики интенсивности действия 1 кг Zn, Cu («b» – 0,34 и 2,13, т/га) на величину формирования биомассы. Предложены математические формулы (18-19) с целью прогноза общей урожайности эхинацеи пурпурной и в дальнейшем расчета доз микроудобрений на планируемый урожай (ПУ т/га) по формулам (22-23): $DZn = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 0,34$ кг/га (22), $DCu = (ПУ_{т/га} - ФУ_{т/га}) / 2,13$ кг/га (23).

3. Установлены нормативные характеристики действия 1 кг Zn, Cu /га на концентрацию подвижных форм исследуемых микроэлементов в диагностическом слое лугово-черноземной почвы («b» = 0,234 мгZn/кг и 0,017 мг Cu/кг). Полученные данные позволили определить оптимальный уровень элементов для конкретной почвы слоя 0-30 см при внесении оптимальных расчетных доз элементов: $Zn_{подв.} - 7,4$ мг/кг $Cu_{подв.} - 0,41$ мг/кг.

4. Получены математические связи о синергическом влиянии меди и цинка на содержание и соотношение данных элементов в почве. Каждый килограмм внесенного цинкового и медного удобрения в почву увеличивал содержание цинка (« b_{Zn} ») и меди (« b_{Cu} ») в почве, по годам жизни эхинацеи пурпурной (2016-2018 гг.). В среднем за годы проведенных исследований выявлены коэффициенты интенсивности действия для меди « b_{Cu} » равен 0,004 мг/кг (уравнение 45), для цинка « b_{Zn} » составил 0,55 мг/кг (уравнение 41). Однократное применение медных удобрений в оптимальной дозе (ПДК Cu – 9,4

кг/га) оптимальное содержание $Zn_{\text{опт}}$ в почве составляет 6,8 мгZn/кг почвы. Оптимальное содержание меди при внесении оптимальной дозы цинка (0,5 ПДК Zn – 21,4 кг/га) в среднем за годы исследований составляет 0,35 мг/кг. Данные оптимальные нормативные характеристики почвенной диагностики цинкового и медного питания эхинацеи пурпурной могут служить критериями оценки потребности в подвижном Zn и Cu почвы в зависимости от года жизни культуры.

5. Установлены оптимальные уровни ($N-NO_3 - 20$, $P_2O_5 - 93$, $K_2O - 178$, $Cu - 0,41$, $Zn - 6,8$ мг/кг) и ионное равновесие концентрации (P_2O_5 мг/кг $\approx 4.6 N-NO_3$ мг/кг $\approx 0.5 K_2O$ мг/кг $\approx 13.5 Zn$ мг/кг $\approx 224 Cu$ мг/кг.) макро- и микроэлементов в диагностическом слое лугово-черноземной почвы под лекарственной культурой эхинацеей пурпурной.

6. Исследования показали, что при применении расчетных доз меди в почву до оптимальных уровней (ПДК Cu – 9,4 кг/га), « b_{Zn} » – коэффициент интенсивности действия каждого килограмма Cu в растениях изменяется от 0,476 до 1,66 мг Zn/кг растений. В среднем за годы жизни культуры (« b_{Zn} ») равен 1,26 мг/кг. Полученным математические уравнения регрессии (135-138) позволяют спрогнозировать уровень оптимального питания цинком в фазу цветения – 17,1 мг/кг (при фактической ошибке прогноза Zn в растениях 0,4 мг/кг).

На вариантах опыта с внесением ацетата цинка (21,4 кг Zn /га) под исследуемую культуру, « b_{Cu} » – коэффициент интенсивности действия 1 кг внесенного ацетата цинка на растения низкий, в среднем 0,03 мг/кг, что связано с более высокой концентрацией Zn в растениях – 12,7 мг Zn /кг и с низким уровнем поступления в растения меди (2,66 мг/кг). При внесении оптимальной дозы цинка урожайность лекарственной культуры была ниже (9,9 т/га), чем при сбалансированном медно-цинковом питании (13,2 т/га).

7. Определены агрохимические нормативные характеристики при оптимальном сбалансированном питании эхинацеи пурпурной: ПЭУ, % (показатель эффективности микроудобрений): цинка – 1,07, меди – 0,274; азот мобилизации в почве под растением $N_m - 265,4$ кг/га; КИУ, % (коэффициент

использования удобрений из почвы) – N – 75,0; Cu – 4,57; Zn – 1,08; P₂O₅ – 14,7; K₂O – 58%.

8. С помощью математического моделирования (уравнения 198, 200, 202) установлены уровни оптимального питания эхинацеи пурпурной неорганическими формами азота (N_н – 118, мг%), фосфора (P_н – 15, мг%) и калия (K_с – 273, мг%) в листьях фазы цветения и сбалансированным медным питанием : N_н ≈ 7.9 P_н ≈ 0.1 K_с.

9. Оптимальное уравновешенное питание эхинацеи пурпурной способствует образованию конечной продукции надлежащего качества. Установлены взаимосвязи между внесенными расчетными дозами ацетатных микроудобрений и показателями качества растительного лекарственного сырья в определяемых в фазу цветения (концентрация витаминов А и С, танидов, экстрактивных веществ).

Математическое моделирование формирования качества урожая позволило выявить зависимость между внесенными дозами медных и цинковых удобрений и прогнозировать в фазу цветения качество эхинацеи пурпурной: дубильные вещества (уравнения 240-241), аскорбиновая кислота (уравнения 248-249), каротин (уравнения 258-259), ЭВ (уравнения 260-261), цикориевой кислоты (уравнения 262-263).

Применение меди и цинка в максимальных дозах (ПДК) на лугово-черноземной почве под эхинацею пурпурную не способствовали увеличению содержания токсичных элементов (Cd, As, Pb, Hg) в лекарственном растении.

10. Расчет биоэнергетической и экономической эффективности использования ацетатов показал, что внесение медных удобрений на фоне азотного питания рентабельно. Так, максимальный полученный КПД – 22,38 и 19,14 ед. энергии получен от прибавок урожайности надземной биомассы и корневищ лекарственной от однократно внесенных расчетных доз 1,0 ПДК медных удобрений.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью получения высокой урожайности и качества лекарственного сырья эхинацеи пурпурной возделываемой на лугово-черноземной почве, применение медных и цинковых удобрений необходимо осуществлять, используя принципы «ИСПРОД» (интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики):

- внесение установленной оптимальной дозы меди в почву под эхинацею пурпурную (1 ПДК Cu – 9,4 кг/га), за три года жизни культуры увеличивает ее урожайность («вт/га») на 5 т/га, способствует формированию общей средней урожайности биомассы сырья – 13,2 т/га.

- оптимальное содержание подвижного Zn и Cu в диагностическом слое (0-30 см) лугово-черноземной почвы – 6,8 и 0,41 мг/кг.

- оптимальное соотношение между Zn и Cu в почве составляет – 16.6.

- формула расчета доз медных удобрений по оптимальному химическому уровню состава почвы: $D_{Cu} = (Э_о - Э_ф) / 0,017$.

- оптимальные уровни содержания цинка и меди в растениях эхинацеи (фаза цветения) – 17,1 и 4,3 мг/кг. Соотношения цинка и меди в растениях эхинацеи пурпурной: $Zn \approx 4.0 Cu$.

- формула расчета доз меди по оптимальному уровню химического состава растений: $D = (Cu_{opt} - Cu_{ф}) / «b»$, кг/га.

- уравнения прогноза качества урожая эхинацеи пурпурной при внесении оптимальной дозы меди, кг/га: $Y_{Дуб. вет-в} = 0,41 Cu_{кг} + 11,8$; $Y_{Аск. к-та} = 0,30 Cu_{кг} + 3,13$; $Y_{Каротин} = 2,56 Cu_{кг} + 27,45$; $Y_{ЭВ} = 0,35 Cu_{кг} + 58,57$; $Y_{Цик.к-та} = 0,0086 Cu_{кг} + 9,42 - 0,07 Cu_{кг} + 2,75$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы дальнейшей разработки темы исследований будут направлены на изучение влияния других микроэлементов (марганца, молибдена, селена и др.), находящихся в минимуме в почвах Западно-Сибирского региона, на урожайность и качество перспективной лекарственной культуры – эхинацеи пурпурной. Дальнейшее исследование будет направлено на расширение определяемых микроэлементов в почве и лекарственном сырье, что позволит выявить взаимовлияние одних элементов на другие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аббас, Д. А. Соединения тяжёлых металлов в организме овец в промышленном и сельскохозяйственном регионах Ирака / Д. А. Аббас. – Ветеринария. – 1991. – № 8. – С.58–60.
- 2 Авдонин, Н. С. Научные основы применения удобрений / Н. С. Авдонин. – Москва: Колос, 1972. – 320 с.
- 3 Агеев, В. А. Содержание меди и молибдена в дерново-подзолистых почвах Омского Прииртышья и отзывчивость яровой пшеницы на микроэлементы : 06.01.04 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Агеев Валерий Александрович. – Омск, 1980. – 16 с.
- 4 Агроклиматические ресурсы Омской области. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 187 с.
- 5 Азаренко, Ю. А. Бор в почвах солонцовых комплексов лесостепи Западной Сибири и влияние его на растения : 06.01.04 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Азаренко Юлия Александровна. – Омск, 1998. – 18 с.
- 6 Азаренко, Ю. А. Закономерности содержания, распределения взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга западной Сибири / Ю. А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.
- 7 Азаренко, Ю. А. Микроэлементы (Mn, Cu, Zn, Co, Mo) в системе «почва-растение» и оптимизация их применения в агроценозах Омского Прииртышья» : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Азаренко Юлия Александровна. – Новосибирск, 2020. – 424 с.
- 8 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.
- 9 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.

- 10 Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 140 с.
- 11 Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – Москва: Логос, 2000. – 627 с.
- 12 Ананян, В. Л. Влияние удобрений на накопление стабильного стронция растениями горных лугов Армении / В. Л. Ананян, Г. А. Саркисян, Л. А. Аранян // Агрохимия. – 1981. – № 2. – С. 125–130.
- 13 Андреева, И. В. Влияние некорневого поступления никеля на его содержание в растениях овса / И. В. Андреева, В. В. Говорина // Бюл. ВИУА, 2000. – №115. – С. 113–114.
- 14 Андриенко, Л. Н. Биоэнергетическая оценка использования микроэлементов в условиях лугово-черноземных почв Омской области / Л. Н. Андриенко // Научные инновации – аграрному производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию юбилею Омского ГАУ, 21 февр. 2018 г.– Омск, 2018. – С. 46–50.
- 15 Андриенко, Л. Н. Диагностика потребности корнеплодов в цинке, никеле, кадмии на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья : 06.01.04 : дис. ... канд. с.-х. наук / Андриенко Лидия Николаевна. – Омск, 2006. – 182 с.
- 16 Аникина, А. П. Динамика подвижного бора в серой лесной и дерново-подзолистой почвах / А. П. Аникина // Микроэлементы в почвах, растительности и водах южной части Западной Сибири / под ред. Р. В. Ковалева. – Новосибирск, 1971. – С. 63–70.
- 17 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.
- 18 Анспок, П. И. Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – Ленинград: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
- 19 Антипов, В. И. Эффективность регуляторов роста и микроудобрений на продуктивность и качество сырья лекарственных растений в Среднем Поволжье

(Самарская область) : 06.01.09 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Антипов Виктор Иванович. – Кинель, 2009. – 23 с.

20 Аристархов, А. Н. Состояние и динамика содержания подвижных форм микроэлементов в почвах России / А. Н. Аристархов // Материалы докл. XI съезда общ-ва почвоведов им. В. В. Докучаева. Всерос. с междунар. участием науч. конф. «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования, (Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г.). – Петрозаводск, 2012. – С. 274–295.

21 Арнон, Д. Микроэлементы / Д. Арнон. – Москва, 1962. – С.9–49.

22 Аштаб, И. В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности / И. В. Аштаб // Агрохимия, 1994. – № 11. – С. 116–128.

23 Бабаева, Е. В. Биологические особенности развития эхинацеи пурпурной в условиях Московской области / Е. В. Бабаева, Г. И. Климахин // Тр. I Всерос. конф. по ботан. ресурсоведению. – Санкт-Петербург, 1996. – С. 132–133.

24 Бабаева, Е. Ю. Урожай и микроэлементный состав надземной части эхинацеи пурпурной при предпосевной обработке семян марганцем и цинком / Е. Ю. Бабаева // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. – Москва, 2003. – Вып. 8. – С. 22–29.

25 Бабкин, В. А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования / В. А. Бабкин // Инноватика и экспертиза. – 2017. – № 2. – С. 210–224.

26 Барсукова, В. С. Влияние избытка никеля на элементный состав контрастных по устойчивости к нему сортов пшеницы / В. С. Барсукова, О. И. Гамзикова // Агрохимия, 1999. – № 1. – С. 80–85.

27 Бахнов, В. К. Содержание микроэлементов меди и марганца в торфяных почвах Барабинской низменности / В. К. Бахнов // Микроэлементы в почвах, растительности и водах южной части Западной Сибири / под ред. Р. В. Ковалева. – Новосибирск, 1971. – С. 17–27.

- 28 Башкин, В. Н. Агрогеохимия азота / В. Н. Башкин. – Пушино: НЦБИ АН СССР, 1987. – 270 с.
- 29 Беляева, Т. Н. Интродукция *Echinacea purpurea* (L.) Moench в Сибирском ботаническом саду / Т. Н. Беляева, Р. И. Лещук, Л. А. Малахова // С эхинацеей в третье тысячелетие: Материалы Междунар. науч. конф., 7–10 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 13–18.
- 30 Беляева, Т. Н. Итоги интродукции некоторых видов и сортов эхинацеи в Западной Сибири / Т. Н. Беляева // Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям. Материалы третьей междунар. науч. – практ. интернет-конф., 15–16 мая 2014 г. – Полтава, 2014. – С. 29–32.
- 31 Березнегольская, Л. Н. Содержание витамина С в лекарственных растениях, культивируемых в Западной Сибири (г. Томск) / Л. Н. Березнегольская, З. И. Чеснокова // Новые лекарственные растения Сибири, их лечебные препараты и применение. – Томск, 1959. – Вып. 5. – С. 26.
- 32 Берестецкий, О. А. Азотфиксирующая активность в ризосфере и на корнях небобовых растений / О. А. Берестецкий, Л. Ф. Васюк // Известия АН СССР. Серия Биология. – 1983. – № 1. – С. 44–50.
- 33 Биоэкологические особенности выращивания пряно-ароматических лекарственных растений / А. А. Аутко [и др.]. – Минск: Тонпик, 2003. – 160 с.
- 34 Бобко, Е. В. Избранные сочинения / Е. В. Бобко. – Москва, 1963. – С. 339–340.
- 35 Бобренко, И. А. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая сорговых культур на черноземах Западной Сибири : 06.01.04 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Бобренко Игорь Александрович. – Омск, 1997. – 18 с.
- 36 Бобылева-Бондарева, В. Р. К вопросу о механизме противокариозного действия фтора и стронция / В. Р. Бобылева-Бондарева // Стоматология, 1959.– № 4.– С. 12–14.
- 37 Бойко, В. С. К вопросу о сроках уборки сырья эхинацеи пурпурной. Изучение и использование эхинацеи / В. С. Бойко // Материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 62–63.

