

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. Т. ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



Петрик Ярослав Богданович

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА РИСА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ
МЕДИ И ЦИНКА В СИСТЕМУ УДОБРЕНИЙ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН
Шеуджен Асхад Хазретович

Краснодар – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ В РИСОВОДСТВЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	12
1.1 Цинк и медь в почвообразующих породах, почвах и растениях	12
1.2 Медь и цинк в жизни растений	18
1.3 Медные и цинковые удобрения в рисоводстве	24
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Место проведения исследования	33
2.2 Объекты исследования	33
2.3 Климатическая характеристика района и погодные условия в годы исследований	35
2.4 Почва опытного участка и ее агрохимическая характеристика	37
2.5 Методика проведения исследования	40
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	44
3.1 Питательный режим лугово-черноземной почвы при применении медных и цинковых удобрений на посевах риса	44
3.2 Посевные качества семян риса при их обработке микроэлементами	54
3.3 Рост и развитие растений риса при предпосевной обработке семян	62
3.3.1 Продолжительность вегетационного периода растений	62
3.3.2 Высота и сухая масса растений	64
3.4 Фотосинтетическая деятельность растений риса при предпосевной обработке семян микроэлементами	69
3.4.1 Ассимиляционная поверхность листьев растений	69
3.4.2 Фотосинтетический потенциал растений	72
3.4.3 Чистая продуктивность фотосинтеза	75

3.5	Минеральное питание растений риса при предпосевной обработке семян микроэлементами	77
3.5.1	Содержание в растениях микроэлементов, азота, фосфора и калия	78
3.5.2	Потребление биогенных элементов растениями	86
3.5.3	Вынос элементов питания урожаем риса и коэффициенты их использования растениями из удобрений	95
3.6	Урожай и качество зерна риса при включении микроэлементов в систему удобрения	101
3.6.1	Урожайность и структура урожая	101
3.6.2	Качество урожая при предпосевной обработке семян микроэлементами	109
4	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИКРОУДОБРЕНИЙ	
	В РИСОВОМ АГРОЦЕНОЗЕ	113
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	117
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	118
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1	143
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2	147
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3	151
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4	153

ВВЕДЕНИЕ

Проблема питания населения Земного шара была и остается актуальной. Она привлекает к себе пристальное внимание ученых и земледельцев всех стран мира. Среди мировых источников продовольствия рис наряду с пшеницей, кукурузой и картофелем занимает ведущее место. Как растение, дающее ценное зерно, он известен человечеству не менее 10 тысяч лет. В столице Японии Токио стоит памятник рису как дань уважения основному продукту питания [105].

В мировом сельском хозяйстве рис по урожайности занимает первое место среди зерновых культур, а по посевным площадям и валовому сбору – второе. Им питается практически половина человечества и обеспечивается более 30 % калорий. По калорийности рисовая крупа лишь немногим уступает зерну пшеницы – один килограмм крупы риса выделяет 3594, пшеница – 3610 калорий. В зерновке шелушенного риса содержится 75,2 % углеводов, главным образом крахмала, 7,7 % белка, 0,4 % жира, 2,2 % клетчатки, 0,5 % зольных веществ [217, 223, 224].

В настоящее время посеvy риса размещены в 115 странах мира на площади около 150 млн. га, годовое производство зерна превышает 500 млн. т. Основными производителями риса в мире являются Китай (более 214 млн. т), Индия (более 172 млн. т), Индонезия (83 млн. т), Бангладеш (56 млн. т), Вьетнам (44 млн. т), Таиланд (32 млн. т) и Мьянма (25 млн. т). В Российской Федерации рис выращивается в трех федеральных округах, в девяти субъектах: в Южном федеральном округе – Республике Адыгея, Калмыкии, Краснодарском крае, Астраханской и Ростовской областях; Северо-Кавказском федеральном округе – Республике Дагестан и Чеченской Республике; Дальневосточном округе – Приморском крае и Еврейской автономной области.

Благодаря внедрению новых сортов риса в производство и совершенствованию технологии их возделывания, за последние 20 лет урожайность культуры в Российской Федерации увеличилась в 1,6 раза, а валовое

производство – в 1,8 раза (с 584 тыс. тонн в 2000 г. до 1 млн. 074 тыс. тонн в 2021 г.). В 2021 г. посевная площадь риса в нашей стране составила 187,5 тыс. га, валовой сбор – 1074,0 тыс. тонн, урожайность – 5,8 т/га. В Краснодарском крае в 2021 г. – 118,1 тыс. га, 745,2 тыс. тонн и 6,4 т/га; 2022 г. – 92,3 тыс. га, 650. тыс. тонн и 6,3 т/га соответственно.

Актуальность темы. Одним из важнейших факторов повышения урожая риса является оптимизация минерального питания растений макро- и микроэлементами. К числу необходимых и незаменимых для жизнедеятельности растений микроэлементов относятся медь и цинк. Они участвуют во многих биохимических реакциях и выполняют важные физиологические функции растений. Цинк участвует в азотном, углеводном и фосфорном обмене, биосинтезе витаминов, ауксинов и других ростовых веществ, повышает водоудерживающую способность растений, оказывает положительное влияние на содержание и состояние фотосинтетических пигментов, тем самым способствует повышению интенсивности и продуктивности фотосинтеза, участвует в процессах оплодотворения и развития зародыша. Медь принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях, входит в состав ферментов, задействованных в процессах дыхания и фотосинтеза, усиливает устойчивость растений к экстремальным условиям окружающей среды [182, 202, 204, 208, 212, 213].

Один из ведущих факторов, влияющий на свойства почв рисовых полей, является длительное их затопление в течение 4-5 месяцев. Рисовый агроценоз – сложная агроэкологическая многокомпонентная система. Почвы, находящиеся под воздействием периодического затопления, отличаются от богарных, гетерогенностью и сложностью протекающих в них физических, химических, физико-химических и биохимических процессов. Своеобразный окислительно-восстановительный режим почв нарушает естественное равновесие условий, сформировавшихся в иной гидрологической обстановке, влияет на интенсивность миграции по ее профилю химических соединений, синтез и распад минеральных и органических веществ, скорость протекания микробиологических и

биохимических процессов, которые, в значительной степени, определяют уровень их плодородия [51, 149]. Все это обуславливает необходимость комплексного изучения агрохимии микроэлементов в рисовом агроценозе и разработку экологически обоснованного и экономически оправданного регламента их применения.

Необходимо отметить, что проблема недостатка микроэлементов для питания растений в рисоводстве с каждым годом приобретает всё большую актуальность, т. к. ежегодно значительное их количество отчуждается из почв рисовых полей с урожаем, а также со сбросными и фильтрационными водами. Положение усугубляется еще и применением высококонцентрированных безбалластных минеральных удобрений вместо простых туков, с которыми раньше в почву поступало определенное количество микроэлементов. Необходимость применения микроудобрений под рис диктуется также снижением в затопленной почве содержания подвижных форм микроэлементов в результате образования их труднорастворимых соединений – гидрокарбонатов, сульфидов, фосфидов [206].

Потребность риса в микроудобрениях особенно резко возросла в последние годы в связи с районированием на Кубани интенсивных высокоурожайных сортов особо требовательных к уровню и сбалансированности минерального питания. Поэтому исследование влияния наиболее дефицитных для питания риса меди и цинка на рост и развитие растений, количество и качество урожая является актуальным для рисоводства Кубани

Степень разработанности проблемы. История учения о микроэлементах насчитывает около 150 лет. Материалы, полученные А. А. Хализевым [189], В. А. Зенюком [69], М. Я. Школьником [230-232], В. Стайлсом [165], О. К. Добролюбским [58], О. К. Кедров-Зихманом [85], Я. В. Пейве [131, 132], Л. К. Островской [126], Б. Я. Ягодиным [240], М. В. Каталымовым [81], П. А. Власюком [44] и Г.Я. Жизневской [66], при изучении физиолого-биохимической роли микроэлементов в жизни растений внесли

основополагающий вклад в развитие агрохимии в нашей стране. Сейчас стала очевидна необходимость их включения в систему удобрения сельскохозяйственных культур.