- 38 Бойко, В. С. Эффективность прикорневых подкормок эхинацеи пурпурной на посевах 2-го года вегетации./ В. С. Бойко // Материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 60–62.
- 39 Бойко, В. Ю. Основное удобрение эхинацеи пурпурной. Влияние на урожай и его качество / В. Ю. Бойко // Материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 58–60.
- 40 Бойченко, Е. А. Соединения металлов в эволюции растений в биосфере / Е. А. Бойченко // Известия АН СССР. Серия Биология. – 1976. – № 3. – С. 378–385.
- 41 Бокова, М. И. Биологические особенности растений и почвенные условия, определяющие переход тяжёлых металлов в растения на техногенно-загрязнённой территории / М. И. Бокова, А. Н. Ратников // Химия в сельском хозяйстве. – 1995.– № 5. – С. 15–16.
- 42 Болдырев, Н. К. Анализ листьев как метод определения потребности растений в удобрениях / Н. К. Болдырев. – Омск, 1970. – 125 с.
- 43 Болдырев, Н. К. Зависимость между химическим составом листьев, урожаем и качеством зерна яровой пшеницы в связи с применением удобрений / Н. К. Болдырев // Доклады АН СССР. – 1959. – № 4. – С. 886–890.
- 44 Болдырев, Н. К. Комплексный метод листовой диагностики условий питания, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 0.6.533 / Болдырев Николай Константинович. – Москва, 1972. – 48 с.
- 45 Болдышева, Е. П. Эффективность обработки семян медью, цинком и марганцем при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве в условиях Западной Сибири / Е. П. Болдышева, И. А. Бобренко, Н. В. Гоман // Омский научный вестник. – 2015. – № 1. – С. 142–144.
- 46 Болотина, Н. И. Роль нитрификации в плодородии мощных типичных черноземов / Н.И. Болотина // Агрохимия. – 1968. – № 4. – С.16–26.
- 47 Бородулина, И. В. Применение адаптогенов в птицеводстве / И. В. Бородулина // Студенческая наука – взгляд в будущее: материалы Всерос. студ. науч. конф.– Красноярск, 2006. – Ч. 1. – С. 248–249.

- 48 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 РАН, 2011. – № 1. – С. 31–35.
- 49 Васюк, Л. Ф. Азотфиксирующие микроорганизмы на корнях небобовых растений и их практическое использование / Л. Ф. Васюк // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – Москва, 1989. – С. 88–98.
- 50 Верниченко, И. В. Устойчивость яровой пшеницы к засухе в зависимости от обеспеченности растений азотом, молибденом и цинком / И. В. Верниченко, И. Захурул // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. – № 5 – С. 39–45.
- 51 Взаимодействие фосфора и тяжелых металлов (цинка и кадмия) в системе торфяная низинная почва – растение / М. А. Ефремов [и др.] // Гумус и почвообразование: сб. науч. тр. – Санкт-Петербург, 2009.– С. 67–71.
- 52 Виноградов, А. П. Биогеохимические провинции / А. П. Виноградов // Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. – Москва, 1993. – С. 145–166.
- 53 Влияние загрязнения тяжелыми металлами на содержание в черноземе обыкновенном подвижных форм азота и фосфора / С. И. Колесников [и др.] // Агрохимия. – 1999. – № 2. – С. 73–78.
- 54 Влияние некорневых подкормок азотом, марганцем и цинком на продуктивность и качество сырья эхинацеи пурпурной / Е. Ю. Бабаева [и др.] // Изучение и использование эхинацеи. Материалы международ. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г.– Полтава, 1998. – С. 51–55.
- 55 Влияние некоторых удобрений («Белогор», «Лигногумат» и «Покон») на урожайность эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench.) и отдельные показатели чернозема обыкновенного / Л. Ю. Гончарова [и др.] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2012. – № 4. – С. 62–65.

- 56 Влияние химизации земледелия на содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – Москва, ЦИНАО, 1988. – 175 с.
- 57 Волков, А. В. Эффективность применения различных способов, форм и доз цинковых удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах : 06.01.04 : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Волков Алексей Владимирович. – Москва, 2015. – 26 с.
- 58 Гамзиков, Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. – Москва: Наука, 1981. – 267 с.
- 59 Гамзиков, Г. П. Баланс и превращение азота удобрений / Г. П. Гамзиков, Г. И. Кострик, В. Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 161 с.
- 60 Гамзиков, Г. П. Содержание микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co) в почвах Омской области и отзывчивость бобовых на микроудобрения : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Гамзиков Геннадий Павлович. – Омск, 1967. – 20 с.
- 61 Гаммерман, А. Ф. Лекарственные растения (Растения-целители) / А. Ф. Гаммерман, Г. Н. Кадаев, А. А. Яценко-Хмелевский. – Москва: Высшая школа, 1990. – 544с.
- 62 Гиниятуллин, Р.Х. Интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов в органах березы повислой (*BETULA PENDULA* ROTH.) в условиях промышленного загрязнения / Р.Х. Гиниятуллин, А.Х. Ибрагимова // Лесной вестник. – 2016. – №2. – С.74-80.
- 63 Гладышев, В. П. Методологическое значение исследований земного и космического вещества в растительном пищевом сырье / В. П. Гладышев, С. В. Ковалева, Н. Р. Нуриахметова // Вестник ТГПУ, 2003. – № 4. – С. 50–52.
- 64 Глухов, А. В. Биологические особенности *Echinacea purpurea* (L.) Moench в рудеральном сообществе на юго-востоке Украины / А. В. Глухов, Н. П. Купенко, Т. А. Журавель // Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту. – 2002. – № 1. – С. 39–40.
- 65 Головкин, Б. Н. Декоративные растения СССР / Б. Н. Головкин, Л. А. Китаева, Э. П. Немченко. – Москва: Мысль, 1986. – 320 с.

- 66 Горченко, Д. В. Изучение антимикробных свойств настойки эхинацеи пурпурной / Д. В. Горченко // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 160–163.
- 67 ГОСТ 13496.17-19 Корма. Методы определения каротина. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 8с.
- 68 ГОСТ 13496.4-19 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 15 с.
- 69 ГОСТ 24027-2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. – Москва, 1999. – С. 119–126.
- 70 ГОСТ 26204-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
- 71 ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. – Минск: Изд-во стандартов, 1997. – 10 с.
- 72 ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 12 с.
- 73 ГОСТ 30504-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 8 с.
- 74 ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. – [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума Кодекс. – Санкт-Петербург, 2013. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095394> (дата обращения: 05.05.2021).
- 75 ГОСТ 34427-2018. Продукты пищевые и корма для животных. Определение ртути методом атомно-адсорбционной спектроскопии на основе эффекта Зеемана. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 15 с.

- 76 Государственная фармакопея СССР. Общие методы анализа. – Москва: Медицина, 1987. – Вып. 1. – 328 с.
- 77 Губин, А. Н. Тяжелые металлы (кадмий, цинк, медь, никель) в системе торфяная низинная почва – растение : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Губин Алексей Николаевич. – Санкт-Петербург, 2007. – 207 с.
- 78 Гущина, В. А. Продуктивность эхинацеи пурпурной первого года жизни / В. А. Гущина Е. О. Никольская, Н. Ю. Лобанова // Роль вузовской науки в решении проблем АПК: сб. статей Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. проф. Г. Б. Гальдина. – Пенза, 2018. – Т. 1. – С. 49–52.
- 79 Дабахов, М. В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова, В. И. Титова. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
- 80 Дарьин, А. И. Использование эхинацеи пурпурной в кормлении поросят отъемышей различного происхождения / А. И. Дарьин // Достижения и перспективы развития биотехнологии: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза, 2010а. – С. 29–33.
- 81 Дарьин, А. И. Корни эхинацеи в кормлении поросят-отъемышей / А. И. Дарьин // Свиноводство. – 2010б. – № 8. – С. 20–21.
- 82 Дейнека, С. Е. Экспериментальное обоснование возможности использования настойки эхинацеи пурпурной для профилактики, обусловленной металлами экозависимой патологии / С. Е. Дейдека // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7 – 11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 163 – 168.
- 83 Дерень, О. В. Біологічна цінність та використання ехінацеї пурпурової в тваринництві / О. В. Дерень // Рибогосподарська наука України. – 2009. – № 1. – С. 127–133.
- 84 Державин, Л. М. Современные методы определения доз минеральных удобрений / Л. М. Державин, Ш. И. Литвак, Е. В. Седова. – Москва, 1988. – 44 с.

- 85 Дерхам, Х.М. Взаимодействие тяжелых металлов (медь и цинк) с органическими и минеральными компонентами почв: 03.00.27: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Хассан Мухаммад Дерхам. – Москва, 2009. – 27 с.
- 86 Дерюгин, И. П. Агрохимические основы системы удобрения овощных и плодовых культур / И. П. Дерюгин, А. Н. Кулюкин – Москва: Агропромиздат, 1988. – 270 с.
- 87 Диплоидная форма эхинацеи пурпурной – новый источник лекарственного сырья для получения отечественных иммуностимулирующих препаратов / Е. А. Сидорович [и др.] // Известия Белоруссии. Серия биология. – 1997. – С. 18–19.
- 88 Дмитриев, М. Т. Загрязнение почв и растениеводства тяжелыми металлами / М. Т. Дмитриев, Н. И. Казнина, Г. А. Клименко. – Москва: Изд-во МГУ, 1989. – 95 с.
- 89 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 351 с.
- 90 Егоров, А. Д. Витамин С и каротин в растительности Якутии / А. Д. Егоров. – Москва: Изд-во АН СССР, 1954. – 246 с.
- 91 Ельчи니нова, О. А. Влияние глубины заделки семян и способов эксплуатации плантации на урожайность лекарственного сырья и семенную продуктивность эхинацеи пурпурной в низгорьях Алтая / О. А. Ельчининова, О. С. Кудрявцева, Д. Б. Стонт // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 8. – С. 5–8.
- 92 Емцев, В. Т. Несимбиотическая азотфиксация и закономерности ее функционирования в почве / В. Т. Емцев, Л. К. Нище, Н. П. Покровский // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – Москва, 1985. – С. 213–221.
- 93 Ермохин, Ю. И. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе «почва – растение – животное» / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева, Н. К. Трубина. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2002. – 117 с.
- 94 Ермохин, Ю. И. Основы прикладной агрохимии / Ю. И. Ермохин. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2004. – 80 с.

- 95 Ермохин, Ю. И. Взаимосвязи в питании растений: монография / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева. – Омск: Вариант-Омск, 2011. – 208 с.
- 96 Ермохин, Ю. И. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая суданской травы в условиях Западной Сибири / Ю. И. Ермохин, И. А. Бобренко // Агрохимия. – 1999. – № 7. – С. 45–50.
- 97 Ермохин, Ю. И. Динамика накопления доступного азота почвы под кукурузой и его использование при расчёте доз удобрений / Ю. И. Ермохин, М. А. Склярова // Плодородие. – 2010. – № 5. – С. 23–26.
- 98 Ермохин, Ю. И. Интеграционная система почвенно-растительной диагностики как комплексный 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: в 2 т. / Ю. И. Ермохин. – Омск, 2020. – Т. 1. – 314 с.
- 99 Ермохин, Ю. И. Листовая диагностика условий питания и химического состава клубней раннего картофеля : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Ермохин Юрий Иванович. – Омск, 1968. – 23 с.
- 100 Ермохин, Ю. И. Микроэлементы (Cd, Ni, Zn) в основных типах почв Омской области / Ю. И. Ермохин, В. М. Красницкий, А. В. Синдирева // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы II Междунар. школы-семинара для молодых исследователей, посвящ. памяти проф. В. Б. Ильина. – Тюмень, 2016. – С. 86–93.
- 101 Ермохин, Ю. И. Определение потребности растений в удобрениях на планируемый урожай / Ю. И. Ермохин, А. Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1983а. – 44 с.
- 102 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.

- 103 Ермохин, Ю. И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД») / Ю. И. Ермохин, И. А. Бобренко. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2005. – 284 с.
- 104 Ермохин, Ю. И. Отечественный и зарубежный опыт диагностики азотного питания растений и применение азотных удобрений / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ, 1999. – 80 с.
- 105 Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная диагностика потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмСХИ, 1991. – 44 с.
- 106 Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ, 1995. – 208 с.
- 107 Ермохин, Ю. И. Применение удобрений под программируемый урожай сельскохозяйственных культур / Ю. И. Ермохин, А. Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1983б. – 60 с.
- 108 Ермохин, Ю. И. Программирование урожая / Ю. И. Ермохин, А. Ф. Неклюдов, В. М. Красницкий. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2000. – 84 с.
- 109 Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: в 4 т. // Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014а. – Т. 2. – 337 с.
- 110 Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: в 4 т. // Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014б. – Т. 3. – 333 с.
- 111 Ермохин, Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: в 4 т. // Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера. – 2014в. – Т. 4. – 208 с.
- 112 Ермохин, Ю. И. Химическая диагностика потребности картофеля и овощных культур в удобрениях / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмСХИ, 1975. – 63 с.

- 113 Ермохин, Ю. И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений / Ю. И. Ермохин, А. Ф. Неклюдов. – Омск: ОмСХИ, 1994. – 44 с.
- 114 Ермохин, Ю. И. Экспресс – методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях / Ю. И. Ермохин. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – 120 с.
- 115 Жизневская, Г. Я. Об эффективности совместного внесения молибдена и меди под сельскохозяйственные культуры / Г. Я. Жизневская. – Рига: Изд-во АН Латвийской ССР, 1961. – 77 с.
- 116 Журба, О.В. Лекарственные, ядовитые и вредные растения / О. В. Журба, М. Я. Дмитриев. – Москва: КолосС, 2008. – 512 с.
- 117 Журбицкий, З. И. Определение потребности растений в питании и удобрений по соотношению NPK / З. И. Журбицкий, В. М. Лавриченко. – Москва: [б. и.], 1982. – 64 с.
- 118 Журбицкий, З. И. Потребность растений в питании как основа применения удобрений / З. И. Журбицкий. – Москва: Изд-во АН СССР, 1958. – 60 с.
- 119 Журбицкий, З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З. И. Журбицкий. – Москва: АН СССР, 1963. – 294 с.
- 120 Заболоцкая, Т. Г. Биологический круговорот элементов в агроценозах и их продуктивность / Т. Г. Заболоцкая. – Ленинград: Наука, 1985. – 179 с.
- 121 Замана, С. П. Эколого – биогеохимические принципы оценки и коррекции элементного состава системы почва – растения – животные / С. П. Замана. – Москва: [б. и.], 2009.– 172 с.
- 122 Заманова, Н. А. Особенности биологии и технологии выращивания эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) в южной лесостепи Республики Башкортостан : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.09 / Заманова Наиля Айратовна. – Уфа, 2009. – 19 с.
- 123 Замятина, Н. Г. Азбука лекарственных растений / Н. Г. Замятина. – Москва, 2005. – С. 157–158.
- 124 Запрометов, М. Н. Основы биохимии фенольных соединений / М. Н. Запрометов. – Москва, 1974. – 214 с.

- 125 Зорикова, О. Г. Опыт интродукции эхинацеи пурпурной в условиях муссонного климата Юга Дальнего Востока / О. Г. Зорикова, Э. И. Хасина, Р. И. Живчикова // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 44–47.
- 126 Иванов, В. К. Климат Омска / В. К. Иванов, С. В. Иванова, Т. М. Корзухина. – Омск: [б. и.], 1971. – 53 с.
- 127 Ивлев, А. М. Деградация почв и их рекультивация / А. М. Ивлев, А. М. Дербенцева. – Владивосток, 2002. – С. 20.
- 128 Изучение золы общей и влажности в траве эхинацеи пурпурной свежей / В. Б. Загуменников [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 2012. – № 10. – С. 26–28.
- 129 Изучение накопления аскорбиновой кислоты в траве эхинацеи пурпурной свежей и ее соке при внесении макро- и микроудобрений / В. Б. Загуменников [и др.] // Химия растительного сырья. – 2014а. – № 3. – С. 209–214.
- 130 Изучение накопления аскорбиновой кислоты в траве эхинацеи пурпурной свежей и продуктах ее переработке / В. Б. Загуменников [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 2014б. – № 10. – С. 39–42.
- 131 Изучение состава биологически активных веществ сухих экстрактов эхинацеи узколистной и шалфея лекарственного / В. М. Косман [и др.] // Химия растительного сырья. – 2012. – № 1. – С. 153–160.
- 132 Ильин, В. Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, B) в южной части Западной Сибири / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1973б. – 388 с.
- 133 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.
- 134 Ильин, В. Б. Цинк в почвах юга Западной Сибири / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1973а. – № 11. – С. 111–116.
- 135 Ильин, В. Б. Элементный химический состав растений / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1985. – 128 с.