Весомый вклад в теорию и практику применения микроудобрений в рисоводстве нашей страны внесли Е. В. Тонконоженко [179, 180], А. Б. Багдасаров [21, 22], А. Х. Шеуджен [215, 217, 225] и И. И. Корсунова [89]. Результаты, полученные в ходе их многолетних исследований, обобщенные в виде докторских диссертаций, указывают на целесообразность включения микроэлементов в систему удобрения риса. Однако в процессе изучения литературы и проведения патентных изысканий, мы не обнаружили публикаций по агрохимии микроудобрений в рисоводстве, выполненных в условиях левобережья реки Кубань. Это послужило основой выбора направления исследований автора.

Исследование входило в тематический план научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» и было частью темы «Влияние различных агрохимических средств на агроэкологическое состояние черноземных почв Кубани, производство экологически безопасной продукции сельскохозяйственных культур». Номер госрегистрации 121032300129-6.

Цель исследования – агрохимическая оценка и разработка элементов агротехнологий применения медных и цинковых удобрений при выращивании риса в условиях левобережья реки Кубань.

Задачи исследования:

- изучить влияние медного и цинкового удобрений на агрохимический статус лугово-черноземной почвы;
- выявить влияние обработки семян риса медью и цинком на посевные их качества;
- оценить эффект предпосевной обработки семян риса микроэлементами на рост и развитие, фотосинтетический статус и минеральное питание растений;

- рассчитать хозяйственный вынос и коэффициенты использования растениями риса азота, фосфора и калия из удобрений при предпосевной обработке семян медью и цинком;
- определить влияние микроудобрений на количество и качество урожая риса;
- дать экономическую оценку применения медного и цинкового удобрений на посевах риса;
- разработать рекомендации производству по применению медного и цинкового удобрений при возделывании риса на лугово-черноземной почве левобережья реки Кубань.

Объект исследования. Сорты риса Рапан и Хазар, лугово-черноземная почва, микроэлементы медь и цинк.

Предмет исследования – агрохимические приемы, способствующие оптимизации системы удобрения риса, повышению количества и качества урожая, улучшению экологического состояния окружающей среды.

Научная новизна. Впервые в условиях левобережья реки Кубань изучено влияние вносимых под рис медных и цинковых удобрений на агрохимический статус лугово-черноземной почвы – динамику содержания обменно-поглощенного аммонийного азота, подвижных форм фосфора, калия, меди, цинка и формирование продуктивности рисового агроценоза. Выявлен положительный эффект предпосевной обработки семян риса микроэлементами на биометрические характеристики, фотосинтетическую деятельность, содержание и накопление биогенных элементов растениями. Установлено повышение коэффициентов использования растениями риса макроэлементов из удобрений под влиянием меди и цинка, то есть показано природоохранное значение применения микроэлементов в рисоводстве. Получены новые данные о хозяйственном выносе элементов питания с урожаем риса. Определены изменения количества и качества урожая при включении микроэлементов – меди и цинка в систему удобрения

риса. Рассчитан экономический эффект применения микроудобрений на посевах риса в условиях левобережья реки Кубань.

Теоретическая значимость. Результаты исследований позволяют оценить агрохимический статус лугово-черноземной почвы в условиях рисосеяния левобережья реки Кубань. Установленные теоретические аспекты по минеральному питанию, фотосинтетической деятельности, росту и развитию растений, количеству и качеству урожая расширяют и углубляют агрохимические знания и демонстрируют целесообразность включения меди и цинка в систему удобрения риса.

Практическая значимость. С учетом агроэкологических условий левобережья реки Кубань экспериментально установлена высокая эффективность обработки семян риса микроэлементами – меди и цинка, а также возможность предпосевного внесения в почву одноименных удобрений. Результаты исследования в перспективе могут быть использованы в практике рисоводства при составлении агрохимических мероприятий по повышению плодородия почв, разработке системы удобрения, а также в учебном процессе – преподавании агрохимии бакалаврам и магистрам.

Методология и методы исследования. Исследования основаны на общенаучных методах, включающих эмпирические и общелогические: наблюдение, эксперимент, измерение, описание, анализ, синтез, конкретизация и обобщение. Методологической основой служили принцип диалектической взаимосвязи системы «почва – удобрение – растение» Д.Н. Прянишникова, системный подход Эрнста Геккеля и комплексный многофакторный подход Альбрехта Тэера.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности изменения агрохимического статуса лугово-черноземной почвы при внесении медного и цинкового удобрений под рис.

2. При предпосевной обработке семян риса медью и цинком улучшаются посевные качества и повышается их полевая всхожесть.

3. Микроэлементы медь и цинк оказывают положительное влияние на ростовые процессы, содержание и накопление биогенных элементов в растениях, фотосинтетический статус рисового агроценоза, количество и качество урожая риса.

4. Вынос элементов питания урожаем и коэффициенты их использования растениями риса из удобрений при предпосевной обработке семян медью и цинком.

Степень достоверности результатов исследования базируется на анализе многолетней научной информации, полученной с использованием классических методов на базе лабораторного и полевого опытов. Необходимый объем выборки экспериментальных данных обеспечен достаточным количеством повторностей в вариантах опыта. Достоверность результатов исследований подтверждается статистической оценкой экспериментальных данных. Выводы аргументированы и достоверны и не противоречат мнению известных ученых, специализирующихся по данному научному направлению.

Апробация. Результаты исследований по теме диссертации были доложены и получили положительную оценку на Всероссийской научно-практической конференции «Научно-практический и социально-экономический потенциал развития АПК Российской Федерации» (Нальчик, 2022), научно-практической конференции «Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год», посвященной 100-летию Кубанского ГАУ (Краснодар, 2022); Международной научно-практической конференции «Вектор современной науки» (Краснодар, 2022). Результаты работы были представлены на Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» и оценены медалями различного достоинства – «За технологию предпосевной обработки семян риса медью» (Серебряная медаль, 2019); «Агрохимия цинка в рисовом агроценозе» (Золотая медаль, 2019); «За разработку инновационной технологии повышения эффективности использования микроэлементов» (Золотая медаль, 2022).

Личный вклад. Проведен критический анализ современного состояния изучаемой проблемы, спланированы и проведены лабораторные и полевые эксперименты, выполнены учеты и наблюдения в полевых опытах, химический анализ почв и растений, осуществлена статистическая оценка экспериментальных данных, обобщены и интерпретированы результаты исследований. Автор принимал участие в подготовке и опубликовании научных статей по диссертационной работе.

Публикации. Материалы исследования опубликованы в 7 печатных работах, из них 4 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации. На основании материалов диссертационной работы получены 4 патента на изобретение Российской Федерации и опубликованы 2 монографии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, рекомендаций производству, списка использованных источников и приложения. Работа изложена на 156 страницах, содержит 34 рисунка, 34 таблицы и 4 приложения. Список использованной литературы состоит из 257 наименований, из них 16 иностранных авторов.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ В РИСОВОДСТВЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

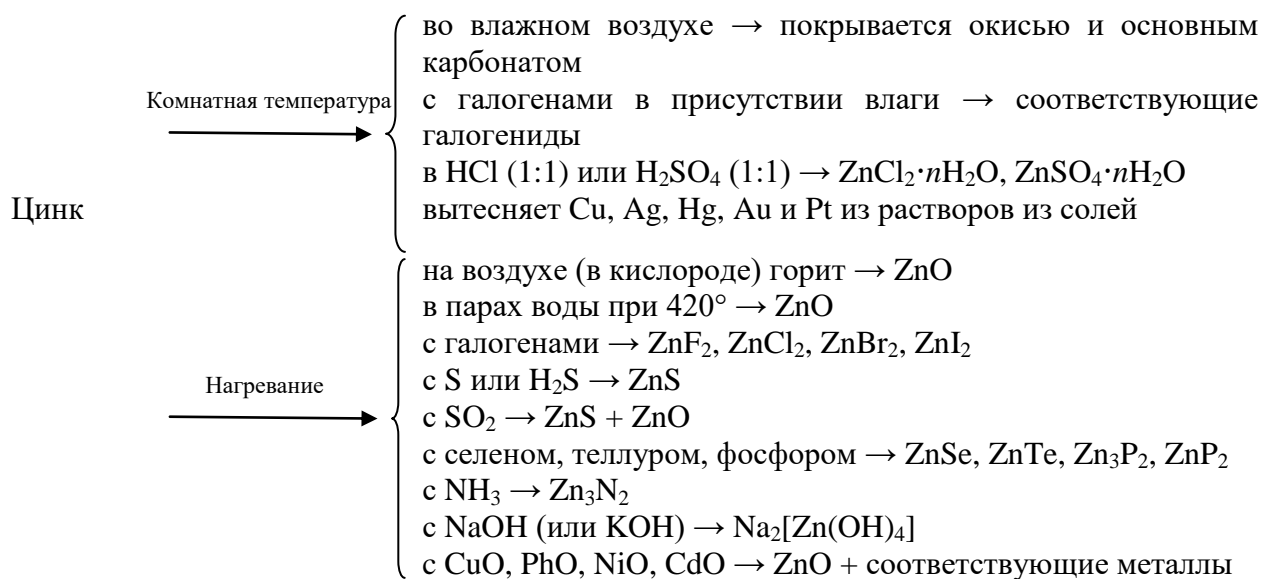
Одним из значимых факторов повышения урожайности риса является оптимизация минерального питания растений всеми биофильными элементами путем внесения удобрений. Наряду с макро- и мезоудобрениями неотъемлемой составной частью являются и микроудобрения, к числу которых относятся цинковые и медные.