- 136 Исаева, Р. Я. Лекарственные растения Донбасса / Р. Я. Исаева, Ю. В. Гаврилюк. – Луганск: Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко, 2014. – 113 с.
- 137 Использование экстракта эхинацеи пурпурной в комплексной терапии проявлений пародонтального синдрома у подростков с эндокринной патологией / О. А. Бабина [и др.] // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 147–150.
- 138 Исследование физиологически активных соединений в препарате из эхинацеи пурпурной / А. В. Брыкалов [и др.] // Химия растительного сырья. – 2008. – № 3. – С. 89–91.
- 139 Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.
- 140 Караева, А. М. Использование эхинацеи пурпурной в кормлении телят молочников : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.32 / Караева Альбина Маирбековна. – Владикавказ, 2006. – 183 с.
- 141 Каталымов, М. В. Микроэлементы и микроудобрения / М. В. Каталымов. – Москва; Ленинград: Химия, 1965. – 329 с.
- 142 Качество посевного материала и лекарственного растительного сырья эхинацеи пурпурной в зависимости от внесения микроэлементов / Е.Ю. Бабаева [и др.] // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 151–156.
- 143 Кидин, В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур / В. В. Кидин. – Москва: Изд-во РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2009. – 412 с.
- 144 Ковальский, В. В. Геохимическая среда и жизнь / В. В. Ковальский – Москва: Наука, 1987. –76 с.
- 145 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 : автореф дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Кожевина Марина Николаевна. – Омск, 2007. – 19 с.

- 146 Козко, А. А. Перспективы и проблемы возрождения лекарственного растениеводства в России / А.А. Козко, А.Н. Цицилин // Сборник научных трудов ГНБС. – Ялта, 2018. – Том –146. С.18-25. DOI: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.
- 147 Кокурин, Н. Л. Эволюционно-генетические аспекты микроэлементного питания культурных растений / Н. Л. Кокурин, Т. М. Удельнова, Б. А. Ягодин // Микроэлементы в СССР. – Рига, 1990. – Вып. 31. – С. 92–93.
- 148 Кореньков, Д. А. Агрохимия азотных удобрений / Д. А. Кореньков. – Москва: Наука, 1976. – 223 с.
- 149 Кореньков, Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д. А. Кореньков. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 221 с.
- 150 Коровин, А. И. Растения и экстремальные температуры / А. И. Коровин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 272 с.
- 151 Костылев, Д. А. Качество лекарственного сырья эхинацеи пурпурной в условиях республики Башкотостан / Д. А. Костылев, Н. А. Заманова, З. М. Хасанова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 9. – С. 39–41.
- 152 Кочергин, А. Е. О методах определения потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях / А. Е. Кочергин // Вопросы оптимизации почвенных условий для растений.– Новосибирск, 1979. – С. 71–79.
- 153 Кочергин, А. Е. Условия азотного питания зерновых культур на черноземах Сибири / А. Е. Кочергин // Агробиология. – 1956. – № 2. – С. 76–88.
- 154 Кочергин, А. Е. Эффективность азотных удобрений в черноземной зоне Сибири / А. Е. Кочергин, Г. П. Гамзиков // Агрохимия. – 1972. – № 6. – С. 3–10.
- 155 Красницкий, В. М. Мониторинг и его роль в оценке плодородия почв / В. М. Красницкий, А. Ф Цырк // Почвы, удобрения, урожай: сб. науч. тр. – Омск, 1996. – С. 22–25.
- 156 Красницкий, В. М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири / В. М. Красницкий. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 144с.
- 157 Кудеяров, В. Н. Изучение действия азотного удобрения на растение и почву / В. Н. Кудеяров, В. Н. Башкин // Агрохимия. – 1976. – № 11. – С. 3–9.

- 158 Кукушкин, В. К. Поведение цинка в системе почва-растение при повышенном содержании фосфора и меди в почве: 06.01.03: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Владимир Константинович Кукушкин. – Москва, 1988. – 26 с.
- 159 Кушниренко, Ю. Д. Взаимодействие азотных и фосфорных удобрений на выщелоченных черноземах / Ю. Д. Кушниренко // Агрехимия. – 1973. – № 4. – С. 3–9.
- 160 Ламбин, А. З. Влияние меди, цинка и стронция на рост, урожай и состав яровой пшеницы / А. З. Ламбин // Тр. ОмСХИ.– Омск, 1949. – Т. 21. – С. 39–89.
- 161 Лейкин, Ю. Л. Основы экологического нормирования / Ю. А. Лейкин. – Москва: Форум, 2014. – 368 с.
- 162 Лекарственные растения (растения – целители) / А. Ф. Гаммерман [и др.]– Москва: Высшая школа, 1975. – 326 с.
- 163 Лихоманова, Л. М. Диагностика минерального питания, эффективности применения удобрений и качества корнеплодов столовой свеклы : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Лихоманова Людмила Михайловна. – Омск, 1986. – 16 с.
- 164 Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – Москва: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
- 165 Магницкий, К. П. Новые методы анализа растений и почв / К. П. Магницкий, Ю. А. Шугаров, В. К. Малков. – Москва: Сельхозгиз, 1959. – 240 с.
- 166 Максименко, Е. П. Научные основы применения комплексных микроудобрений в рисоводстве / Е. П. Максименко. А. Х. Шеуджен // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 107. – С. 1102–1125.
- 167 Малинка, В. Российский рынок лекарственных трав и сборов / В. Малинка, Е. Жданова // Ремедиум. – 2000. – № 4. – С. 38–47.
- 168 Махлюк, В. П. Лекарственные растения в народной медицине / В. П. Махлюк. – Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1993. – 542 с.
- 169 Мельникова, С. С. Оптимизация минерального питания и качества календулы лекарственной на лугово-черноземных почвах Омского Прииртышья :

автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Мельникова Светлана Степановна. – Омск, 2007. – 18 с.

170 Меньшова, В. А. Биология цветения и плодоношения интродуцированных на Украине видов рода эхинацея / В. А. Меньшова // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. – Киев, 1989. – Вып. 16. – С. 53–55.

171 Меньшова, В. А. Изучение и использование эхинацеи / В. А. Меньшова // Материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 28–30.

172 Методика исследований при интродукции лекарственных растений / под ред. д-ра х.х. наук Н.И. Майсурадзе // Лекарственное растениеводство. - Обзорная информ. - М.: «Минмедпром», 1984. - Вып. 3. – 33 – 217 с.

173 Микроэлементозы человека / А.П. Авцын [и др.]. – Москва: Медицина, 1991. – 496 с.

174 Минаева, В. Г. Лекарственные растения Сибири / В. Г. Минаева. – Новосибирск: Наука, 1991. – 431 с.

175 Минеев, В. Г. Агрохимия и биосфера / В. Г. Минеев. – Москва: Колос, 1984. – 247 с.

176 Минеев, В. Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В. Г. Минеев, Б. Дебрецени, Т. Мазур. – Москва: Колос, 1993. – 415 с.

177 Минеев, В. Г. Экологические проблемы агрохимии / В. Г. Минеев. – Москва: Колос, 1988. – 284 с.

178 Мищенко, Л. Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование / Л. Н. Мищенко. – Омск: ОмСХИ, 1991. – 164 с.

179 Моисеева, Г. Ф. Иммуностимулирующие полисахариды высших растений / Г. Ф. Моисеева, В. Г. Беликов // Фармация. – 1992. – № 3. – С. 79–84.

180 Мосолов И. Ф. Физиологические основы применения минеральных удобрений / И. Ф. Мосолов. – Москва: Наука, 1979. – 255 с.

181 МУ 31-05/04 (ФР.1.31.2004.01119). Методика выполнения измерений массовой концентрации мышьяка в пищевых продуктах и продовольственном

сырье, биологически активных добавках к пище методом инверсионной вольтамперметрии на анализаторах типа ТА. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 18 с.

182 Мулевич, В. М. Растительное сырье в производстве лекарственных средств на предприятиях Минмедбиопроста / В. М. Мулевич, В. И. Пономарева, Л. И. Пашутова. – Москва, 1988. – Вып. 1. – С. 78–81.

183 Муравьев, Д. А. Фармакогнозия / Д. А. Муравьев. И. А. Самылина, Г. П. Яковлев. – Москва: Медицина, 2007. – 656 с.

184 Мязин, Н. Г. Влияние удобрений на накопление нитратов и тяжёлых металлов в почве и растениях и на продуктивность звена зернопаропропашного севооборота / Н. Г. Мязин, Р. А. Павлов, В. В. Шеина // Агрехимия. – 2006. – № 2. – С. 22–29.

185 Найденский, М. С. Повышение резистентности цыплят яичных кроссов путём обработки инкубационных яиц органическими кислотами / М. С. Найденский, Н. Ю. Лазарева, О. Х. Костанди. – Москва: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина, 2000. – 12 с.

186 Никитишен, В. И. Агрехимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии / В. И. Никитишен. – Москва: Наука, 1984. – 214 с.

187 Никольская, Е. О. Формирование высокопродуктивных агроценозов эхинацеи пурпурной в лесостепи Среднего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Никольская Елена Олеговна. – Пенза, 2008. – 19 с.

188 Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности / Л. А. Маюрникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – № 1. – С.124–139.

189 Общая фармакопейная статья (ОФС.1.5.1.0001.15). Лекарственное растительное сырье. Фармацевтические субстанции растительного происхождения // Государственная фармакопея Российской Федерации. – Москва, 2015. – Т. II. – С. 265–271 с.

190 Овчаров, К. Е. Витамины растений / К. Е. Овчаров. – Москва: Колос, 1969. – С. 54–180.

- 191 Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование // В. И. Савич [и др.]. – Костанай: Костанайский печатный дом, 1999. – 403 с.
- 192 Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты / Е. Б. Меньшикова [и др.]. – Москва: Слово, 2006. – 556 с.
- 193 Орлова, Э. Д. Содержание микроэлементов в различных культурах в зависимости от условий выращивания / Э. Д. Орлова, Ю. И. Ермохин // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока: докл. IV Сибир. конф., 11–14 июля 1972 г. – Барнаул; Улан-Удэ, 1973. – С. 209–213.
- 194 Орлова, Э. Д. Влияние микроудобрений на химический состав и урожай яровой пшеницы на почвах Омской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 533 / Орлова Эмма Дмитриевна. – Омск, 1968. – 27 с.
- 195 Орлова, Э. Д. Влияние повышенных концентраций бора на продуктивность и химический состав растений / Э. Д. Орлова, А. А. Неупокоев // Агрохимия. – 1990. – № 12. – С. 44–52.
- 196 Орлова, Э. Д. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение удобрений / Э. Д. Орлова, Е. Г. Пыхтарева. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2007. – 75 с.
- 197 ОСТ 10243-2000. Сено. Технические условия – Введ. 2000. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – IV, 12 с.
- 198 Оценка энергетической эффективности технологий возделывания озимой пшеницы в шести ротациях севооборота многолетнего стационара / Н.И. Цимбалест [и др.] // Агрохимия. – 2007. – № 7. – С. 49–63.
- 199 Панин, М. С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья / М. С. Панин. – Семипалатинск: Семей, 1999. – 308 с.
- 200 Парибок, Т. А. Взаимодействие цинка и фосфата в минеральном питании растений / Т. А. Парибок // Агрохимия. – 1970. – № 2. – С. 153–159.

- 201 Петербургский, А. В. Почва, удобрения и урожай / А. В. Петербургский. – Москва: Знание, 1985. – 64 с.
- 202 Пискунов, А. С. Методы агрохимических исследований / А. С. Пискунов. – Москва: КолосС, 2004. – 310 с.
- 203 Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. – Москва: Колос, 1965. – 447 с.
- 204 Порада, А. А. Биология цветения эхинацеи пурпурной в условиях Полтавской области / А. А. Порада, А. М. Рабинович // Бюлл. Глав. Бот. сада АН СССР. – 1991. – № 160. – С. 7–10.
- 205 Порада, А. А. Опыт выращивания эхинацеи пурпурной в Лесостепи Украины / А. А. Порада // Изучение и использование эхинацеи: материалы Междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 86–89.
- 206 Потатуева, Ю. А. Влияние кадмия на урожай сельскохозяйственных культур и накопление этого элемента в почвах и растениях / Ю. В. Потатуева, Н. В. Русаков, Е. Г. Прищеп // Агрохимия. – 1998. – № 3. – С. 53–61.
- 207 Почерняева, В. Ф. Перспективы использования эхинацеи пурпурной для разработки и создания пищевых продуктов, повышающих адаптационные возможности организма / В. Ф. Почерняева // Нетрадиционное растениеводство, экология и здоровье: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф.– Симферополь, 1998. – С. 765–766.
- 208 Применение настойки эхинацеи пурпурной в лечении больных злокачественными новообразованиями / И. В. Касьяненко [и др.] // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 186–189.
- 209 Проведение полевых опытов с лекарственными культурами / Под ред. к.с.х. наук А.И. Брыкина // Лекарственное растениеводство. - Обзорная информ. - М.: «Минмедпром», 1981. - 60 с.
- 210 Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения / Прянишников Д. Н. – Москва: Колос, 1965. –Т. 1. – 767 с.

- 211 Прянишников, Д. Н. Практикум по органической химии / Н. Д. Прянишников. – Москва; Ленинград: Госхимиздат, 1950. – 245 с.
- 212 Пустовой, И. В. Практикум по агрохимии / И. В. Пустовой, В. И. Филин, А. В. Корольков. – Москва: Колос, 1995. – 334 с.
- 213 Растения в экстремальных условиях минерального питания / А. В. Косицин [и др.]. – Ленинград: Наука, 1983. – 177 с.
- 214 Регистр лекарственных средств России. Энциклопедия лекарств / под ред. Ю. Ф. Крылова. – Москва: РЛС, 2001. – 1503 с.
- 215 Ринькис, Г. Я Система оптимизации и методы диагностики минерального питания растений / Г. Я. Ринькис. – Рига: Изд-во АН Латвийской ССР, 1963. – 122 с.
- 216 Рихтер, Г. Д. Рельеф и геологическое строение / Г. Д. Рихтер // Западная Сибирь. – Москва, 1963. – С. 22–29.
- 217 Сабинин, Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д. А. Сабинин. – Москва: Наука, 1971. – 512с.
- 218 Сабинин, Д. А. Физиологические основы питания растений / Д. А. Сабинин. – Москва: Изд-во АН СССР, 1955. – 512 с.
- 219 Сабыр, С. Д. Результаты исследований элементов возделывания эхинацеи пурпурной / С. Д. Сабыр, Ж. С. Жургенов, А. К. Суримбаева // Исследования, результаты. – 2017. – № 1. – С. 184–187.
- 220 Савич, В. И. Физико-химическая оценка плодородия и эволюции почв / В. И. Савич. – Москва: Изд-во ВНИИА, 2012. – 76 с.
- 221 Самородов, В. Н. Изучение видов рода эхинацея как лечебно-кормовых растений / В. Н. Самородов, И. С. Лебединский, Н. В. Ищенко // Проблемы лекарственных растений: тез. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ин-та лекар. растений УААН, 3–5 июля 1996 г.– Лубны, 1996. – С. 281–283.
- 222 Самохин, А.П. Трансформация соединений металлов в почвах Нижнего Дона : 03.00.27: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Алексей Петрович Самохин. – Ростов-на -Дону, 2003. – 28 с.

- 223 СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума Кодекс. – Санкт-Петербург, 2013. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6540IN> (дата обращения: 05.05.2021).
- 224 Сдобникова, О. В. Фосфорные удобрения и урожай / О. В. Сдобникова. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 111 с.
- 225 Селюкова, С. В. Кадмий в агроценозах лесостепной зоны ЦЧО / С. В. Селюкова // Современные проблемы сельскохозяйственных наук в мире: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф., 11 июня 2016 г. – Казань, 2016в. – Вып. III. – С. 5–7.
- 226 Селюкова, С. В. Ртуть в агроценозах лесостепи / С. В. Селюкова // Наука и образование в социокультурном пространстве современного общества: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф.: в 3-х ч., 29 февр. 2016 г. – Смоленск, 2016 а. – Ч. 1. – С. 99–100.
- 227 Селюкова, С. В. Свинец в агроценозах лесостепи / С. В. Селюкова // Современные тенденции развития науки и технологий: период. науч. сб. по материалам XII Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2016 г. – Белгород, 2016б. – С. 114–116.
- 228 Серегина, И. И. Продуктивность и адаптивная способность сельскохозяйственных культур при использовании микроэлементов и регуляторов роста : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04 / Серегина Инга Ивановна. – Москва, 2008. – 40 с.
- 229 Серегина, И. И. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность растений пшеницы при применении цинка в условиях дефицита влаги в почве / И. И. Серегина // Агрехимический вестник. – 2011. – № 6. – С. 15–18.
- 230 Сикура, И. И. Эхинацея, история изучения, сокращение биологического разнообразия EX SITU / И. И. Сикура, А. И. Сикура // Изучение и использование

эхинацеи: материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 41–42.