1.1 Цинк и медь в почвообразующих породах, почвах и растениях

Цинк биогенный элемент, соединения которого были известны на заре становления человеческого общества. Наиболее известным минералом цинка был галмей, или *salamina* – $Zn_4[S_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ [220].

Слово цинк встречается впервые в 1530 г. у Парацельса (*Erz der Zinken*). Либавий называет цинк восьмым металлом, а Агрикола – контерфеем (*conterfey*). Название «цинк» происходит от древнегерманского слова «цинко», обозначающего бельмо или белый налет. Ряд историков и лингвистов имеют мнения, что оно возникло от персидского – «ченг». Н. Гринвуд и А. Эрншо [49] полагают происхождение слова «цинк» от немецкого *Zinke* – острие или зуб из-за его внешнего вида. Впоследствии многих лет выражение «цинк» множество раз изменялось: «спелтер», «тутия», «шпиаутер». Общеустановленное название «цинк» стало лишь в 20-х гг. минувшего столетия [80, 181, 187].

Цинк – химический элемент второй группы периодической системы Д.И. Менделеева. Порядковый номер цинка 30, атомная масса – 65,38. Это синевато-белый металл, химические свойства которого иллюстрируются следующей схемой [146]:



Цинк характеризуется высокой биофильностью. Коэффициент биологического поглощения растениями (КБП) этого элемента колеблется в пределах 4,6-42,0 и зависит, в первую очередь, от его содержание в почве и биологических особенностей культуры. Кларк Zn в почве и растениях – 5×10^{-3} и 3×10^{-4} % соответственно [2, 3].

Цинк по геохимическим свойствам – литофильный (относится к группе элементов слагающих основную массу минералов земной коры [литосферы]) и халькофильный.

В почвообразующих породах и педосфере цинк представлен рядом минеральных и органических соединений. Известно около семидесяти минералов этого элемента, например: цинковая обманка (сфалерит), вюртцит, цинковый шпат (смитсонит), каламин, ганит, виллемит, цинкит, монгеймит, гидроцинкит, трустит, гетеролит, франклинит, осалькофанит, госларит, цинкхальканит, адамин, тарбуттит, деклуазит, леграндит, гопеит. Содержание цинка в ультраосновных горных породах колеблется от 50 до 118 мг/кг, в основных – 104-220, в средних – 35-120, кислых – 30-140 и осадочных – 57-125 мг/кг [43].

В почвах мира количество цинка разное и варьирует от 10 до 300 мг/кг, кларк его равен 50 мг/кг. Широкое варьирование его валового содержания цинка определяется главным образом разнообразием почвообразующих пород,

различием их по минералогическому и гранулометрическому составу [128, 129]. Количество цинка в пахотном слое различных типов почв России изменяется в большом диапазоне 20-90 мг/кг [18, 81, 131, 132].

Почвы Северного Кавказа незначительно различаются по валовому содержанию цинка. Кларк его в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области равен 35 мг/кг [24]. В почвах Ставрополя цинка содержится 20,3-58,3 мг/кг. Максимум его содержания обнаружено в аллювиально-луговой почве (52,2-58,3 мг/кг), минимум – светло-каштановой песчаной (20,3 мг/кг). В черноземах содержание его изменяется в диапазоне 26,8-41,3 мг/кг [16, 147, 160]. В почвах рисовых агроландшафтов Кубани и Республики Адыгея содержание цинка находится в пределах 46,2-50,6 мг/кг и в среднем равен 48,2 мг/кг [7, 13, 90, 104, 219].

Н. Г. Зырин совместно с другими исследователями различают три формы содержания цинка в почве [71, 72]: 1) мобильные – непосредственный источник и резерв питания растений (водорастворимые, ионообменные, непрочнофиксированные); 2) фиксированные – потенциальный резерв питания растений (хемосорбционные ионы, труднорастворимые соли, входящие в состав комплексных соединений органических веществ); 3) изоморфные примеси в минералах – стратегический резерв. Все соединения цинка, за исключением находящихся в кристаллической решетке почвенных минералов, в различной мере потребляются растениями. Содержание водорастворимого цинка в почве небольшое. На его долю приходится около 1 % общего запаса микроэлемента. Водорастворимые и обменные формы цинка считаются доступными для растений. Основная и распространенная форма – двухвалентный ион цинка [79, 227, 228].

Для оценки цинкового статуса почв предложен ряд оригинальных методик. Наибольшее распространение в нашей стране получили методики, предложенные Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом (1,0 н КСl) и Н.К. Крупским и А.М. Александровой (ацетатно-аммонийный буферный раствор, рН 4,8).

Количество подвижного цинка в почвах России изменяется значительно от 0,1 до 3,0 мг/кг [71, 131]. В черноземе выщелоченном Краснодарского края содержание подвижного цинка находится в пределах 0,6-1,6 мг/кг [221, 224]. Такие же величины характерны и для почв рисовых полей Кубани – 0,98-1,24 мг/кг [89, 179, 204, 213].

Условия почвенной среды, от которых зависит потребление цинка растениями: рН, содержание карбонатов и органических соединений. Цинковый голод растений зафиксирован в почвах с рН 6,0-8,0. Гидроксиды цинка амфотерны, т. е. от реакции среды они как слабое основание, или как слабая кислота: при рН 6,5-8,0 происходит образование цинкатов, однако, растворимость соединений цинка при этом не всегда возрастает [203, 206].

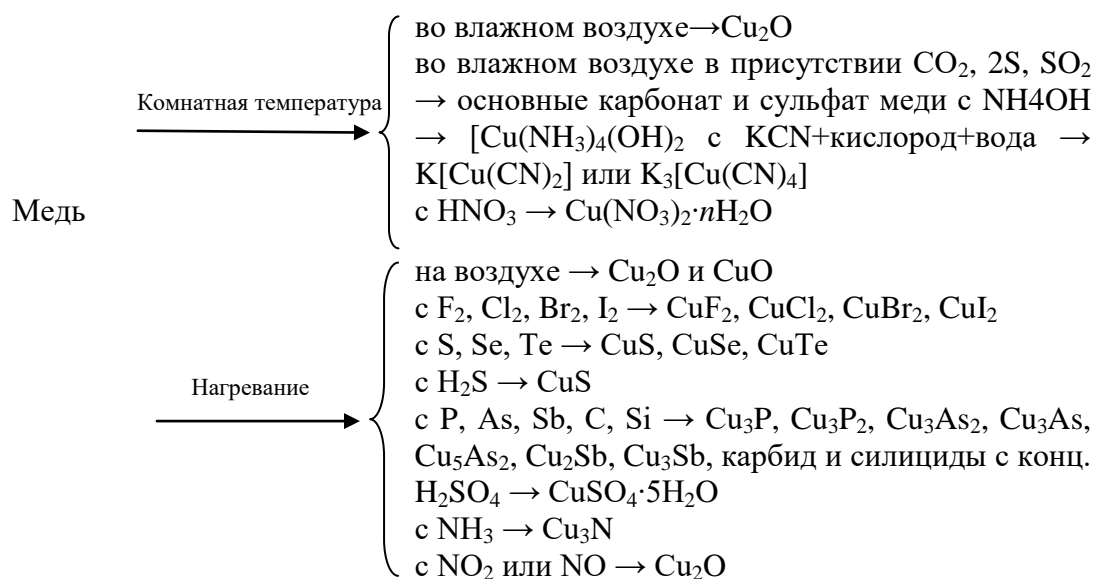
В природных водах содержание цинка изменяется в зависимости от ландшафтно-геохимических особенностей дренируемой территории и сезона года. Диапазон его содержания в незагрязненных природных водах 0,5-15,0 мкг/л [115], интервал варьирования в водах рек мира 0,5-15,5 мкг/л, что в среднем 8 мкг/л. Для Мирового океана кларк Zn 5,3 мкг/л [43].