231 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 – С. 69–72.

232 Синдирева, А. В. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Синдирева Анна Владимировна. – Омск, 2001. – 16 с.

233 Синдирева, А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04 / Синдирева Анна Владимировна. – Тюмень, 2012. – 32 с.

234 Синявский, И. В. Агрохимические и экологические аспекты плодородия черноземов лесостепного Зауралья: специальность дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.03, 06.01.04 / Синявский Игорь Васильевич. – Омск, 2001. – 199 с.

235 Сказалова, Н. Н. Микроэлементы (Co, Cu, Mo, Ni, Mn) в почвах поймы реки Иртыша : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Сказалова Нина Николаевна. – Омск: ОмСХИ, 1973. – 18 с.

236 Скальный, А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А. В. Скальный. – Москва: ОНИКС 21 век ; Мир, 2004. – 216 с.

237 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, 2008. – 16 с.

238 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.

239 Смирнова, В. Экспорт травы обгонит оружие [Электронный ресурс] / В. Смирнова. – Режим доступа: <http://agro-max.ru/reportazhi/eksport-travy-obgonit-oruzhie>. – (дата обращения 01.07.2019.).

- 240 Соколов, А. В. Диагностика питания растений: Методы определения потребности растений в удобрениях / А. В. Соколов // Справочник по минеральным удобрениям. – Москва, 1960. – С. 407–408.
- 241 Соколов, А. В. Химический анализ почвы и применения удобрений / А. В. Соколов // Журнал Всесоюзного химического общества. – 1965.– № 4. – С. 375–381.
- 242 Солдатов, В. П. Обеспеченность почв РСФСР микроэлементами / В. П. Солдатов, И. Н. Чумаченко // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 1. – С. 30–32.
- 243 Соломаха, Т. Д. Использование эхинацеи пурпурной в медоносной базе Украины / Т. Д. Соломаха // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003. – С. 96–98.
- 244 Спицына, С. Ф. Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения / С. Ф. Спицына, А. А. Томаровский, Г. В. Оствальд // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 29–32.
- 245 Стальная, М. И. Исследование элементного состава растений / М. И. Стальная // Новые технологии. – 2007. – № 3. – С. 91–94.
- 246 Степанок, В. В. Влияние высоких доз цинка на элементный состав растений / В. В. Степанюк, С. П. Голецкий. – Агрохимия. – 1991. – № 7. – С. 60–66.
- 247 Степанюк, В. В. Влияние сочетания соединений тяжелых металлов на урожай сельскохозяйственных культур и поступление тяжелых металлов в растения / В. В. Степанюк. – Агрохимия. – 2000.–№ 1.– С. 74–80.
- 248 Сторож, О. В. Влияние сроков сева и ширины междурядий на урожайность сортов эхинацеи пурпурной второго и третьего годов вегетации в условиях южной части лесостепи Западной / О. В. Сторож. // Инновации в науке: сб. ст. по материалам XV междунар. науч.-практ. конф., 19 дек. 2012 г. – Новосибирск, 2012. – С. 91–96.
- 249 Сухоцкая, В. В. Влияние медных удобрений на формирование урожайности лекарственного сырья эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) / В. В. Сухоцкая,

Н. Н. Жаркова, Ю. И. Ермохин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2. – С. 38–44.

250 Сухоцкая, В. В. Последствие медных и цинковых удобрений на продуктивность *Echinacea purpurea* / Сухоцкая В. В., Тищенко Н. Н. // Научные инновации – аграрному производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию юбилею Омского ГАУ, 21 февр. 2018 г. – Омск, 2018. – С. 427–431.

251 Тищенко, Н.Н. Диагностика минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на лугово-черноземной почве Западной Сибири : 06. 01. 04: автореф дис. ... канд. с.-х. наук / Наталья Николаевна Тищенко – Омск, 2011. – 17 с.

252 Тищенко, Н. Н. Влияние цинка и меди на урожайность тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на лугово-черноземной почве в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Н. Н. Тищенко // Омский научный вестник. – 2015. – № 1. – С. 123–127.

253 Тищенко, Н. Н. Экологическая оценка влияния ацетата цинка на содержание цинка в растениях пижмы обыкновенной / Н. Н. Тищенко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3. – С. 68–71.

254 Тищенко, Н. Н. Экологическая оценка влияния меди на химический состав растений тысячелистника обыкновенного / Н. Н. Тищенко, В. В. Сухоцкая // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования: сб. материалов, посвящ. 80-летию со дня рождения проф., основателя и рук. науч. школы Ю. И. Ермохина. – Омск, 2015. – С. 156–161.

255 Толстоусов, В. П. Удобрение и качество урожая / В. П. Толстоусов. – М.: Колос, 1974. – 259 с.

256 Торицов, В.Е. Экология, выращивание и элементный состав корней эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench) в Брянской области / В. Е. Торицов, И. И. Мешков // Вестник Брянской ГСХА. – 2016. – № 1. – С.58–64.

- 257 Торшин, С. П. Биогеохимия и агрохимия селена и методы устранения селенодефицита в пищевых продуктах и кормах / С. П. Торшин, Т. М. Удельнова, Б. А. Ягодин // Агрохимия. – 1996. – № 8–9. – С.127–144.
- 258 Трейман, А. А. Медь и марганец в почвах, растениях и водах ландшафтов Салаира и Присалаирской равнины / А. А. Трейман // Медь, марганец и бор в ландшафтах Барабинской низменности и Новосибирского Приобья. – Новосибирск, 1971. – С. 55–138.
- 259 Трубина, Н. К. Диагностика условий минерального питания лука репчатого : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Трубина Надежда Константиновна. – Омск, 1993. – 19 с.
- 260 ТУ 9373-142-04868244-2008. Эхинацеи пурпурной трава свежая // Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических соединений (ВИЛАР). – Москва, 2008. – 12 с.
- 261 Урожай и качество сырья эхинацеи пурпурной при некорневым подкормкам марганцем и цинком / Е. Ю. Бабаева [и др.] // С эхинацеей в третье тысячелетие: материалы Междунар. науч. конф., 7–11 июля 2003 г. – Полтава, 2003.– С. 8–13.
- 262 Факторы влияющие на поступление тяжелых металлов в растения / И.А. Шильников [и др.] // Агрохимия. – 1994. – № 10. – С. 94–101.
- 263 Фармакопейная статья (ФС.2.5.0055.15) Эхинацеи пурпурной трава // Государственная фармакопея Российской Федерации. – Москва, 2015. – Т. III. – С. 775–780 с.
- 264 Фарниева, К. Х. Эффективность интродукции и перспективы использования эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench) в условиях РСО-Алания: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.14 / Фарниева Катерина Хаирбековна. – Владикавказ, 2015. – 23 с.
- 265 Фитохимический состав представителей рода эхинацея и его фармакологические свойства (обзор) / В. Н. Самородов [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 1996. – № 4. – С.32–37.

- 266 Фитохимическое исследование и фармакологические свойства видов рода Эхинацея / Л. Г. Дудченко [и др.] // Тез. докл. на третьей Укр. конф. по мед. ботанике. – Киев, 1992. – С. 2–53.
- 267 Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В.Б. Ильин [и др.] // Почвоведение. – 2003. – № 5. – С. 550–556.
- 268 Харченко, А. В. Некоторые аспекты изучения эхинацеи пурпурной – *Echinacea purpurea* (L.) Moench., интродуцированной в условиях Северного Кавказа / А. В. Харченко, Л. В. Челова, Б. Н. Житарь // Изучение и использование эхинацеи: материалы междунар. науч. конф., 21–24 сент. 1998 г. – Полтава, 1998. – С. 43–44.
- 269 Химические элементы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1982. – 112 с.
- 270 Химический анализ лекарственных растений / Ладыгина Е. Я. [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1983. – 176 с.
- 271 Ховрин, А. Интродукция эхинацеи пурпурной в условиях Ульяновской области / А. Ховрин, С. Бочарова, С. Мадуфурова // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений: материалы III Междунар. науч.-производ. конф. – Пенза, 2000. – Т. 1 – С. 285–286.
- 272 Худоногова, Е. Г. Коэффициент выхода биологически активных веществ в лекарственных растениях/ Е. Г. Худоногова // Климат, экология, сельское хозяйство в Евразии: сб. статей. – Иркутск, 2009. – С. 541.
- 273 Хуснутдинов, Д. Р. Справочник-альбом лекарственных растений применяемых для профилактики лечения в животноводстве / Д. Р. Хуснутдинов, А. Г. Хабибуллин. – Казань: [б. и.], 2012. – 38 с.
- 274 Церлинг, В. В. Обмен веществ, формирование урожая и диагностика потребности растений в удобрениях : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Церлинг Вера Владимировна. – Москва, 1962. – 36 с.
- 275 Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – Москва: Наука, 1978. – 216 с.

- 276 Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
- 277 Чекмарев, П. А. Лекарственные травы России могут громко заявить о себе за границей [Электронный ресурс] / П. А. Чекмарев // Министерство сельского хозяйства, 28 февраля 2017 г. – Москва, 2017.– Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/petr-chekmarev-lekarstvennyye-travy-rossii-mogut-gromko-zayavit-o-sebe-za-granitsey>. – (дата обращения 01.07.2019).
- 278 Черных, Н. А. Влияние различного содержания цинка, свинца и кадмия в почве на состав и качество растительной продукции : автореф. дисс. ...канд. биолог. наук : 06.01.03: / Черных Наталья Анатольевна. – Москва, 1988. – 27 с.
- 279 Чумаков, В. В. Создание плантаций высокотанидных ив / В. В. Чумаков. – Москва: ВНИЦлесресурс Госкомлеса СССР, 1991. – 36 с.
- 280 Чухиль, А. А. Влияние микроудобрений на азотный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья и урожайность люцерны второго года жизни / А.А. Чухиль // Агротехнический вестник. – 2016. - №5. С.56-60.
- 281 Шараевская, И. М. Применение эхинацеи для стимуляции иммунитета у кур, подвергнутых вакцинации штамом H5 N1 / И. М. Шараевская, Н. В. Садовников, К. С. Маловастый // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 12. – С. 37–38.
- 282 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. – 2009. – № 2. – С.23–27.
- 283 Шеуджен, А. Х. Влияние микроудобрений на продуктивность агроценоза ячменя озимого при его размещении на чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен [и др.] // Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 310-летию Йогану Готтшальку Валлериусу и 90-летию академика Ефимова Виктора Никифоровича, 5-6 сентября 2019 г. – Краснодар, 2019 г. С.156-165.

- 284 Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Ленинград: Наука, 1974. – 324 с.
- 285 Шойкин, О. Д. Диагностика и оптимизация минерального питания пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus Gilib.*) на лугово-черноземной почве Западной : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Шойкин Олжас Даулетжанович. – Тюмень, 2013. – 16 с.
- 286 Экспресс методы оценки обеспеченности почв элементами питания и уровня загрязнения токсикантами / В. И. Савич [и др.] // Москва: Изд-во ВНИИА. – 2004. – 151 с.
- 287 Эммерт, Ф. Влияние взаимодействия ионов на состав растительных тканей / Ф. Эммерт. – Москва: Мир, 1964. – 233 с.
- 288 Эффективность применения биологических препаратов и капельного орошения на культуре эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) / А. Г. Губанев [и др.] // Инновационные подходы к изучению эхинацеи: материалы Междунар. науч. конф., 25–27 июня 2013 г. – Полтава, 2013. – С. 31–36.
- 289 Якадин, А. И. Растительные дубительные материалы / А. И. Якадин. Б. А. Егоров. – Москва: Легкая индустрия, 1968. – 171 с.
- 290 Якутина, Е. В. Нитраты в растительных продуктах и их влияние на организм / Е. В. Якутина, Э. П. Безродный // Проблемы экологии в Западной Сибири и пути их решения. – Омск, 1991. – С. 30–34.

- 291 Accumulation of Ascorbic Acid in Fresh *Echinacea Purpurea* Plants and Their Processing Products / V.B. Zagumennikov [et al.] // Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2015. – Vol. 48. – P. 671–674.
- 292 Alloway, B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition / B. J. Alloway. – Brussels, Belgium and Paris, France, 2008. – P. 139.
- 293 Bauer, R. Echinacea. Handbuch für Ärzte, Apotheker und andere Naturwissenschaftler / R. Bauer, H. Wagner. – Schaffner, Stuttgart, 1990. – P. 134.

- 294 Baxter, L. L. The etiology and molecular genetics of human pigmentation disorders / L. L. Baxter, W. J. Pavan // *Wiley Interdisciplinary Reviews. Developmental Biology*. – 2013. – Vol. 2. – P. 379 – 392.
- 295 Biofortification of staple food crops / P. Nestel [et al.] // *Journal of Nutrition*. – 2006. – Vol. 4. – P. 1064–1067.
- 296 Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition / H. E. Bouis [et al.] // *Food and Nutrition Bulletin*. – 2011. – Vol. 32. – P. 31–40.
- 297 Biofortification: progress toward a more nourishing future / A. Saltzman [et al.], // *Global Food Security*. – 2013. – Vol. 2. – P. 9–17.
- 298 Dart, P. J. Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture / P. J. Dart // *Plant and Soil*. – 1986. – Vol. 90. – P. 303–334.
- 299 Effects of Foliar Spray Application of Selected Micronutrients on the Quality of Bush Tea / Khathutshelo M. V. [et al.] // *HortScience*. – 2016. – Vol. 51. – P. 873–879.
- 300 Fernandes, J. C. Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants / J. C. Fernandes, F. Henriques // *Botanical Reviews*. – 1991. – Vol. 57. – P. 246–273.
- 301 Foster, S. *Echinacea: Nature's Immune Enhancer* / S. Foster. – Vermont, 1991. – P. 20–24.
- 302 Haase ,H. Zinc signals and immune function / H. Haase, L. Rink // *Biofactors*. – 2014. – Vol. 40. – P. 27–40.
- 303 Haslett, B. S. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots / B. S. Haslett, R. J. Reid, Z. Rengel // *Annals of Botany*. – 2001. – Vol. 87. – P. 379–386.
- 304 Hobbs, C. *The Echinacea Handbook* / C. Hobbs. – Sandy: Eclectic Medical Publications, 1989. – 298 p.
- 305 Hordyjewska, A. The many “faces” of copper in medicine and treatment / A. Hordyjewska, Ł. Popiołek, J. Kocot // *Biometals*. – 2014. – Vol. 27. – P. 611–621.
- 306 Krähmer, R. Effect of increasing nitrogen fertilization on copper demand in cereals / R. Krähmer, B. Sattelmacher // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 1997. – Vol. 160. – P. 385–392.