Значительный диапазон варьирования содержания цинка в растениях 10-450 мг/кг сухой массы [28, 79, 130, 141]. В растениях, выросших в условиях Краснодарского края, цинка содержится от 25 до 130 мг/кг сухой массы [179, 192, 206, 223].

Дефицит цинка для двудольных растений составляет 10-20 мг/кг, оптимум – 21-150 мг/кг, избыток – 151-400 мг/кг; для злаков – 20-24, 25-250 и 251-400 мг/кг сухого вещества соответственно [79, 191, 192, 208]. Значителен диапазон выноса этого микроэлемента с урожаем культур – от 50 до 2000 г/га [16, 48]. Диапазон выноса из почвы цинка с урожаем риса значителен и составляет 46-534 г/га [20, 145, 148, 206].

Медь – химический элемент первой группы периодической системы Д.И. Менделеева. Его порядковый номер 29, атомная масса 63,546. Это мягкий,

ковкий металл красного цвета, химические свойства которого иллюстрируются следующей схемой [146]:



Кларк Cu в почве и растениях – $2 \cdot 10^{-3}$ и $2 \cdot 10^{-4}$ % соответственно [220].

Медь содержится в минералах, наиболее распространенными из них являются: халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, лазурит, брошантит, куприт, мелакоцит (тенорит), кубанит, теннантит, тетраэдрит, энаргит, халькостибит, атакамит, катангит, халкантит, оливенит, туркоаза, халькосидерит, тиролит, халькофиллит [79, 186]. Содержание ее в горных породах колеблется в пределах 10-120 мг/кг – ультраосновных – 10-40, основных 60-120, средних – 15-80, кислых – 10-30 мг/кг [220].

В почвах мира диапазон содержания меди составляет 0,1-3700 мг/кг. Он содержится, в большей мере, в интервале 5-50 мг/кг. Курский чернозем и многие почвы Северного Кавказа входят в этот интервал со значениями 26,0 и 20-35 мг/кг соответственно [137, 147, 158, 179, 180].

Огромная роль в питании растений принадлежит не общему содержанию меди, а ее подвижной форме в почве, представляющей наиболее растворимую часть валовых запасов, переходящих в вытяжки разбавленных кислот (1 Н HCl). Содержание подвижной меди в почвах России и стран ближнего зарубежья

варьирует в значительном интервале от 1 до 30 мг/кг, в почвах Краснодарского края – от 3 до 9 мг/кг [7, 15, 17].

Ю.А. Азаренко [2] установлена тесная корреляционная зависимость содержания меди в гумусовых горизонтах почв от ее содержания почвообразующих породах ($r = 0,83$). Для слоя 0-20 см почв им выявлена зависимость количества микроэлемента от состава физической глины ($r = 0,85$), ила ($r = 0,75$), гумуса ($r = 0,50$), емкости катионного обмена ($r = 0,75$). На распределение меди по профилям почв оказали влияние те же самые факторы при более слабой связи с илом и гумусом.

По данным Д.В. Дубовик [60] содержание подвижной меди в почве изменяется в зависимости от экспозиции склона и агротехнических приемов, таких как основная обработка почвы, севооборот и внесение минеральных удобрений. За двадцать лет снизилось содержание подвижной меди в почве и из группы высокообеспеченных почвы вошли в разряд низкообеспеченных.

Содержание меди в ирригационной воде должно быть не более 0,1 мг/л. При этом урожайность культур может значительно уменьшиться, если концентрация меди достигнет 1,0 мг/л. Количество данного микроэлемента в поверхностных водах Кубани 0,5-18,0 мкг/л и они вполне пригодны для использования в условиях орошения [180, 205, 217].

Меди в растениях содержится от 0,5 до 50,0 мг/кг сухого вещества [220]. Оптимальные значения находятся в пределах 0,2-20,0 мг/кг. В региональных условиях на содержание меди в растениях оказывают влияние погодные условия, свойства почв, обеспеченность подвижной формой элемента и выращиваемая культура [91, 108, 140, 205]. Содержание меди в растениях, возделываемых на территории Краснодарского края, колеблется в интервале 1,5-31,0 мг/кг сухого вещества. Количество меди в зерне риса 2,6-7,9 мг/кг, корнях – 2,0-47,9, листьях и стеблях – 1,5-6,4 мг/кг сухой массы [188]. Вынос меди из почвы урожаем риса 50-70 г/га. Дефицит меди в растениях риса находится в диапазоне 2-5 мг/кг, оптимум – 6-30 мг/кг, избыток – 31-100 мг/кг сухого вещества [180, 217].

1.2 Медь и цинк в жизни растений

Цинк. Необходимость цинка для низших растений показал еще в 1863 г. Дж. Ролэн (J. Raulin), который установил стимулирующий эффект этого элемента на рост черного аспергилла: под воздействием цинка масса мицелия гриба существенно возрастала. Он же ввел цинк как необходимый элемент в питательную смесь для культуры *Aspergillus niger* [254]. Необходимость цинка для высших растений впервые выявили независимо друг от друга наши соотечественники К.А. Тимирязев и Г.Г. Густавсон. В 1872 г. появляется работа К.А. Тимирязева «О вероятном значении цинка в экономии растения», доложенная им на заседании Петербургского общества естествоиспытателей 29 января 1872 г., в которой трактуется значение цинка для высших растений. К.А. Тимирязев показал в своем сообщении, что превращение протохлорофилла в хлорофилл происходит еще успешнее при действии цинка. Далее К.А. Тимирязев описывает свои опыты, в которых было показано, что хлороз листьев может быть успешно излечен действием цинка. Пять растений кукурузы ими были выращены в разных питательных смесях, – два в полном нормальном растворе Кнопа и три в том же растворе, но без железа. Первые два дали вполне здоровые, остальные три – хлоротические растения. У одного из последних трех растений поверхность одного листа была смочена солью железа, у другого же – солью цинка; оба листа в тех местах, где были смочены, позеленели. Таким образом, К.А. Тимирязев, опираясь на результаты своих экспериментов, впервые высказал мысль о возможной роли цинка в фотосинтетической деятельности листьев растений [174].

Более поздние работы, выполненные Р. Maze [250], А.Л. Sommer [256], Р.М. Barnette и Y.D. Warner [243] не оставили сомнений в том, что цинк является необходимым и незаменимым элементом для жизнедеятельности растений. Данной проблеме посвящен ряд фундаментальных монографий [112, 155, 171, 182, 206, 229].

Цинк поступает в растения в форме двухвалентного катиона. Обнаружен переносчик Zn^{2+} , который функционирует в системе унипорта, обеспечивая его поглощение из среды. В этот процесс вовлечено несколько транспортных систем, относящихся к семейству белков ZIP и IRT [28]. В клетках цинк не меняет степень окисления, поэтому непосредственно не участвует в окислительно-восстановительных реакциях.

Роль цинка как двухвалентного катиона основана на его свойстве формировать тетраэдрические комплексы N-, O-, и S-лигандами [6], что весьма важно в ферментативных реакциях [28].

Функции цинка в растительных организмах многочисленны и разнообразны. Он является кофактором многих ферментов, участвующих в физиолого-биохимических процессах у растений [92, 107, 138]. Цинк входит в составы карбоангидразы, триозофосфатдегидрогеназы и алкогольдегидрогеназы. К цинксодержащим ферментам относится супероксиддисмутаза. Этот фермент помимо цинка содержит и медь. При этом цинк выполняет структурную функцию, а медь – каталитическую. Супероксиддисмутаза катализирует реакцию дисмутации двух супероксидных радикалов с образованием молекулы кислорода и пероксида водорода, которая затем разлагается ферментом каталазой на кислород и воду. Содержит два атома цинка алкогольдегидрогеназа, один из них выполняет каталитическую функцию, а другой структурную [19, 38, 167, 170, 194, 201].