- 307 Lundegardh, H. Leaf Analysis / H. Lundegardh. – London: Hilger & Watts, 1951. – 287 p.
- 308 McKeown, K. A. A review of the taxonomy of the genus Echinacea / K. A. McKeown // In Perspectives on new crops and new uses. – Alexandria, 1999. – P. 482–489.
- 309 Neyra, C. A. Nitrogen fixation in grasses / C. A. Neyra, J. Dabereiner // Advances Argonomy. – 1977. – Vol. 29. – P. 1–38.
- 310 Olsen, S. R. Micronutrient interactions in Micronutrient in Agriculture / S. R. Olsen. – Madison: Soil Science Society of America, 1972. – 243 p.
- 311 Оберлис, Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный. – Санкт-Петербург: Наука, 2008. – 544 с.
- 312 Pfeiffer, W H. Harvest Plus: Breeding crops for better nutrition / W. H. Pfeiffer, B. McClafferty // Crop Science. – 2007. – Vol. 47. – P. 88–105.
- 313 Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants / J. F. Loneragan [et al.] // Soil Science Society of America Journal. – 1979. – Vol. 43. – P. 966–972.
- 314 Prasad, A. S. Discovery of human zinc deficiency: 50 years later / A. S. Prasad // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2012. – Vol. 26. – P. 66–69.
- 315 Prasad, A. S. Zinc in human health: effect of zinc on immune cells / A. S. Prasad // Molecular Medicine. – 2008. – Vol. 14. – P. 353–357.
- 316 Ruel, M. T. Nutrition-sensitive interventions and programmes: How can they help to accelerate progress in improving maternal and child nutrition? / M. T. Ruel, H. Alderman. – Lancet, 2013. – Vol. 382. – P. 536–551.
- 317 Singh, C. P. Response of rice to different types of zincated P fertilizers under submerged conditions / C. P. Singh, Y. P. Dang, D. S. Ruhel // Tropical agriculture. – 1985, Vol. 62. – P. 310–312.
- 318 Stępien, A. Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain / A. Stępien, K. Wojtkowiak // Chilean Journal of Agricultural Research. – 2016. – Vol. 76. – P. 219–226. 303.

- 319 Thompson, K. D. Antiviral activity of Viracea(r) against acyclovir susceptible and acyclovir resistant strains of herpes simplex virus / K. D. Thompson // Antiviral Research. – 1998. – Vol. 39. – P. 55–61.
- 320 Venkatazaman, G. S. Non-symbiotic nitrogen fixation / G. S. Venkatazaman // Review of Soil Research in India, 12TH Int. Congr. of Soil Science, 8–16 Febr. – New Dehly, 1982. – P. 205–235.
- 321 Wallace, A. Cobalt-zinc interactions in bush beans grown in solution culture / A. Wallace, A. M. Abow-ZamZam // Soil Science. – 1989. – Vol. 147. – P. 436–438.
- 322 Wallace, G. Lead and other potentially toxic metal in soil / G. Wallace, A. Wallace // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 1994. – Vol. 25. – P. 137–141.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Температура воздуха в период роста и развития лекарственной культуры за 2016-2018 гг.

Месяц и декады вегетации культуры	Температура воздуха, °С			Средняя многолетняя (1968-2018 гг.)
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	
Май				
I	8,8	10,8	5,8	-
II	11,9	12,9	6,7	-
III	17,2	15,5	10,3	-
Средняя	12,6	13,1	7,6	12,0
Июнь				
I	17,3	17,0	16,9	-
II	18,6	21,8	16,6	-
III	18,8	21,4	18,2	-
Средняя	18,2	20,1	17,2	17,7
Июль				
I	19,6	17,1	21,2	-
II	20,9	17,0	21,8	-
III	18,8	20,2	16,7	-
Средняя	19,8	18,4	19,9	19,4
Август				
I	19,7	19,7	17,8	-
II	20,9	14,5	16,9	-
III	17,2	20,2	13,7	-
Средняя	19,3	18,1	16,1	16,4
Сентябрь				
I	16,8	13,3	10,6	-
II	13,1	11,2	11,1	-
III	9,4	3,1	12,7	-
Средняя	13,1	9,2	11,5	10,5

Приложение Б

Количество осадков в период роста и развития лекарственной культуры за 2016-2018 гг.

Месяц и декады вегетации культуры	Количество осадков, мм			Средняя многолетняя (1968-2018 гг.)
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	
Май				
I	2,0	7,0	25,0	-
II	2,0	8,0	10,0	-
III	1,0	11,0	37,0	-
Сумма	5,0	26,0	72,0	34,0
Июнь				
I	0,6	29,0	8,0	-
II	40,0	1,0	5,0	-
III	55,0	0,9	49,0	-
Сумма	95,6	30,9	62,0	53,0
Июль				
I	36,0	11,0	0,0	-
II	20,0	32,	5,0	-
III	40,0	27,0	40,0	-
Сумма	96,0	70,0	45,0	67,0
Август				
I	0,0	10,0	10,0	-
II	9,0	0,0	18,0	-
III	7,0	4,0	34,0	-
Сумма	16,0	14,0	62,0	53,0
Сентябрь				
I	5,0	12,0	7,0	-
II	6,0	16,0	0,3	-
III	0,0	2,0	11,0	-
Сумма	11,0	30,0	17,3	31,0

Приложение В

Таблица 1 – Урожайность эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, первый год жизни (1-й укос, 23 сентября 2016 года)

Вариант	Урожайность, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	1,9/1,5	2,0/1,5	1,7/1,3	2,0/1,5	1,9/1,5
Фон (N ₁₂₅)	1,6/1,2	1,7/1,3	1,9/1,5	2,0/1,5	1,8/1,4
Фон+0,25ПДКZn	2,3/1,8	2,2/1,7	2,3/1,8	2,4/1,8	2,3/1,8
Фон+0,5 ПДК Zn	2,6/2,0	2,5/1,9	2,4/1,8	2,5/1,9	2,5/1,9
Фон+0,75 ПДКZn	2,4/1,8	2,1/1,6	2,3/1,8	2,4/1,8	2,3/1,8
Фон + ПДК Zn	2,1/1,6	1,9/1,5	2,1/1,6	1,9/1,5	2,0/1,5
Фон+0,25ПДКСu	2,1/1,6	2,0/1,5	2,1/1,6	2,2/1,7	2,1/1,6
Фон+0,5 ПДК Cu	2,4/1,8	2,5/1,9	2,5/1,9	2,2/1,7	2,4/1,8
Фон+0,75ПДКСu	2,7/2,1	2,8/2,1	2,6/2,0	2,7/2,1	2,7/2,1
Фон + ПДК Cu	2,8/2,1	2,6/2,0	2,8/2,1	2,6/2,0	2,7/2,1

*Общая урожайность посчитана с учётом соцветий, в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Таблица 2 – Урожайность эхинацеи пурпурной эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, второй год жизни (1-й укос, 8 сентября 2017 года)

Вариант	Урожайность, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	13,5/10,4	14,0/10,7	13,0/10,0	11,9/9,1	13,1/10,1
Фон (N ₁₂₅)	14,4/10,9	15,2/11,5	14,6/11,1	15,0/11,4	14,8/11,2
Фон+0,25ПДКZn	16,0/11,9	15,6/11,6	15,2/11,3	14,8/11,1	15,4/11,5
Фон+0,5 ПДК Zn	16,2/12,7	15,7/12,3	15,8/12,4	16,3/12,8	16,0/12,5
Фон+0,75ПДКZn	12,2/9,4	12,0/9,2	11,5/8,8	12,3/9,5	12,0/9,2
Фон + ПДК Zn	12,7/10,1	12,3/9,7	12,4/9,8	12,6/10,0	12,5/9,9
Фон+0,25ПДКСu	15,6/12,1	16,2/12,5	15,5/12,0	15,9/12,3	15,8/12,2
Фон+0,5 ПДК Cu	20,0/15,2	19,4/14,7	19,2/14,6	19,0/14,4	19,4/14,7
Фон+0,75ПДК Cu	22,1/17,3	22,5/17,6	21,7/17,0	22,1/17,3	22,1/17,3
Фон + ПДК Cu	24,0/18,7	23,2/18,1	23,5/18,3	24,1/18,8	23,7/18,5

*Общая урожайность посчитана с учётом соцветий, в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Приложение Г

Таблица 1 – Урожайность эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, третий год жизни (1-й укос, 13 сентября 2018 года)

Вариант	Урожайность, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	14,2/11,0	14,5/11,2	14,1/10,9	14,4/11,1	14,3/11,0
Фон(N ₁₂₅)	15,6/12,2	15,3/12,0	15,5/12,1	15,6/12,2	15,5/12,1
Фон+0,25ПДК Zn	17,1/13,4	15,9/12,4	16,4/12,8	17,0/13,3	16,6/13,0
Фон+0,5 ПДК Zn	19,4/15,1	20,1/15,7	19,5/15,2	19,8/15,4	19,7/15,4
Фон+0,75 ПДК Zn	16,3/12,3	15,9/12,0	16,0/12,1	15,8/11,9	16,0/12,1
Фон + ПДК Zn	16,5/13,0	15,5/12,2	15,3/12,0	15,5/12,2	15,7/12,3
Фон+0,25ПДК Cu	20,3/15,5	19,7/15,1	20,0/15,3	19,6/15,0	19,9/15,2
Фон+0,5 ПДК Cu	21,8/17,0	21,4/16,7	22,1/17,2	21,5/16,7	21,7/16,9
Фон+0,75 ПДК Cu	24,2/19,0	23,4/18,4	23,7/18,6	23,5/18,5	23,7/18,6
Фон + ПДК Cu	24,6/19,4	23,9/18,9	24,5/19,3	23,4/18,5	24,1/19,0

*Общая урожайность посчитана с учётом соцветий, в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Таблица 2 – Урожайность соцветий эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, второй год жизни (1-й укос, 8 сентября 2017 года)

Вариант	Урожайность, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	2,0/1,5	2,1/1,6	1,8/1,4	1,7/1,3	1,9/1,5
Фон(N ₁₂₅)	1,9/1,4	2,1/1,6	1,8/1,4	1,8/1,4	1,9/1,4
Фон+0,25ПДК Zn	3,0/2,2	2,8/2,1	3,1/2,3	2,7/2,0	2,9/2,2
Фон+0,5 ПДК Zn	3,8/3,0	3,5/2,7	3,6/2,8	3,5/2,7	3,6/2,8
Фон+0,75 ПДК Zn	2,2/1,7	2,4/1,9	2,7/2,1	2,3/1,8	2,4/1,9
Фон + ПДК Zn	2,0/1,6	2,3/1,8	2,5/2,0	2,0/1,6	2,2/1,7
Фон+0,25ПДК Cu	3,2/2,5	2,8/2,2	2,9/2,2	2,7/2,1	2,9/2,2
Фон+0,5 ПДК Cu	3,4/2,6	3,1/2,4	3,3/2,5	3,4/2,6	3,3/2,5
Фон+0,75 ПДК Cu	4,7/3,7	4,3/3,4	4,2/3,3	4,8/3,8	4,5/3,5
Фон + ПДК Cu	5,1/4,0	4,8/3,7	5,3/4,1	4,8/3,7	5,0/3,9

* в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Приложение Д

Таблица 1 – Урожайность соцветий эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, третий год жизни (1-й укос, 13 сентября 2018 года)

Вариант	Урожайность, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	2,7/2,1	3,0/2,3	2,9/2,2	3,0/2,3	2,9/2,2
Фон(N ₁₂₅)	3,3/2,6	2,9/2,3	3,1/2,4	3,1/2,4	3,1/2,4
Фон+0,25ПДК Zn	5,5/4,3	5,1/4,0	5,0/3,9	5,6/4,4	5,3/4,2
Фон+0,5 ПДК Zn	6,3/4,9	6,1/4,8	6,5/5,1	5,9/4,6	6,2/4,8
Фон+0,75 ПДК Zn	4,6/3,5	4,5/3,4	5,0/3,8	5,1/3,9	4,8/3,6
Фон + ПДК Zn	4,0/3,1	3,8/3,0	4,4/3,5	4,2/3,3	4,1/3,2
Фон+0,25ПДК Cu	4,0/3,1	4,6/3,5	4,3/3,3	4,3/3,3	4,3/3,3
Фон+0,5 ПДК Cu	5,8/4,5	6,3/4,9	5,9/4,6	6,0/4,7	6,0/4,7
Фон+0,75 ПДК Cu	7,7/6,1	7,0/5,5	7,4/5,8	7,5/5,9	7,4/5,8
Фон + ПДК Cu	7,4/5,8	7,8/6,2	7,5/5,9	8,1/6,4	7,7/6,1

* в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Таблица 2 – Урожайность корневищ эхинацеи пурпурной (Опытное поле ОмГАУ, мелкоделяночный опыт, третий год жизни (1-й укос, 13 сентября 2018 года)

Вариант	Урожайность корневищ, т				Среднее, т
	I	II	III	IV	
Контроль	8,8/7,7	9,3/8,1	9,1/7,9	9,2/8,0	9,1/7,9
Фон(N ₁₂₅)	10,0/8,7	9,4/8,2	9,7/8,4	9,7/8,4	9,7/8,4
Фон+0,25ПДК Zn	10,1/8,8	9,8/8,5	10,4/9,1	10,1/8,8	10,1/8,8
Фон+0,5 ПДК Zn	12,4/10,8	11,8/10,3	12,0/10,4	12,2/10,6	12,1/10,5
Фон+0,75 ПДК Zn	9,7/8,4	10,4/9,1	10,0/8,7	9,9/8,6	10,0/8,7
Фон + ПДК Zn	10,0/8,7	9,8/8,5	9,6/8,4	9,8/8,5	9,8/8,5
Фон+0,25ПДК Cu	12,0/10,4	12,7/11,1	12,1/10,5	12,8/11,1	12,4/10,8
Фон+0,5 ПДК Cu	13,6/11,8	13,3/11,6	13,5/11,8	13,9/12,1	13,6/11,8
Фон+0,75 ПДК Cu	14,9/13,0	14,2/12,4	14,6/12,7	14,7/12,8	14,6/12,7
Фон + ПДК Cu	15,0/13,1	14,8/12,9	15,3/13,3	14,9/13,0	15,0/13,1

* в числителе – урожайность сырой массы, в знаменателе – урожайность абсолютно сухого вещества

Приложение Е

Содержание подвижного цинка в слое почвы (0–30 см) при внесении микроудобрений на азотном фоне, 2016-2018 гг.

Внесено Zn и Cu, кг/га	Содержание Zn в почве, мг/кг				
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.	2016-2018 гг.
Контроль	1,8 ± 0,42*	1,7 ± 0,65*	1,2 ± 0,33*	1,5 ± 0,69*	1,6 ± 0,54 *
N ₁₂₅ (Фон)	1,7 ± 0,43**	1,6 ± 0,66**	1,1 ± 0,34**	1,4 ± 0,71**	1,5 ± 0,55**
Фон + 10,7 Zn кг д.в./га	5,6 ± 0,01 /+229,4	8,7 ± 0,13/+443,7	4,2 ± 0,01/+281,8	6,5 ± 0,10/+364,3	6,2 ± 0,05/+313,3
Фон + 21,4 Zn кг д.в./га	6,9 ± 0,15/+305,9	9,9 ± 0,26/+518,7	5,3 ± 0,13/+381,8	7,6 ± 0,27/+442,9	7,4 ± 0,21/+393,3
Фон + 32,4 Zn кг д.в./га	8,5 ± 0,33/+400	13,2 ± 0,63/+725	6,4 ± 0,25/+481,8	9,8 ± 0,62/+600	9,4 ± 0,47/+526,7
Фон + 42,8 Zn кг д.в./га	11,6 ± 0,67/+528,3	18,0 ± 1,17/+1025	7,5 ± 0,37/+581,8	12,8 ± 1,09/+814,3	12,4 ± 0,85/+726,7
Фон + 2,3 Cu кг д.в./га	2,9 ± 0,30/+70,6	3,3 ± 0,47/+106,2	3,0 ± 0,13/+172,7	3,2 ± 0,42/0,128,6	3,1 ± 0,35/+106,7
Фон + 4,7 Cu кг д.в./га	4,1 ± 0,16/+141,2	4,7 ± 0,32/+193,7	3,5 ± 0,07/+218,2	4,1 ± 0,28/+192,9	4,1 ± 0,22/+173,3
Фон + 7,0 Cu кг д.в./га	5,3 ± 0,03/+211,8	6,2 ± 0,15/+287,5	4,3 ± 0,02/+290,9	5,3 ± 0,09/+278,6	5,3 ± 0,06/253,3
Фон + 9,4 Cu кг д.в./га	7,3 ± 0,19/+329,4	8,1 ± 0,06/+406,5	5,1 ± 0,11/+363,6	6,6 ± 0,11/+371,4	6,8 ± 0,13/353,3
<p>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$. *стандартные ошибки средних ($\pm SEM$); **В числителе – содержание микроэлемента в мг/кг почвы, в знаменателе – изменения по сравнению с фоном (%). 2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2017-2018 гг. – $n=20$, 2016-2018 гг. – $n=30$.</p>					

Приложение Ж

Содержание подвижной меди в слое почвы (0–30 см) при внесении микроудобрений на азотном фоне, 2016-2018 гг.