К цинксодержащим ферментам относятся также фосфолипаза и РНК полимеразы. В фосфолипазе находятся три атома цинка, причем одному из них свойственна каталитическая функция. РНК полимеразы содержат по два атома цинка на молекулу. Фосфолипаза катализирует гидролиз фосфолипидов плазматической мембраны, т. е. этот фермент принимает участие в пусковых механизмах биосинтеза. РНК полимеразы катализируют синтез рибонуклеиновой кислоты, сопровождающийся выделением пирофосфата. К катализируемым цинком ферментам относятся карбоксипептидаза, аминопептидаза и протеиназа. Карбоксипептидазы катализируют гидролитическое разрушение пептидных

связей в белках и пептидах рядом со свободной карбоксильной группой. Аминопептидазы катализируют гидролитическое разрушение пептидных связей в белках и пептидах рядом свободной α аминогруппой. Протеиназы катализируют расщепление белка до пептидов, т. е. до органических соединений, молекулы которых состоят из остатков аминокислот, соединенных в цепь пептидной связью [130, 217, 231, 239, 241].

К активируемым цинком ферментам также относятся дегидрогеназы, альдолазы, изомеразы, трансфосфорилазы. Например, этот элемент необходим для активации двух ключевых ферментов углеводного обмена – фруктозо-1,6-дифосфатазы и альдолазы. Оба фермента локализованы в хлоропластах и цитоплазме. Фруктозо-1,6-дифосфатаза регулирует превращение С6-сахаров в хлоропластах и цитоплазме, а альдолаза – перемещение С3-фотосинтатов из хлоропластов в цитоплазму и трансформацию метаболитов в цитоплазме гликолитическим путем [28]. Цинк активирует глутаматдегидрогеназу, лактатдегидрогеназу, полифенолксидазу, пероксидазу, каталазу, гексокиназу и альдолазу. Кроме цинксодержащих ферментов, в которых этот элемент прочно связан с белком и играет специфическую роль, известны металлоферментные комплексы, активируемые цинком. Роль его в таких комплексах сплошь и рядом неспецифична, т. к. они активируются наряду с цинком также и некоторыми другими двухвалентными катионами, чаще всего Co^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} [128, 130].

Важным компонентом протонной помпы в тонопласте являются неорганические пирофосфатазы (ПФазы). Кроме хорошо известной Mg-зависимой пирофосфатазы (Mg-ПФаза) в листьях существует изозим, активируемый цинком (Zn-ПФаза). У риса отношение Mg-ПФаза / Zn-ПФаза варьирует от 3 до 6 [28, 107, 204].

Цинк в начальные фазы развития растений стимулирует биосинтез белка в вегетативных органах, в конце вегетации он усиливает гидролиз его в листьях и стеблях до низкомолекулярных соединений и способствует оттоку последнего в

генеративные органы [225]. Цинк является структурным компонентом рибосом. В отсутствие этого элемента наблюдается структурная дезинтеграция рибосом. В меристемах побегов риса дезинтеграция 80S-рибосом происходит, когда содержание цинка становится ниже 100, а в тканях растений табака ниже 70 мкг/г сухой массы [28]. Недостаток его приводит к значительному накоплению небелковых соединений азота – амидов, аминокислот. Улучшение снабжения растений цинком, наоборот, усиливает синтез белковых веществ. Имеются данные о положительном влиянии его, на конформацию белков. Цинк принимает активное участие в репликации ДНК и транскрипции. Он входит в состав одного из факторов регуляции транскрипции в соединениях с остатками гистидина и цистеина («цинковые пальцы»). Обнаружена тесная прямая связь между обеспеченностью цинком, фотосинтетической ассимиляцией CO_2 и ростом растений. Фотосинтез нарушается сильнее у C_4 -растений по сравнению с C_3 -растениями [8, 26, 59, 64, 113, 124, 169].

Цинк принимает непосредственное участие в биосинтезе хлорофилла. Под воздействием цинка повышается концентрация хлорофилла в листьях, интенсивность фотосинтеза и углеводный обмен растений. Цинк увеличивает вязкость протоплазмы, его содержание в зародыше и эндосперме – 75 и 25 % соответственно, а также усиливает морозо- и засухоустойчивость растений. [44, 109, 192, 204].

Цинку принадлежит роль в биосинтезе фитогормонов. При дефиците микроэлемента у растений уменьшается количество свободных и связанных ауксинов [цит. по 120, 255]. Это вызвано как ухудшением биосинтеза индолилуксусной кислоты (ИУК) из-за нарушений в образовании ее предшественника – триптофана, снижения активности триптофансинтетазы и содержания витаминов B_1 и B_6 , связанных с синтезом триптофана, так и с усилением окислительного декарбоксилирования, ведущего к разрушению ИУК [126, 131, 194, 206].

Цинк тесно связан с ферментами различных дыхательных циклов, будучи составной частью или активатором многих из них [153, 155, 229]. Он влияет на

энергетическую эффективность дыхания, а также на содержание коферментов-динуклеотидов и участвует в биосинтезе цитохромов. Все это свидетельствует о зависимости процессов дыхания и аккумуляции энергии от наличия цинка в клетке [130].

Цинк влияет на обмен фенольных соединений. Нехватка цинка приводит к возникновению глобул катехинов и танинов в листьях люцерны, флавонов и флоридзина в листьях яблони, суммарных флавоноидов в листьях томата, сложных эфиров оксикоричных кислот в растениях кукурузы: 3-о- и 5-о-кофеилхинных кислот (хлорогеновая и неохлорогеновая кислоты), 3-о- и 5-о-кумароилхинных кислот и 3-о- и 5-о-ферулоилхинных кислот [170, 231].

Роль цинку отведена в поступлении и обмене фосфора в растениях [200]. Дефицит цинка ускоряет поступление в растения и транспорт фосфора из корней в надземные органы, где его много в форме неорганических соединений [120]. Оптимальное цинковое питание растений препятствует чрезмерный приток в них фосфора и положительно воздействует на его утилизацию. Этот микроэлемент повышает потребление растениями бора и меди и подавляет приток калия, марганца, кадмия, свинца и железа. Очень сильная цинковая недостаточность блокирует выработку сахарозы и крахмала, а также хлорофилла, что приводит к проявлению пятнистого хлороза [190].

Цинк очень важен для растений, поскольку он повышает сопротивляемость растений к нежелательным факторам, таким как засухоустойчивость и зимостойкость растений, а также к грибковым и бактериальным заболеваниям [30, 34, 96, 151]. Кроме этого, микроэлемент повышает способность растений выдерживать высокие температуры, при этом содержание хлорофилла в листьях возрастает, тем самым уменьшая риск повреждения листьев в жаркое время суток у растений [76, 133, 155].

Признаки дефицита цинка у растений – образование хлоротичных пятен между жилками листьев, раннее созревание растений и осязаемое уменьшение их продуктивности. При дефиците цинка у растений замедляется процесс

фотосинтеза, возникает так называемая «розеточная болезнь» (укорачивание междоузлий стебля), связанная с недостатком ростовых веществ – ауксинов [184, 190]. К чувствительным к дефициту цинка и используемым часто как модельное растение относится рис. Урожай риса резко снижается при низком содержании его в почве, особенно в кальцинированных почвах пустынь и полупустынь [193], а также на торфяниках [199].

Приведенные материалы свидетельствуют, о том, что цинк причастен к важнейшим отправлениям клетки, включая обеспечение метаболитами и энергией и механизмы реализации генетической информации. Все это способствует росту продуктивности сельскохозяйственных растений. Положительная реакция растений на цинк отмечена практически для всех сельскохозяйственных культур: пшеница [31, 32, 96, 111, 155, 183, 198], тритикале [29, 40, 96], ячменя [25, 39], ржи [33, 48], овса [37, 106], кукурузы [1, 121, 127, 159], гороха [48, 106, 110, 161], фасоли [178], сои [171], картофеля [45, 106], хлопчатника [77, 236], смородины [168], льна-долгунца [88, 142], сахарной свеклы [106, 170, 178], проса [154], подсолнечника [178], винограда [19, 156, 178], рапса [48], клевера [154], овощных культур [170, 171], тысячелистника обыкновенного [61, 62, 176], пижмы обыкновенной [177], цветочных культур [201]; люцерны [135, 213].

Медь. Влияние меди на высшие растения начали изучать во 2-й половине XIX в. [52]. В начале минувшего столетия исследовано положительное действие меди на растения и уже в 1904 г. микроэлемент рассматривался как стимулятор роста. В те времена нехватка меди негативно отражалась на растениях в виде заболеваний «болезнь обработки», «белая чума», «болезнь верещатников». Доказуемые данные о необходимости меди растениям получены в 30-х гг. Работы А.Л. Сомера, С.В. Липмана и Г. Мак-Кине сыграли огромную роль в практическом использовании меди в растениеводстве [69, 98].

Медь поступает в растения в форме катиона или хелатных соединений и находится в виде ионов и комплексных органических соединений, на долю которых приходится около 2/3 общего содержания меди [118].

Медь участвует во многих биохимических процессах [44; 66], положительно проявляя действие на активность каталазы, нитратредуктазы, пероксидазы, карбоангидразы, гексокиназы, альдолазы, фосфорилазы, супероксиддисмутазы и фосфоглюкомутазы [123, 126, 194].

Известна роль меди в азотном обмене растений [152]. Следует отметить ее огромный вклад в фиксацию атмосферного азота. Микроэлемент комплементарно воздействует на содержание аспарагина в растениях [66] и симбиотическую фиксацию молекулярного азота бобовыми культурами [167].

Медь участвует в фосфорном обмене, способствуя более активному включению минерального фосфора в органические соединения и синтезу фосфолипидов и нуклеотидов [35, 200]. Микроэлемент положительным образом воздействует на пигментный статус растений [41, 68], содержание в листьях хлорофиллов и каротиноидов [68, 125], поступление азота, фосфора и калия в растения [103, 133]. Под его влиянием усиливается физиологическая активность регуляторов роста растений [204, 234].

Оптимальная обеспеченность растений медью – не менее 2,5-3,5 мг/кг [55]. Недостаток меди выражается в увеличении интенсивности транспирации и дыхания листьев; нарушении регулирующего механизма устьиц; снижении интенсивности фотосинтеза и активности оксидоредуктазных ферментов. При медной недостаточности у растений развивается хлороз листьев [173].

Медная недостаточность у риса обнаруживается в виде усыхания листьев, приостановки транспирации и роста корней [75]. Переизбыток меди в почве (более 125 мг/кг) отражается на продуктивности растений риса [144].

1.3 Медные и цинковые удобрения в рисоводстве

Цинковые удобрения. Влияние цинка на растения риса впервые было изучено 112 лет назад (1911 г.) при постановке вегетационного эксперимента с водной культурой М. Роксасом. Он выявил, что даже незначительные количества

цинка в питательном растворе могут давать достаточно высокую отзывчивость растений на этот микроэлемент. В полевых опытах испытания цинковых удобрений на посевах риса проведены в 1957 г. Так, Г.К. Каюмов в Таджикистане [82] и И.Д. Берко [27] в Краснодарском крае, вне зависимости друг от друга, изучили положительное действие обработки семян цинком и внесение его в почву перед посевом риса. Эти исследования продолжены Е.П. Алешиним. Им установлена высокая эффективность обработки семян риса цинком на полевую всхожесть, что позволило рекомендовать этот агроприем в технологию возделывания данной культуры [14].

Цинковым удобрениям начали отводить большую роль только в конце 80 х гг. XX столетия [54, 70, 78, 86, 87, 94, 99, 100,101]. В одном случае цинк отнесен к группе растений слабо чувствительных [16], в другом – культурам, которым необходима хорошая обеспеченность почвы этим микроэлементом [112]. Так же утверждали и зарубежные ученые D.A. Forno, S. Yoshida, C. Asher [245]. В 1966 г. в Индии получены данные, что цинковые удобрения способны устранить нарушение ростовых процессов у растений риса, при этом болезнь Кхаира в то время была сильно распространена [251]. Впоследствии было установлено, что «Кхаир» в Индии и «Хадда» в Пакистане вызваны дефицитом цинка [257]. Недостаточная обеспеченность растений риса цинком зафиксирована во многих странах, таких как Япония, США, Филиппины, Австралия, Бангладеш [114, 247]. Например, в Филиппинах цинковый голод растений связан со свойствами почвы, которые переувлажненные, слабодренированные и слабощелочные. Они занимают площадь равную 121 тыс. га. Несмотря на хорошее обеспечение этих почв азотом, фосфором и калием, только 18 тыс. га из них засеваются рисом в основном из-за болезней растений, вызываемых недостатком цинка.

Использование минеральных удобрений обуславливает цинковую недостаточность растений в результате иммобилизации цинка [21, 22, 47]. Проведенные исследования в 11 районах Филиппин показали, что без включения

цинка в систему удобрения урожайность риса в трех районах несколько снижалась, тогда, как при включении повышалась на 0,4-1,2 т/га.

Дефицит цинка обнаружен и в почвах Северного Кавказа [112]. Так, при содержании цинка в почве 0,5 мг/кг и менее урожайность риса меньше почти на 75 % [91, 206]. По данным В.С. Кудряшова [91], критический уровень содержания цинка в растениях риса – 10-15 мг/кг сухого вещества, а в фазах всходы и кущения рис наиболее чувствителен к его недостатку [145].

Симптомы дефицита цинка у растений риса – это ослабление роста, осветление окраски листьев и появления бурых пятен в виде ржавчины на нижних листьях [12, 112, 139, 229]. Причем разные сорта риса обладают неодинаковым проявлением недостатка цинка [244, 247, 248].

Отчуждение цинка с урожаем риса достигает 260-300 г/га [144]. Его дефицит в почве 140-150 г/га [217, 229], последствия которого отражаются на свойствах почвы и продуктивности растений риса [9, 11, 149, 204, 206, 213, 215, 217]. При этом рис хорошо отзывается на внесение цинкового удобрения при содержании его подвижной формы в почве менее 1 мг/кг.

Многие ученые установили положительное влияние внесения цинковых удобрений на азотный и цинковый режимы почв рисовых полей, улучшение потребления элементов питания растениями и повышения продуктивности рисового агроценоза [11, 21, 22, 56, 101, 217].

Применение цинковых удобрений на посевах риса способствуют формированию растениями листового аппарата, повышению количества пластидных пигментов в листьях и улучшению их качественного состава, последнее выражается в расширении отношения хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам [145, 217], а также они повышают интенсивность и чистую продуктивность фотосинтеза растений [204, 214]. Установлено положительное действие цинка на активность каталазы и пероксидазы у растений риса, принимающих участие в дыхании растений [145].

Е.П. Алешин и А.Д. Порохня в вегетационном эксперименте установили, что под воздействием цинка возрастает чистая продуктивность растений риса на 24 %, интенсивность дыхания на 12 %, количество хлорофиллов $a+b$ на 76 %. При этом урожайность риса относительно контроля повысилась на 12 % [8].

Применение цинковых удобрений повышает не только урожайность риса, но и качество рисоводческой продукции [22, 84, 217]. В научных статьях имеются данные, что внесение цинка в почву способствуют увеличению содержания белка в зерне риса [84], а обработка растений цинком – крахмала [217]. Положительное действие цинковых удобрений на продуктивность растений и качество зерна риса в большей степени проявляется на фоне низкой обеспеченности почвы подвижным цинком [22].

Следует отметить, что действие цинка на продуктивность растений риса значительно зависит от форм, норм, сроков и способов их применения [104, 145, 153, 166, 206, 212, 213].

На данный момент микроудобрения применяются следующими способами: обработка семян, предпосевное внесение в почву и обработка растений в период их вегетации. Каждый перечисленный способ эффективен на посевах риса [21, 22, 217, 223].

По проведенным исследованиям зарубежных ученых установлена большая эффективность оксида цинка по сравнению с сульфатом цинка [217], что выражается в увеличении урожая зерна риса и концентраций этого микроэлемента в почвенном растворе. Потребление цинка растениями риса под воздействием сульфата цинка зависело от способа его внесения. По эффективности, судя по приводимым авторами данным, их можно расположить следующим образом: внесение в поверхностную воду через две недели после высадки рассады риса, смешивание с почвой, поверхностное внесение в почву. Кроме этих форм в Соединенных штатах Америки применяли хлорид, органические комплексы (ЕДТА) и лигносульфат цинка [204]. Установлено, что минимальной эффективностью характеризуется оксид цинка с полученной прибавкой урожая в

11,6 %. Другие минеральные формы цинка обеспечивали прибавку в 18,6-21,2 %. Из органических форм выделяется лигносульфат цинка, где прибавка составляла 12,9 %.