Внесено Zn и Cu, кг/га	Содержание Cu в почве, мг/кг				
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.	2016-2018 гг.
Контроль	0,11 ± 0,002*	0,13 ± 0,011*	0,15 ± 0,017*	0,14 ± 0,02*	0,13 ± 0,016*
N ₁₂₅ (Фон)	0,12 ± 0,001**	0,14 ± 0,01**	0,5 ± 0,006**	0,32 ± 0,012**	0,25 ± 0,01**
Фон+10,7Zn кг дв/га	0,14 ± 0,001/+16,7	0,30 ± 0,008/+114,3	0,52 ± 0,004/+4,0	0,41 ± 0,002/+28,1	0,32 ± 0,002/28,0
Фон+21,4Zn кг дв/га	0,17 ± 0,005/+25,0	0,33 ± 0,011/+135,7	0,54 ± 0,002/+8,0	0,44 ± 0,007/+37,5	0,35 ± 0,006/40,0
Фон+32,4Zn кг дв/га	0,11 ± 0,002/-8,3	0,23 ± 0,001/+64,3	0,56 ± 0,001/+12,0	0,40 ± 0,001/+25,0	0,30 ± 0,001/20,0
Фон+42,8Zn кг дв/га	0,10 ± 0,003/-16,7	0,22 ± 0,001/+57,1	0,59 ± 0,004/+18,0	0,41 ± 0,002/28,1	0,30 ± 0,002/20,0
Фон+2,3Cu кг дв/га	0,09 ± 0,004/-25,0	0,16 ± 0,008/+14,3	0,51 ± 0,005/+0,5	0,34 ± 0,009/+0,6	0,25 ± 0,007/-
Фон+4,7Cu кг дв/га	0,10 ± 0,003/-16,7	0,20 ± 0,003/+42,8	0,58 ± 0,003/+16,0	0,39 ± 0,001/+2,2	0,29 ± 0,001/+16,0
Фон+7,0Cu кг дв/га	0,14 ± 0,001/+16,7	0,23 ± 0,001/+64,3	0,64 ± 0,01/+28,0	0,44 ± 0,007/+37,5	0,34 ± 0,006/+36,0
Фон+9,4Cu кг дв/га	0,19 ± 0,007/+58,3	0,35 ± 0,014/+150,0	0,7 ± 0,016/+40,0	0,53 ± 0,021/+65,5	0,41 ± 0,017/+64,0
<p>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$. *стандартные ошибки средних ($\pm SEM$); **В числителе – содержание микроэлемента в мг/кг почвы, в знаменателе – изменения по сравнению с фоном (%). 2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2017-2018 гг. – $n=20$, 2016-2018 гг. – $n=30$.</p>					

Приложение И

Содержание минеральных форм элементов питания в почве при возделывании эхинацеи пурпурной в фазу отрастания (после внесения удобрений), 2016-2018 гг.

Вариант	Содержание ЭМП, мг/кг								
	2016 год			2017 год			2018 год		
	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	8,7±0,70	74,0±4,59	111,45±5,9	15,99±1,1	41,40±2,12	95,5±8,63	8,03±0,24	30,0±0,96	92,77±1,78
Фон (N ₁₂₅)	12,15±0,31	99,0±1,79	135,55±3,21	22,0±0,43	52,61±0,87	130,06±4,76	10,34±0,02	27,83±1,20	98,69±1,12
Фон+0,25ПДК Zn (10,7 кг д в/га)	17,18±0,25	104,0±1,24	173,57±1,05	26,1±0,03	72,88±1,4	143,25±3,29	11,83±0,19	31,31±0,81	110,53±0,2
Фон+0,5 ПДК Zn (21,4 кг д в/га)	21,9±0,78	116,0±0,11	183,61±2,17	28,25±0,27	79,45±2,13	175,68±0,34	12,86±0,30	32,39±0,69	122,37±1,53
Фон+0,75 ПДК Zn (32,4 кг д в/га)	14,68±0,03	111,0±0,45	162,09±0,24	25,81±0,01	55,62±0,53	161,48±1,25	10,15±0,01	40,87±0,26	106,58±0,24
Фон + ПДК Zn (42,8 кг д в/га)	14,45±0,06	97,0±2,02	133,34±3,45	24,40±0,16	55,89±0,5	163,78±0,99	6,93±0,36	41,31±0,31	98,68±1,12
Фон+0,25ПДК Cu (2,3 кг д в/га)	14,0±0,11	119,0±0,44	166,39±0,24	25,43±0,04	54,66±0,64	227,03±6,08	9,44±0,08	40,0±0,16	92,74±1,78
Фон+0,5 ПДК Cu (4,7кг д в/га)	14,93±0,01	122,0±0,78	176,44±1,37	27,74±0,22	58,78±0,18	219,0±5,18	10,0±0,02	40,22±0,19	102,63±0,68
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д в/га)	15,5±0,06	152,0±4,13	200,71±4,08	30,82±0,56	63,70±0,37	210,81±4,27	10,66±0,06	49,35±1,21	127,63±2,12
Фон + ПДК Cu (9,4кг д в/га)	16,12±0,3	156,5±4,63	199,03±3,89	31,59±0,65	68,60±0,92	200,0±3,06	11,18±0,12	52,18±1,52	134,42±2,88
<p>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$. *стандартные ошибки средних ($\pm SEM$); 2016, 2017, 2018 г. – $n=40$.</p>									

Приложение К

Содержание минеральных форм элементов питания в почве при возделывании эхинацеи пурпурной в фазу цветения (после внесения удобрений), 2016-2018 гг.

Вариант	Содержание ЭМП, мг/кг								
	2016 год			2017 год			2018 год		
	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	8,28±1,03	89,17±9,55	101,3±6,56	11,97±0,79	32,28±1,79	100,0±10,0	8,31±0,89	33,33±3,62	83,65±1,22
Фон (N ₁₂₅)	13,85±0,41	100,0±8,34	100,19±6,68	14,33±0,53	38,93±1,04	120,0±7,79	10,84±0,61	48,29±1,95	85,39±1,03
Фон+0,25ПДК Zn (10,7 кг д в/га)	19,83±0,26	193,75±2,14	103,28±6,34	14,46±0,51	43,03±0,58	183,3±0,71	18,31±0,23	64,10±0,18	88,55±0,68
Фон+0,5 ПДК Zn (21,4 кг д в/га)	25,27±0,87	231,94±6,41	133,4±2,97	21,77±0,3	55,06±0,76	205,0±1,71	25,2±1,0	71,79±0,68	90,66±0,44
Фон+0,75 ПДК Zn (32,4 кг д в/га)	17,50±0,01	225,0±5,63	156,0±0,44	23,68±0,52	41,77±0,72	208,8±2,14	21,47±0,58	79,91±1,59	107,53±1,45
Фон + ПДК Zn (42,8 кг д в/га)	17,66±0,02	262,5±9,83	202,26±4,73	17,03±0,23	47,91±0,04	240,0±5,63	16,5±0,03	60,9±0,54	92,8±0,20
Фон+0,25ПДК Cu (2,3 кг д в/га)	15,99±0,17	130,21±4,96	157,05±0,33	14,96±0,46	46,04±0,25	173,0±1,86	11,78±0,5	66,67±0,11	93,3±0,15
Фон+0,5 ПДК Cu (4,7кг д в/га)	16,67±0,09	136,46±4,27	183,89±2,67	18,94±0,01	55,10±0,77	215,0±2,83	14,58±0,19	72,65±0,78	97,25±0,3
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д в/га)	17,27±0,03	182,29±0,86	217,0±6,38	24,93±0,66	60,76±1,4	220,0±3,39	16,84±0,06	79,92±1,59	100,34±0,64
Фон + ПДК Cu (9,4кг д в/га)	22,71±0,58	194,79±2,26	245,29±9,54	28,42±1,05	61,65±1,5	231,7±4,70	18,9±0,29	79,5±1,54	106,5±1,33
<p><i>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при p<0,05.</i></p> <p><i>*стандартные ошибки средних (±SEM); 2016, 2017, 2018 г. – n=40.</i></p>									

Приложение Л

Математические модели связи содержания макроэлементов (мг/кг) в лугово-черноземной почве под эхинацеей пурпурной с оптимальными дозами применения цинка и меди (Zn, Cu, кг д.в./га), 2016-2018 гг.

Фаза развития		Уравнение регрессии		r/η
Фаза отрастания	2016 г.	$N-NO_3 = 0,46 Zn_{21,4} + 12,20;$	(66)	0,99
		$N-NO_3 = 0,40 Cu_{9,4} + 12,66;$	(67)	0,96
		$P_2O_5 = 0,79 Zn_{21,4} + 97,83;$	(68)	0,98
		$P_2O_5 = 6,29 Cu_{9,4} + 100,28;$	(69)	0,97
		$K_2O = 2,25 Zn_{21,4} + 140,21;$	(70)	0,95
		$K_2O = 6,85 Cu_{9,4} + 143,57;$	(71)	0,95
	2017 г.	$N-NO_3 = 0,29 Zn_{21,4} + 22,33;$	(72)	0,98
		$N-NO_3 = 1,04 Cu_{9,4} + 22,63;$	(73)	0,98
		$P_2O_5 = 1,25 Zn_{21,4} + 54,89;$	(74)	0,96
		$P_2O_5 = 1,75 Cu_{9,4} + 51,50;$	(75)	0,99
		$K_2O = 2,13 Zn_{21,4} + 126,85;$	(76)	0,97
		$K_2O = -2,63 Cu_{9,4}^2 + 31,13 Cu_{9,4} + 142,55;$	(77)	0,89
2018 г.	$N-NO_3 = 0,12 Zn_{21,4} + 10,42;$	(78)	0,99	
	$N-NO_3 = 0,12 Cu_{9,4} + 9,74;$	(79)	0,70	
	$P_2O_5 = 0,21 Zn_{21,4} + 28,33;$	(80)	0,96	
	$P_2O_5 = 2,47 Cu_{9,4} + 30,38;$	(81)	0,96	
	$K_2O = 1,11 Zn_{21,4} + 98,69;$	(82)	0,99	
	$K_2O = 7,45 Cu_{9,4} + 90,30;$	(83)	0,97	
Фаза цветения	2016 г.	$N-NO_3 = 0,53 Zn_{21,4} + 13,94;$	(84)	0,99
		$N-NO_3 = 0,27 Cu_{9,4} + 16,01;$	(85)	0,99
		$P_2O_5 = 6,17 Zn_{21,4} + 109,26;$	(86)	0,97
		$P_2O_5 = 11,14 Cu_{9,4} + 123,66;$	(87)	0,92
		$K_2O = 1,55 Zn_{21,4} + 95,69;$	(88)	0,91
		$K_2O = 13,06 Cu_{9,4} + 184,93;$	(89)	0,99
	2017 г.	$N-NO_3 = 0,35 Zn_{21,4} + 13,13;$	(90)	0,87
		$N-NO_3 = 1,62 Cu_{9,4} + 12,72;$	(91)	0,97
		$P_2O_5 = 0,75 Zn_{21,4} + 37,61;$	(92)	0,96
		$P_2O_5 = 2,56 Cu_{9,4} + 40,52;$	(93)	0,97
		$K_2O = 3,97 Zn_{21,4} + 126,93;$	(94)	0,96
		$K_2O = 7,72 Cu_{9,4} + 182,92;$	(95)	0,91
2018 г.	$N-NO_3 = 0,67 Zn_{21,4} + 10,94;$	(96)	0,99	
	$N-NO_3 = 1,01 Cu_{9,4} + 12,0;$	(97)	0,99	
	$P_2O_5 = 1,10 Zn_{21,4} + 49,64;$	(98)	0,98	
	$P_2O_5 = 1,97 Cu_{9,4} + 67,71;$	(99)	0,94	
	$K_2O = 0,25 Zn_{21,4} + 85,57;$	(100)	0,99	
	$K_2O = 1,82 Cu_{9,4} + 92,97.$	(101)	0,99	

Приложение М

Вынос микроэлементов с урожаем эхинацеи пурпурной в зависимости от применения цинковых и медных удобрений, полевые опыты 2016-2018 гг.

Вариант опыта	2016 год		2017 год		2018 год		Средний вынос, кг/га (2016-2018 гг.)		Вынос единиц продукции, г/т	
	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	0,002
N ₁₂₅ (Фон)	0,007	0,003	0,047	0,021	0,052	0,023	0,035	0,016	0,004	0,0019
Фон+10,7Znкг дв/га	0,014	0,005	0,098	0,021	0,221	0,023	0,111	0,016	0,013	0,0018
Фон+21,4Znкг дв/га	0,016	0,006	0,134	0,035	0,288	0,033	0,146	0,025	0,015	0,0025
Фон+32,4Znкг дв/га	0,018	0,009	0,111	0,031	0,238	0,027	0,122	0,022	0,016	0,0028
Фон+42,8Znкг дв/га	0,017	0,010	0,149	0,039	0,260	0,031	0,142	0,027	0,018	0,0034
Фон+2,3Cuкг дв/га	0,011	0,005	0,113	0,034	0,207	0,030	0,111	0,023	0,011	0,0023
Фон+4,7Cuкг дв/га	0,014	0,005	0,209	0,057	0,306	0,034	0,176	0,032	0,016	0,0029
Фон+7,0Cuкг дв/га	0,019	0,005	0,265	0,083	0,366	0,062	0,217	0,050	0,017	0,0039
Фон+9,4Cuкг дв/га	0,021	0,005	0,381	0,107	0,395	0,091	0,266	0,068	0,020	0,0051

Приложение Н

Вынос макроэлементов с урожаем эхинацеи пурпурной в зависимости от применения цинковых и медных удобрений, 2016-2018 гг.

Вариант опыта	2016 год			2017 год			2018 год			Средний вынос в кг/га (2016-2018 гг.)		
	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
Абс. контроль	53,7	4,95	91,2	130,3	30,3	316,0	249,7	39,6	173,4	144,6	25,0	193,6
Фон (N ₁₂₅)	51,8	4,9	89,5	137,8	29,1	357,2	308,6	48,4	196,6	166,0	27,5	214,4
Фон+ Zn _{10,7}	69,1	5,94	129,7	154,1	35,7	365,3	321,1	55,9	222,1	181,4	32,5	239,1
Фон+ Zn _{21,4}	74,1	7,03	137,0	180,0	38,8	410,6	348,0	75,46	296,5	200,7	40,4	281,4
Фон+ Zn _{32,4}	70,7	8,28	129,7	140,8	23,9	335,5	318,2	61,71	225,7	176,6	31,3	230,3
Фон+ Zn _{42,8}	54,9	5,85	108,1	151,5	27,7	302,6	277,9	72,57	229,4	161,5	35,4	213,4
Фон+ Cu _{2,3}	64,6	6,72	113,4	163,5	37,8	393,5	335,9	63,84	265,2	188,0	36,1	257,4
Фон+ Cu _{4,7}	75,1	7,56	127,6	199,9	45,6	486,5	381,9	77,74	305,1	219,0	43,6	306,4
Фон+ Cu _{7,0}	87,6	9,45	151,4	249,1	55,4	601,6	465,0	91,14	358,1	267,2	52,0	370,4
Фон+ Cu _{9,4}	100,8	10,5	159,5	284,9	64,8	679,0	370,5	102,6	379,5	252,1	59,3	406,1
Вынос единиц продукции в кг/т												
Абс. контроль	35,8	3,3	60,8	12,9	3,0	31,3	22,7	3,6	15,8	23,8	3,3	36,0
Фон (N ₁₂₅)	37,0	3,5	63,9	12,3	2,6	31,9	25,5	4,0	16,2	24,9	3,4	37,4
Фон+ Zn _{10,7}	38,4	3,3	72,1	13,4	3,1	31,8	24,7	4,3	17,1	25,5	3,6	40,3
Фон+ Zn _{21,4}	39,0	3,7	72,1	14,4	3,1	32,9	22,6	4,9	19,3	25,3	3,9	41,4
Фон+ Zn _{32,4}	39,3	4,6	72,1	15,3	2,6	36,5	26,3	5,1	18,7	27,0	4,1	42,4
Фон+ Zn _{42,8}	36,6	3,9	72,1	15,3	2,8	30,6	22,6	5,9	18,7	24,8	4,2	40,5
Фон+ Cu _{2,3}	40,4	4,2	70,9	13,4	3,1	32,3	22,1	4,2	17,4	25,3	3,8	40,2
Фон+ Cu _{4,7}	41,7	4,2	70,9	13,6	3,1	33,1	22,6	4,6	18,1	26,0	4,0	40,7
Фон+ Cu _{7,0}	41,7	4,5	72,1	14,4	3,2	34,8	25,0	4,9	19,3	27,0	4,2	42,1
Фон+ Cu _{9,4}	48,0	5,0	75,9	15,4	3,5	36,7	19,5	5,4	20,0	27,6	4,6	44,2

Приложение II

Валовое содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения, 2016-2018 гг.

Вариант	Содержание ЭМП, %											
	2016 год			2017 год			2018 год			2016-2018 гг.		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль	3,58±0,04	0,14±0,003	5,05±0,09	1,29±0,01	0,13±0,001	2,6±0,02	2,27±0,01	0,16±0,005	1,31±0,02	2,38±0,03	0,14±0,003	3,00±0,47
Фон (N ₁₂₅)	3,70±0,03	0,14±0,003	5,31±0,06	1,23±0,02	0,11±0,002	2,65±0,01	2,55±0,02	0,18±0,003	1,35±0,02	2,49±0,01	0,14±0,003	3,10±0,034
Фон+0,25ПДК Zn (10,7 кг д.в/га)	3,84±0,02	0,11±0,007	5,99±0,02	1,34±0,01	0,14±0,001	2,64±0,01	2,47±0,01	0,19±0,002	1,42±0,01	2,55±0,003	0,15±0,002	3,35±0,002
Фон+0,5ПДК Zn (21,4 кг д.в/га)	3,90±0,01	0,17±0,001	5,99±0,02	1,44±0,01	0,13±0,001	2,73±0,01	2,26±0,01	0,21±0,001	1,6±0,011	2,53±0,005	0,17±0,001	3,44±0,009
Фон+0,75 ПДК Zn (32,4 кг д.в/га)	3,93±0,01	0,22±0,005	5,99±0,02	1,53±0,01	0,11±0,002	3,03±0,03	2,63±0,03	0,22±0,002	1,55±0,006	2,70±0,017	0,18±0,002	3,53±0,021
Фон + ПДК Zn (42,8 кг д.в/га)	3,66±0,04	0,16±0,001	5,99±0,02	1,53±0,01	0,12±0,001	2,54±0,02	2,26±0,01	0,26±0,006	1,55±0,006	2,48±0,012	0,18±0,002	3,36±0,001
Фон+0,25ПДК Cu (2,3 кг д.в/га)	4,04±0,01	0,16±0,001	5,89±0,01	1,34±0,01	0,13±0,001	2,68±0,01	2,21±0,01	0,18±0,003	1,45±0,005	2,53±0,005	0,16±0,001	3,34±0,003
Фон+0,5ПДК Cu (4,7кг д.в/га)	4,17±0,02	0,18±0,001	5,89±0,01	1,36±0,01	0,13±0,001	2,75±0,01	2,26±0,01	0,20±0,001	1,5±0,001	2,60±0,004	0,17±0,001	3,38±0,002
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д.в/га)	4,17±0,02	0,20±0,003	5,99±0,02	1,44±0,01	0,14±0,001	2,89±0,01	2,50±0,02	0,21±0,001	1,6±0,011	2,70±0,017	0,18±0,002	3,50±0,017
Фон + ПДК Cu (9,4кг д.в/га)	4,80±0,09	0,23±0,007	6,31±0,05	1,54±0,02	0,15±0,002	3,05±0,03	1,95±0,04	0,23±0,003	1,66±0,018	2,76±0,024	0,20±0,004	3,67±0,039

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.

*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).

2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2016-2018 гг. – $n=30$.

Приложение Р

Коэффициенты использования питательных веществ из лугово-черноземной почвы лекарственными растениями
эхинацеи пурпурной в фазу цветения (период уборки культуры), 2016-2018 гг.

Вариант	КИП, %																			
	2016 год					2017 год					2018 год					2016-2018 гг.				
	Zn	Cu	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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Абс. контроль	0,12	0,87	64,31	1,54	25,0	0,68	4,32	75,15	26,07	87,8	1,03	1,45	89,30	33,00	57,6	0,55	1,95	80,8	13,4	56,6
Фон(N ₂₅)	0,12	0,79	50,95	1,36	24,8	0,84	4,22	72,75	20,78	82,7	1,31	1,28	88,77	27,84	63,9	0,67	1,75	78,0	12,2	58,5
Фон+0,25ГДКZn (10,7кг д.в./га)	0,07	0,98	49,19	0,85	34,9	0,31	1,92	74,75	23,01	55,4	1,47	1,22	82,97	24,22	69,7	0,50	1,39	74,2	9,0	53,1
Фон+0,5ГДКZn (21,4кг д.в./га)	0,07	0,93	44,89	0,84	28,6	0,38	2,95	69,67	19,55	55,6	1,52	1,72	79,32	29,20	90,8	0,55	2,00	69,8	9,4	54,7
Фон+0,75ГДКZn (32,4кг д.в./га)	0,06	2,23	52,89	1,02	23,1	0,23	3,78	62,28	15,91	44,6	1,03	1,34	80,46	21,45	58,3	0,36	2,04	70,1	7,5	40,6
Фон+ГДКZn (42,8кг д.в./га)	0,04	2,83	46,34	0,62	14,9	0,23	4,88	71,19	16,07	35,0	0,97	1,47	82,39	33,10	68,7	0,32	2,47	72,4	7,9	33,2
Фон+0,25ГДКСu (2,3кг д.в./га)	0,11	1,39	52,90	1,43	20,1	0,97	5,97	75,22	22,82	63,2	1,92	1,66	88,79	26,60	79,0	1,01	2,52	78,6	12,4	50,7
Фон+0,5ГДКСu (4,7кг д.в./га)	0,09	1,28	55,57	1,54	19,3	1,23	7,88	74,57	22,97	62,9	2,43	1,62	87,92	29,72	87,1	1,19	3,03	78,4	13,8	51,5
Фон+0,75ГДКСu (7,0кг д.в./га)	0,10	0,96	58,48	1,44	19,4	1,19	10,07	73,52	25,31	76,0	2,35	2,69	88,47	31,68	99,1	1,14	4,13	79,0	13,4	57,5
Фон+ГДКСu (9,4кг д.в./га)	0,08	0,69	55,22	1,50	18,1	1,31	8,49	73,58	29,17	81,4	2,15	3,62	84,48	35,85	99,0	1,08	4,57	75,0	14,7	58,0

Приложение С

Коэффициент использования цинка, меди и азота из внесенных удобрений растениями эхинацеи пурпурной (в среднем за 2016-2018 гг.)

Вариант	КИУ, %			ПЭУ		
	Zn	Cu	N	Zn	Cu	N
Фон (N ₁₂₅)	-	-	17,18	-	-	11,34
Фон+0,25ПДК Zn (10,7 кг д.в./га)	0,65	-	29,50	0,07	0,010	21,44
Фон+0,5ПДК Zn (21,4 кг д.в./га)	0,51	0,04	44,92	0,12	0,020	38,93
Фон+0,75ПДК Zn (32,4 кг д.в./га)	0,25	0,02	25,62	-	-	3,67
Фон + ПДК Zn (42,8 кг д.в./га)	0,23	0,03	13,51	-	-	6,54
Фон+0,25ПДК Cu (2,3 кг д.в./га)	3,04	0,30	34,76	0,75	0,155	34,11
Фон+0,5 ПДК Cu (4,7 кг д.в./га)	2,98	0,34	59,53	0,98	0,178	56,81
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д.в./га)	2,57	0,49	98,14	1,10	0,253	87,53
Фон + ПДК Cu (9,4 кг д.в./га)	2,45	0,55	86,01	1,07	0,274	87,08

Приложение Т

Содержание цинка в растениях эхинацеи пурпурной, мг/кг в фазу цветения в зависимости от доз микроэлементов, полевые опыты 2016-2018 гг.

Вариант опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.	2016-2018 гг.
Контроль	5,2 ± 0,33 *	4,1 ± 0,82*	4,00 ± 1,31*	4,1 ± 1,5*	4,4 ± 0,95*
Фон (N ₁₂₅)	5,2 ± 0,33**	4,2 ± 0,80**	4,30 ± 1,27**	4,3 ± 1,47**	4,6 ± 0,92**
Содержание цинка в растениях при внесении цинка					
Фон + 10,7 Zn кг д.в./га	7,9 ± 0,02 /+51,9	8,5 ± 0,32 /+102,4	17,0 ± 0,15 /+295,4	12,8 ± 0,12 /+197,7	11,1 ± 0,08 /+141,3
Фон + 21,4 Zn кг д.в./га	8,6 ± 0,05 /+67,3	10,7 ± 0,08 /+154,8	18,7 ± 0,34 /+334,9	14,7 ± 0,18 /+241,9	12,7 ± 0,13 /+176,9
Фон + 32,4 Zn кг д.в./га	9,8 ± 0,19 /+88,5	12,1 ± 0,08 /+188,1	19,6 ± 0,44 /+355,8	15,9 ± 0,37 /+269,8	13,8 ± 0,27 /+200,0
Фон + 42,8 Zn кг д.в./га	11,2 ± 0,35 /+115,4	15,0 ± 0,40 /+257,1	21,1 ± 0,60 /+390,7	18,1 ± 0,72 /+320,9	15,8 ± 0,53 /+243,5
Содержание цинка в растениях при внесении меди					
Фон + 2,3 Cu кг д.в./га	6,9 ± 0,14 /+32,7	9,3 ± 0,23 /+121,4	13,6 ± 0,23 /+216,3	11,5 ± 0,33 /+167,4	9,9 ± 0,24 /+115,2
Фон + 4,7 Cu кг д.в./га	7,6 ± 0,06 /+46,2	14,2 ± 0,31 /+238,0	18,1 ± 0,27 /+320,9	16,2 ± 0,41 /+276,7	13,3 ± 0,20 /+189,1
Фон + 7,0 Cu кг д.в./га	8,9 ± 0,09 /+71,2	15,3 ± 0,44 /+264,3	19,7 ± 0,45 /+358,1	17,5 ± 0,62 /+306,9	14,6 ± 0,37 /+217,4
Фон + 9,4 Cu кг д.в./га	9,8 ± 0,19 /+88,5	20,6 ± 1,03 /+390,5	20,8 ± 0,57 /+383,7	20,7 ± 1,13 /+381,4	17,1 ± 0,69 /+271,7
<p>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.</p> <p>*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$);</p> <p>**В числителе – содержание микроэлемента в мг/кг почвы, в знаменателе – изменения по сравнению с фоном (%).</p> <p>МДУ Zn – 50 мг/кг; 2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2017-2018 гг. – $n=20$, 2016-2018 гг. – $n=30$.</p>					

Приложение У

Содержание меди в растениях эхинацеи пурпурной, мг/кг в фазу цветения в зависимости от доз микроэлементов,
полевые опыты 2016-2018 гг.

Вариант опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.	2016-2018 гг.
Контроль	2,3±0,1*	2,0±0,15*	1,9±0,06*	1,95 ± 0,15*	2,07±0,12*
Фон (N ₁₂₅)	2,44±0,09**	1,9±0,16**	1,9±0,06**	1,90 ± 0,16**	2,08±0,12**
Содержание меди в растениях при внесении меди					
Фон + 2,3 Cu кг д.в./га	2,82±0,04/+15,6	2,82±0,05/+18,4	2,0±0,05/+5,3	2,41±0,08/+26,8	2,55±0,06/+22,6
Фон + 4,7 Cu кг д.в./га	2,56±0,07/+4,9	3,86±0,06/+103,2	2,0±0,05/+5,3	2,93±0,01/+54,2	2,81±0,02/+35,1
Фон + 7,0 Cu кг д.в./га	2,3±0,1/-5,7	4,82±0,17/+153,7	3,33±0,1/+75,3	4,08±0,19/+114,7	3,48±0,06/+67,3
Фон + 9,4 Cu кг д.в./га	2,24±0,11/-8,2	5,78±0,28/+204,2	4,8±0,26/+152,6	5,29±0,38/+178,4	4,27±0,16/+105,3
Содержание меди в растениях при внесении цинка					
Фон + 10,7 Zn кг д.в./га	2,73±0,05 /+11,9	1,8±0,17 /-5,3	1,75±0,08 /-7,9	1,78±0,18 /-6,6	2,09±0,12 /+0,6
Фон + 21,4 Zn кг д.в./га	3,0±0,02 /+22,9	2,8±0,06 /+47,4	2,17±0,03 /+14,2	2,49±0,06 /+30,8	2,66±0,04 /+27,7
Фон + 32,4 Zn кг д.в./га	4,9±0,19 /+100,8	3,4±0,01 /+78,9	2,23±0,03 /+17,4	2,82±0,01 /+48,2	3,51±0,07 /+68,8
Фон + 42,8 Zn кг д.в./га	6,8±0,40 /+178,7	3,9±0,07 /+105,3	2,53±0,01 /+33,2	3,22±0,05 /+69,2	4,41±0,18 /+112,0
<p><i>Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при p<0,05.</i></p> <p><i>*стандартные ошибки средних (±SEM);</i></p> <p><i>**В числителе – содержание микроэлемента в мг/кг почвы, в знаменателе – изменения по сравнению с фоном (%).</i></p> <p><i>МДУ Cu – 30 мг/кг.</i></p> <p><i>2016, 2017, 2018 г. – n=40, 2017-2018 гг. - n=20, 2016-2018 гг. - n=30.</i></p>					

Приложение Ф

Коэффициенты концентрации микроэлементов (Zn и Cu) растениями эхинацеи пурпурной (Кк_р) за 2016-2018 гг.

<i>Варианты опыта</i>		<i>Кк_р Zn</i>			<i>Кк_р Cu</i>		
		<i>2016 г.</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2016 г.</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>
Фон + цинк	10,7 кг Zn/га	1,52 / 0,16	2,02 / 0,17	3,95 / 0,34	1,12 / 0,09	0,95 / 0,06	0,94 / 0,06
	21,4 кг Zn/га	1,65 / 0,17	2,55 / 0,21	4,35 / 0,37	1,23 / 0,10	1,47 / 0,09	1,31 / 0,08
	32,4 кг Zn/га	1,88 / 0,20	2,88 / 0,24	4,56 / 0,39	2,01 / 0,16	1,79 / 0,11	1,48 / 0,09
	42,8 кг Zn/га	2,15 / 0,22	3,57 / 0,30	4,91 / 0,42	2,79 / 0,23	2,05 / 0,13	1,69 / 0,11
Фон + медь	2,3 кг Cu/га	1,33 / 0,14	2,21 / 0,19	3,16 / 0,27	1,16 / 0,09	1,48 / 0,09	1,27 / 0,08
	4,7 кг Cu/га	1,46 / 0,15	3,38 / 0,28	4,21 / 0,36	1,05 / 0,09	2,03 / 0,13	1,54 / 0,10
	7,0 кг Cu/га	1,71 / 0,18	3,64 / 0,31	4,58 / 0,39	0,94 / 0,08	2,54 / 0,16	2,15 / 0,14
	9,4 кг Cu/га	1,88 / 0,20	4,83 / 0,41	4,84 / 0,42	0,92 / 0,07	3,04 / 0,19	2,78 / 0,18
<p><i>Примечание: в числителе - Кк_р относительно фонового варианта, в знаменателе – относительно МДУ.</i></p> <p><i>МДУ: Zn – 50 мг/кг, Cu – 30 мг/кг.</i></p>							

Приложение X

Коэффициенты накопления микроэлементов (Zn и Cu) растениями эхинацеи пурпурной за 2016-18 гг.