В Индии были испытаны сульфат, гумат и фульват цинка [253]. Если судить по полученным прибавкам урожая зерна риса на первом месте по эффективности был гумат цинка, далее в убывающем порядке следовали фульват и сульфат цинка. И.Д. Берко [27] в Ростовской области изучал эффективность внесения фриттовых и воднорастворимых форм цинка под рис. По его данным первые оказались более эффективными. А.Х. Шеуджен [204] не обнаружил преимущество между сульфатом и комплексонатом цинка при обработке семян риса, при этом последняя форма обеспечивала лучшую продуктивность рисового агроценоза при обработке растений в фазе кущения риса [226].

В условиях рисосеяния Кубани на лугово-черноземных почвах одни исследователи рекомендуют внесение цинка в почву в норме 0,5-1,0 кг/га [145], другие – 5 кг/га [114] или 4 кг/га [217, 225]. В Узбекистане на лугово-болотных почвах вносят 2 кг цинка на один гектар [20]. При очень низкой обеспеченности почвы цинком норма внесения цинка достигает до 50 кг/га, особенно в странах Юго-Восточной Азии, где дефицит цинка занимает третье место после азота и фосфора [242].

Сроки внесения цинковых удобрений в почву играют немаловажную роль в обеспечении высокой продуктивности рисового агроценоза. По представленным в литературе результатам исследований на Кубани лучше вносить цинк до посева риса с фосфорно-калийными туками [114, 145, 204]. В Узбекистане предпочтение отдают внесению в фазу всходов риса [20].

Одним из целесообразных способов внесения микроудобрений считается предпосевная обработка семян [108, 117]. Этот способ можно сочетать с протравливанием семян риса ядохимикатами [108, 112], используя широкий диапазон (от 0,05 до 1,5 %) концентраций водных растворов цинка [148]. Неясность и с нормой расхода рабочего раствора. По одним данным лучше

применять 100 л/т [53], по другим – 10 л/т [179, 180, 217]. Другие ученые конкретизируют норму – на 1 тонну семян риса применять 500 г цинка [87] или же 200 г/т [90].

При обработке семян риса часто используют их замачивание в водных растворах цинка [89, 175]. При этом одни рекомендуют 0,5-1,0 % концентрации водного раствора цинка, а по данным Р.А. Салех [145] концентрация раствора значительно меньше – 0,05-0,1 %. И.В. Тищенко и Н.Ф. Чевыкина [175] считают оптимальной концентрацию раствора цинка равную 0,01-0,05 %. Время экспозиции по литературным данным сильно расходится и варьирует от 1-2 часового замачивания семян [191], 12-15 часового [82, 83], 24 часов [148] до 48 часов [104].

В практике рисоводства очень часто используют некорневую подкормку растений [13, 23, 213]. В литературе встречаются разная информация по дозам и срокам проведения подкормки. Одни исследователи предлагают использовать 0,2 % водный раствор цинка [101], другие – 0,5 % раствор микроэлемента [116, 145, 215] и 0,05 % водный раствор [87, 172]. Причем последнюю концентрацию. Имеется научная информация по срокам проведения некорневой подкормки растений риса в фазы трубкования и выметывания [101] и даже в молочно-восковую спелость зерна риса [116]. Но в большинстве случаев лучший срок применения некорневой подкормки растений цинковым удобрением – фаза кущения риса [97, 145].

Цинковые удобрения применяются во всех субъектах РФ и странах ближнего зарубежья. Высокая их эффективность наблюдается в Пакистане, Филиппинах, США, Японии, Кубе, Индии, Бангладеш [91, 114, 246]. Такое широкое распространение связано с воздействием цинка на посевные качества семян риса [82, 114], а также с его влиянием на ускорение процесса созревания риса, увеличению продуктивной кустистости, накоплению сухой массы растениями и снижению пустозерности метелки [4, 14, 21, 148].

Медные удобрения, как и цинковые применяют путем внесения в почву перед посевом риса, обработки семян и растений [89, 90]. Медь в оптимальных нормах способствует более интенсивной реутилизации азота вегетативными органами и эффективного потребления растениями других элементов [208].

Низкая обеспеченность почвы медью приводит к ослаблению ростовых процессов у растений, что сказывается на их продуктивности. Впервые дефицит меди у риса зарегистрирован в Бразилии, а в Португалии при медном голодании – болезнь «бранка» (частичная или полная стерильность метелки) [204].

Наиболее часто недостаток меди выражен на молодых частях растений. Усиливается медное голодание при знойной жаре, высоком содержании аммонийного азота, карбонатов и закисного железа [204, 212, 223].

Под воздействием медного удобрения отмечается положительный результат, который проявляется в усилении интенсивности дыхания, активности полифенолоксидазы, каталазы и аскорбиноксидазы, увеличении содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях риса, формирование мощной ассимиляционной поверхности листьев, повышении чистой продуктивности фотосинтеза, площади листьев растений риса [41, 140, 213, 215]. Так, в опыте с медным удобрением Е.П. Алешин и А.Д. Порохня [8] наблюдали хорошо выраженный параллелизм между интенсивностью дыхания, фотосинтезом и содержанием хлорофилла. Последние два показателя повышались на 24 и 81 % соответственно. Медные удобрения влияют на качество посевного материала, в частности повышают всхожесть и энергию прорастания семян, активизируют жизненные процессы прорастания [90].

Следует отметить действие предпосевной обработки семян риса на продуктивность растений. Под их влиянием урожайность риса повышается на 20,4-22,0 % [175, 179, 180, 205]. Медь оказывает влияние на полевую всхожесть семян риса, всходы появляются быстрее и дружнее – на 2-3 суток раньше, более ранняя регистрация фаз кущения и выметывания риса, в целом рост и развитие растений улучшается и увеличивается их продуктивность [87, 217, 223, 225].

Предпосевную обработку семян осуществляют путем их смачивание [14, 46, 54]. Этот агроприем можно сочетать с протравливанием семян риса ядохимикатами при рекомендуемых концентрациях меди, которые заметно варьируют от 0,1-0,5 % [175]. Одни ученые предлагают обработку семян в норме 1 тонны на 500 г меди [87] или 200 г меди на тонну семян [90], другие – если в семенах риса содержание меди менее 5,50 мг/кг, то используют 0,5 % раствор при расходе жидкости 10 л/т посевного материала [217, 223]. Хорошая эффективность отмечена при двукратном предпосевном смачивании семян риса 0,03 % раствором меди [93].

Предпосевную обработку семян медью осуществляют также путем их замачивания в водных растворах [87, 175, 228]. При этом способе максимальная энергия прорастания и всхожесть семян получена при применении концентрации меди 0,05 и 0,1 % [215].

Некорневая подкормка посевов риса медью является эффективным приемом в повышении их продуктивности, позволяющая целенаправленно снабжать элементами питания растение в течение всего вегетационного периода [185, 197, 217]. Этот агроприем основан на способности растений усваивать нанесенные на их листовую поверхность питательные вещества. К подкормке прибегают, когда нужно оперативно воздействовать на ослабленные растения или при проявлении признаков недостаточности в том или ином элементе [217].

Установлено, что если в надземной вегетативной массе в фазы кущения и выметывания содержится менее 8 мг/кг меди, то говорят о слабой обеспеченности питания риса этим микроэлементом [217]. Предлагается применять 0,1 % водный раствор меди при расходе жидкости 400 л/га. Использование такой нормы дает возможность получить дополнительную прибавку урожайности в количестве 3,4-5,4 ц/га и повысить качество зерна риса [87].

Внесение в почву меди также является эффективным приемом повышения плодородия почвы и их продуктивности. При внесении меди в фазу всходов (3 кг/га) регистрация фаз наступления начинается на 2 дня раньше. Это благоприятно воздействует на созревание риса, формирование зерна в метелке и способствует меньшей пустозерности [166]. В Краснодарском крае внесение в

почву меди способствует увеличению урожайности риса [89, 148, 179, 204, 213]. Но при этом на почвах хорошо обеспеченных подвижной медью внесение этого микроэлемента нецелесообразно [204].

В условиях Украины урожайность риса под воздействием медных удобрений возрастает на 10-16 %, улучшаются биометрические признаки растений и структура урожая зерна [175].

Степень воздействия меди на растения риса в значительной степени зависит от формы одноименного удобрения. Т.А. Чесноковой и её коллегами показано, что растения наиболее чувствительны к ацетату меди, чем сульфату, хлориду и нитрату [195].