<i>Варианты опыта</i>		<i>Кн Zn</i>			<i>Кн Cu</i>		
		<i>2016 г.</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2016 г.</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>
Контроль		2,89*	2,41*	3,33**	20,91**	15,38**	4,75**
Фон (N ₁₂₅)		3,06**	2,63 *	3,91**	20,33**	13,57**	3,80**
Фон + цинк	10,7 кг Zn/га	1,41*	0,98*	4,05**	19,50**	6,00**	3,37**
	21,4 кг Zn/га	1,25*	1,08*	3,53**	17,65**	8,48**	4,02**
	32,4 кг Zn/га	1,15*	0,92*	3,06**	44,55***	14,78**	3,98**
	42,8 кг Zn/га	0,97*	0,83*	2,81*	68,00***	17,73**	4,29**
Фон + медь	2,3 кг Cu/га	2,38*	2,82*	4,53**	31,33***	17,63**	3,92**
	4,7 кг Cu/га	1,85*	3,02**	5,17**	25,60**	19,30**	3,45**
	7,0 кг Cu/га	1,68*	2,47*	4,58**	16,43**	20,96**	5,20**
	9,4 кг Cu/га	1,34*	2,54 *	4,08**	11,79**	16,51**	6,86**
Примечание : * среднее поглощение – 0,3-3, ** интенсивное поглощение – 3-30, ***весьма интенсивное поглощение – 30-300.							

Приложение Ц

Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу отрастания в зависимости от доз микроудобрений, полевые опыты 2016-2018 гг.

В мг/100 г

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	Nn	Pn	Kc	Nn	Pn	Kc	Nn	Pn	Kc
Контроль	188,57±17,3	12,03±0,39	410,5±4,63	140,63±4,76	15,57±0,74	366,18±6,94	110,53±4,92	8,57±0,08	312,57±6,3
Фон (N ₁₂₅)	308,60±3,9	12,27±0,37	416,46±3,96	150,75±3,63	16,39±0,65	395,47±3,67	143,68±1,21	8,58±0,26	322,64±5,18
Фон+0,25 ПДК Zn (10,7 кг д.в.га)	354,29±1,21	14,03±0,17	432,5±2,17	153,75±3,29	22,03±0,02	412,56±1,76	150,33±0,47	7,20±0,08	370,85±0,21
Фон+0,50 ПДК Zn (21,4 кг д.в.га)	360,71±1,93	16,12±0,06	466,5±1,63	181,25±0,22	22,67±0,05	483,36±6,16	170,53±1,79	9,46±0,18	372,62±0,41
Фон+0,75 ПДК Zn (32,4 кг д.в.га)	365,71±2,49	15,39±0,02	460,5±0,96	203,33±2,25	24,22±0,22	502,88±8,34	176,84±2,49	7,36±0,06	349,66±2,16
Фон+ ПДК Zn (42,8 кг д.в.га)	317,14±2,94	20,14±0,51	460,5±0,96	171,25±1,33	27,30±0,57	437,79±1,06	163,68±1,02	7,48±0,05	394,69±2,88
Фон+0,25 ПДК Cu (2,3 кг д.в.га)	374,29±3,45	16,54±0,11	454,5±0,29	197,50±1,6	22,95±0,08	401,98±2,94	129,47±2,8	7,64±0,03	354,96±1,56
Фон+0,50 ПДК Cu (4,7 кг д.в.га)	400±6,32	15,05±0,06	460,5±0,96	207,50±2,72	23,86±0,18	429,65±0,15	154,74±0,02	9,14±0,14	388,51±2,19
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д.в.га)	411,43±7,6	18,12±0,29	488,54±4,1	208,75±2,86	26,22±0,45	434,53±0,70	192,63±4,26	8,48±0,07	397,34±3,17
Фон+ ПДК Cu (9,4 кг д.в.га)	354±1,18	15,78±0,03	468,51±1,86	217,08±3,79	21,10±0,13	418,25±1,12	153,00±0,17	7,92±0,01	425,59±6,33

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при p<0,05.

**стандартные ошибки средних (±SEM).*

2016, 2017, 2018 г. – n=40.

Приложение Ш

Содержание макроэлементов в растениях эхинацеи пурпурной в фазу цветения в зависимости от доз
микроудобрений, полевые опыты 2016-2018 гг.

В мг/100 г

Вариант	2017 г.			2018 г.		
	Нн	Рн	Кс	Нн	Рн	Кс
Контроль	74,60±4,21	15,64±0,33	276,67±4,58	75,29±1,46	8,57±0,19	204,10±2,1
Фон (N ₁₂₅)	87,57±2,76	16,56±0,23	298,80±2,11	82,35±0,67	8,71±0,18	225,87±0,33
Фон+0,25 ПДК Zn (10,7 кг д.в.га)	90,81±2,4	21,62±0,33	345,83±3,15	85,29±0,34	11,33±0,12	220,43±0,28
Фон+0,50 ПДК Zn (21,4 кг д.в.га)	123,24±1,23	23,00±0,49	361,05±4,85	96,86±0,95	10,83±0,06	225,53±0,29
Фон+0,75 ПДК Zn (32,4 кг д.в.га)	126,49±1,59	18,75±0,01	309,18±0,95	92,94±0,52	9,98±0,03	230,63±0,86
Фон+ПДК Zn (42,8 кг д.в.га)	123,24±1,23	18,63±0,01	295,69±2,46	87,06±0,14	9,98±0,03	233,69±1,21
Фон+0,25 ПДК Cu (2,3 кг д.в.га)	115,68±0,38	15,95±0,3	302,95±1,64	84,71±0,41	11,79±0,17	231,65±0,98
Фон+0,50 ПДК Cu (4,7 кг д.в.га)	118,92±0,75	17,02±0,18	316,15±0,74	87,06±0,14	11,39±0,12	226,55±0,41
Фон+0,75 ПДК Cu (7,0 кг д.в.га)	122,43±1,14	18,40±0,03	332,00±1,6	94,12±0,65	10,32±0,01	222,47±0,05
Фон+ПДК Cu (9,4 кг д.в.га)	139,46±3,04	20,70±0,23	338,23±2,3	97,65±1,04	9,90±0,04	208,18±1,65

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при p<0,05.

**стандартные ошибок средних (±SEM);*

2017, 2018 г. – n=40.

Приложение Ш

Практические уравнения взаимосвязи содержания азота, фосфора и калия (мг/100 г) в растениях эхинацеи пурпурной дозами применения цинка и меди (Zn_{opt} , Cu_{opt} , кг д.в./га), 2016-2018 гг.

Фаза развития		Уравнение регрессии		r/η
Фаза отрастания	2016 г.	$N_H = 2,43Zn_{21,4} + 315,15;$	(161)	0,92
		$N_H = 5,40Cu_{9,4} + 344,38;$	(162)	0,49
		$P_H = 1,80 Zn_{21,4} + 12,22;$	(163)	0,99
		$P_H = 0,36 Cu_{9,4} + 13,85;$	(164)	0,62
		$K_c = 2,34 Zn_{21,4} + 413,47;$	(165)	0,98
		$K_c = 5,84 Cu_{9,4} + 430,39$	(166)	0,82
	2017 г.	$N_H = 1,43 Zn_{21,4} + 146,7;$	(167)	0,91
		$N_H = 6,11 Cu_{9,4} + 167,72;$	(168)	0,86
		$P_H = 0,29 Zn_{21,4} + 17,22;$	(169)	0,91
		$P_H = -2,84 Cu_{9,4}^2 + 3,21 Cu_{9,4} + 16,47;$	(170)	0,96
		$K_c = 4,11 Zn_{21,4} + 386,52;$	(171)	0,94
		$K_c = 3,32 Cu_{9,4} + 400,44;$	(172)	0,73
	2018 г.	$N_H = 1,25 Zn_{21,4} + 141,42;$	(173)	0,96
		$N_H = 3,48 Cu_{9,4} + 138,41;$	(174)	0,55
		$P_H = 0,016 Zn_{21,4}^2 - 0,30 Zn_{21,4} + 8,58;$	(175)	0,99
		$P_H = -0,019 Cu_{9,4}^2 + 0,155 Cu_{9,4} + 8,24;$	(176)	0,35
		$K_c = 2,34 Zn_{21,4} + 330,28;$	(177)	0,88
		$K_c = 10,57 Cu_{9,4} + 328,35;$	(178)	0,98
Фаза цветения	2017 г.	$N_H = 1,67 Zn_{21,4} + 82,71;$	(179)	0,90
		$N_H = 4,69 Cu_{9,4} + 94,82;$	(180)	0,93
		$P_H = 0,30 Zn_{21,4} + 17,17;$	(181)	0,95
		$P_H = 0,46 Cu_{9,4} + 15,59;$	(182)	0,90
		$K_c = 2,91 Zn_{21,4} + 304,1;$	(183)	0,96
		$K_c = 4,59 Cu_{9,4} + 296,14;$	(184)	0,98
	2018 г.	$N_H = 0,68 Zn_{21,4} + 80,91;$	(185)	0,95
		$N_H = 1,70 Cu_{9,4} + 81,21;$	(186)	0,98
		$P_H = 0,99 Zn_{21,4} + 9,23;$	(187)	0,76
		$P_H = -0,098 Cu_{9,4}^2 + 0,96 Cu_{9,4} + 9,16;$	(188)	0,84
		$K_c = 0,046 Zn_{21,4}^2 - 1,0 Zn_{21,4} + 225,87;$	(189)	0,99
		$K_c = -0,5 Cu_{9,4}^2 + 2,82 Cu_{9,4} + 226,32.$	(190)	0,99

Приложение Э

Таблица 1 – Содержание общей золы (%), в лекарственном сырье в зависимости от расчетных доз микроудобрений, 2016-2018 гг. (фаза цветения)

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016-2018 гг.
Контроль	8,36 ± 0,01*	7,42 ± 0,03*	6,85 ± 0,15*	7,54 ± 0,07*
Фон	8,64 ± 0,03	7,22 ± 0,01	6,91 ± 0,16	7,59 ± 0,08
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га Zn	7,58 ± 0,09	7,4 ± 0,03	4,92 ± 0,06	6,63 ± 0,05
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га Zn	7,85 ± 0,06	7,11 ± 0,01	5,47 ± 0,01	6,81 ± 0,02
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га Zn	7,98 ± 0,04	7,35 ± 0,02	5,66 ± 0,02	7,0 ± 0,01
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га Zn	8,38 ± 0,01	7,9 ± 0,08	5,98 ± 0,06	7,42 ± 0,06
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га Cu	8,9 ± 0,06	6,99 ± 0,02	5,27 ± 0,02	7,05 ± 0,01
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га Cu	8,83 ± 0,05	6,77 ± 0,04	4,9 ± 0,06	6,83 ± 0,02
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га Cu	8,51 ± 0,02	6,64 ± 0,06	4,69 ± 0,09	6,61 ± 0,05
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га Cu	8,39 ± 0,01	6,6 ± 0,06	4,04 ± 0,16	6,34 ± 0,08

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.
*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).
2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2016-2018 гг. – $n=30$.

Таблица 2 – Содержание дубильных веществ (%), в лекарственном сырье в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг. (фаза цветения)

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.
Контроль	4,62 ± 0,19*	11,92 ± 0,35*	14,49 ± 0,6*	13,21 ± 0,67*
Фон	5,43 ± 0,1	13,6 ± 0,16	16,25 ± 0,4	14,93 ± 0,4
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га Zn	5,7 ± 0,07	13,61 ± 0,16	19,21 ± 0,07	16,41 ± 0,17
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га Zn	6,25 ± 0,01	14,26 ± 0,09	22,94 ± 0,34	18,6 ± 0,18
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га Zn	6,52 ± 0,02	15,79 ± 0,08	23,42 ± 0,4	19,61 ± 0,34
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га Zn	7,33 ± 0,11	16,52 ± 0,16	24,03 ± 0,46	20,28 ± 0,44
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га Cu	5,94 ± 0,04	14,94 ± 0,01	17,82 ± 0,23	16,38 ± 0,17
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га Cu	6,45 ± 0,02	15,68 ± 0,07	18,85 ± 0,11	17,27 ± 0,03
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га Cu	6,96 ± 0,07	16,6 ± 0,17	19,92 ± 0,01	18,26 ± 0,12
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га Cu	7,88 ± 0,18	17,73 ± 0,30	21,78 ± 0,21	19,76 ± 0,36

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.
*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).
2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2016-2017 гг. – $n=20$.

Приложение Ю

Таблица 1 – Содержание витамина С (мг%), в сыром лекарственном сырье растений эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг. (фаза цветения)

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.
Контроль	2,4±0,04	2,5±0,28	1,44±0,38	1,97±0,47
Фон	2,7±0,01	3,85±0,13	2,66±0,24	3,26±0,26
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га Zn	2,2±0,06	4,37±0,07	4,44±0,05	4,41±0,08
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га Zn	2,35±0,05	4,65±0,04	5,43±0,07	5,04±0,02
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га Zn	2,9±0,02	5,2±0,02	5,91±0,12	5,56±0,1
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га Zn	3,1±0,04	5,57±0,06	6,18±0,15	5,88±0,15
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га Cu	2,85±0,01	4,83±0,02	3,88±0,11	4,36±0,09
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га Cu	2,95±0,02	5,29±0,03	5,38±0,06	5,34±0,06
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га Cu	3,0±0,03	6,21±0,13	6,32±0,16	6,27±0,21
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га Cu	3,1±0,04	7,61±0,29	6,81±0,22	7,21±0,36

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.
*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).
2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2016-2017 гг. – $n=20$.

Таблица 2 – Содержание каротина (мг %), в массе целых растений эхинацеи пурпурной в зависимости от доз микроудобрений, 2016-2018 гг. (фаза цветения)

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2017-2018 гг.
Контроль	39,01±1,47	10,09±0,73	27,96±2,15	19,03±2,03
Фон	39,6±1,40	10,9±0,64	32,45±1,64	21,68±1,62
N ₁₂₅ + 10,7 кг д.в./га Zn	52,41±0,03	14,08±0,28	44,84±0,26	29,46±0,38
N ₁₂₅ + 21,4 кг д.в./га Zn	57,07±0,55	19,21±0,29	64,15±1,9	41,68±1,55
N ₁₂₅ + 32,4 кг д.в./га Zn	61,72±1,07	24,72±0,91	66,76±2,19	45,74±2,19
N ₁₂₅ + 42,8 кг д.в./га Zn	39,01±1,47	12,12±0,50	34,0±1,47	23,06±1,4
N ₁₂₅ + 2,3 кг д.в./га Cu	41,93±1,14	13,32±0,37	41,69±0,61	27,51±0,69
N ₁₂₅ + 4,7 кг д.в./га Cu	59,4±0,81	16,04±0,07	46,51±0,07	31,28±0,1
N ₁₂₅ + 7,0 кг д.в./га Cu	62,31±1,14	20,96±0,49	53,07±0,66	37,02±0,81
N ₁₂₅ + 9,4 кг д.в./га Cu	68,71±1,86	24,78±0,91	60,15±1,45	42,47±1,67

Примечание: различия между контролем, фоном и между вариантами достоверны при $p < 0,05$.
*стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).
2016, 2017, 2018 г. – $n=40$, 2016-2017 гг. – $n=20$.

Акт о внедрении

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
«14» 12 2021 г.



Справка

об использовании результатов диссертации В.В. Сухоцкой
«Оптимизация питания цинком и медью эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*
L.) на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири»

Материалы диссертационной работы Сухоцкой В.В. 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»)
Королева 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 № 492-21

На № _____ от _____

Справка
об использовании результатов научной деятельности

Материалы диссертационной работы аспиранта кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ Сухоцкой Валентины Владимировны «Оптимизация питания цинком и медью эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири» используются в производственной деятельности ФГБУ ЦАС «Омский» при агрохимическом обследовании почв, растительной диагностики питания растений микроэлементами, оценке экологического состояния почв, составлению рекомендаций по использованию микроудобрений на лугово-черноземной почве в Омской области, на основе критериев и параметров системы «ИСПРОД» ОмГАУ.

Директор ФГБУ ЦАС «Омский»
д-р с.-х. наук, профессор



 В.М. Красницкий