Медные удобрения оказывают положительное влияние на состав гумуса почвы: доля гуминовых кислот повышается и снижается доля гумина [9]. Использование меди в рисовом агроценозе повышают эффективность минеральных удобрений [204, 205], она способствует потреблению элементов питания растениями из удобрений [164, 166, 213].

Из приведенного литературного анализа следует, что микроэлементы медь и цинк являются необходимыми элементами минерального питания риса, участвуют в жизнедеятельности растений и почвенных процессах. Их применение в рисовом агроценозе дает положительный эффект на продуктивность растений риса. Хотя микроэлементы достаточно хорошо изучены в условиях рисосеяния, но вместе с тем существуют вопросы по технологии их применения в рисоводстве. В частности, в условиях левобережья р. Кубань слабо изучены сроки, формы, нормы и способы внесения медных и цинковых удобрений без учета экологических особенностей. Все это обусловило постановку исследований для установления целесообразности внесения медных и цинковых удобрений под рис в условиях левобережья реки Кубань.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Место проведения исследования

В соответствии с поставленной целью и задачами исследования в период 2019-2022 гг. были проведены полевые опыты на рисовых полях Адыгейского научно-технического центра по рису (Тахтамукайский район, пос. Прикубанский, Республика Адыгея).

По схеме агроклиматического районирования территория Адыгейского научно-технического центра по рису расположена в первой подзоне Южно-предгорной зоны Краснодарского края, характеризующейся равнинностью рельефа, сравнительно высоким потенциальным плодородием почвенного покрова, с преимущественным распространением слитых черноземов, луговых, лугово-болотных, лугово-черноземных и аллювиальных луговых почв, отличающихся тяжелым гранулометрическим составом и малоудовлетворительными водно-физическими свойствами – водопроницаемость – 0,001-0,01 м/сутки [23, 51, 160, 214].

Производственные испытания и внедрение полученных результатов исследований проводились в Адыгейском научно-техническом центре по рису и Рисоводческом племенном заводе «Красноармейский» Красноармейского района Краснодарского края (филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»).

2.2 Объекты исследования

Объектами исследования в опытах были районированные сорта риса Рапан и Хазар, принадлежащие к одной группе спелости [23].

Рапан – хорошо адаптированный к экологическим факторам среднеспелый сорт риса. Сорт создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции ВНИИР 8847/Белозерный. Вегетационный период – 112-115 дней. Ботаническая

разновидность – *var. italica Alef*. Цветковые чешуи соломенно-желтые, без остей. Высота растений – 85-95 см. Куст компактный, растения прямостоячие. Стебель прочный, что обеспечивает высокую устойчивость посевов к полеганию. Метелка средней длины – 16-17 см, плотность 10-12 колосков на 1 см длины метелки. Форма метелки – компактная, положение – вертикальное, слабо поникает в фазе полной спелости зерна. Сорт обладает высокой устойчивостью к осыпанию. Зерно удлиненной формы, средней крупности. Отношение длины зерновки к ширине (1/b) – 2,0-2,1. Масса 1000 зерен – 27-28 г. Пленчатость – 17,0-18,0 %. Крупа белая, стекловидность 95-98 %, выход крупы – 69-71 %, содержание целого ядра в крупе – 85-95 %. Среднеустойчив к пирикуляриозу. Устойчив к неблагоприятным факторам окружающей среды в период цветения, поэтому имеет невысокую пустозерность. Оптимальный срок посева-залива – до 5-10 мая. Норма высева 7-8 млн всхожих зерен на гектар. Способ посева: на хорошо подготовленной почве – рядовой с заделкой семян на глубину до 1,0 см при укороченном затоплении. Потенциальная урожайность сорта – 10-11 т/га.

Хазар – интенсивно-техногенный среднеспелый сорт риса. Создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции F4 ВНИИР 9531/ВНИИР 9420-84 с повторным отбором в селекционном питомнике. Вегетационный период – 113-118 дней. Ботаническая разновидность *var. italica Alef*. Цветковые чешуи соломенно-желтые со средним опушением, ости отсутствуют. Высота растений – 90-95 см. Куст компактный, прямостоячий. Стебель – средней толщины, прочный. Длина метелки – 16-19 см, плотность 10-12 см колосков на 1 см длины метелки. Пустозерность низкая. Метелка вертикальная, непоникающая, при созревании слабо наклонена. Сорт устойчив к полеганию. Зерно удлиненной формы средней крупности. Отношение длины зерновки к ширине (1/b) – 2,1-2,2. Масса 1000 зерен – 27-28 г. Пленчатость составляет – 17-18 %. Крупа белая, стекловидность – 94-98%, выход крупы – 70-71 %, содержание целого ядра в крупе – 80-95 %.

Сорт среднеустойчив к полеганию и к пирикуляриозу. Не осыпается, но хорошо обмолачивается. Лучшие сроки посева – 1-10 мая. Оптимальная густота –

250-300 растений на 1 м². Учитывая недостаточно высокие темпы роста растений на начальных этапах развития, необходимо высевать 7-8 млн. всхожих зерен на 1 га с заделкой на глубину 0,5-0,7 см при укороченном затоплении. Потенциальная урожайность сорта – 10-12 т/га [23].

2.3 Климатическая характеристика района и погодные условия в годы исследований

Климатические условия зоны проведения исследований довольно благоприятны для формирования продуктивного рисового агроценоза. Количество дней с температурой воздуха более 15°C составляет 134, а сумма среднесуточных температур за этот период – 3000°C. За вегетацию риса выпадает около 260 мм осадков. По средним многолетним данным последний заморозок отмечен 11 апреля, первый 22 октября [10]. Месячный ход температур воздуха с мая по август благоприятно повлиял на ростовые процессы растений риса (таблица 1).

Таблица 1 – Изменения температуры воздуха за период вегетации риса

Месяц	Температура, °С				
	средне- месячная	средний минимум	абсолютный минимум	средний максимум	абсолютный максимум
Апрель	10,7	4,6	-9	16,9	33,0
Май	17,6	10,1	-2	23,0	37,0
Июнь	21,1	13,7	4	26,5	37,0
Июль	24,0	16,1	10	29,6	40,0
Август	23,5	15,4	6	29,6	41,0
Сентябрь	18,2	10,4	-2	24,5	38,0

Погодные условия в разные годы проведения полевых экспериментов несколько различались, но близки к средним многолетним данным (таблица 2). Самым холодным был 2019 год, а теплыми – 2021 и 2022 годы. Среднесуточные показатели температуры воздуха за вегетационный период посевов риса в 2020 году были близки к среднемноголетним для данного региона.

Таблица 2 – Погодные условия за период вегетации растений риса в годы исследований

Год	Месяц				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Температура воздуха, °С					
2018	16,1	20,2	23,1	22,4	17,0
2019	17,2	21,0	23,5	22,9	17,2
2020	17,1	21,1	23,8	23,0	17,9
2021	19,0	22,2	25,2	24,6	18,7
2022	18,6	22,8	27,4	26,0	19,4
Средняя многолетняя	17,6	21,1	24,0	23,5	18,2
Относительная влажность воздуха, %					
2018	67	72	68	64	70
2019	69	71	63	69	71
2020	70	73	66	70	66
2021	68	74	65	65	69
2022	70	72	64	62	66
Средняя многолетняя	68	71	65	64	68

Таким образом, погодные условия в годы проведения полевых и производственных опытов были типичными для рисосеющих районов левобережья реки Кубань и благоприятными для выращивания риса. Это является предпосылкой для получения достоверных результатов исследований.

2.4 Почва опытного участка и ее агрохимическая характеристика

Почвы рисовых агроландшафтов Кубани характеризуются значительной пестротой по физическим, физико-химическим, химическим и биологическим показателям [23, 51, 202, 204, 217].

На территории района проведения исследований сформированы четвертичные делювиальные и аллювиальные отложения.

Делювиальными отложениями сложена предгорная возвышенная равнина. По гранулометрическому составу тяжелосуглинистые с содержанием физической глины 54-60 %, илистой фракции 38-48 %. В днищах балок делювиальные породы более оглеены (оливково-сизые пятна) и имеют плотное сложение. На делювиальных отложения сформировались черноземы слитые слабомочаковатые и лугово-черноземные слитые почвы. Реакция среды – рН 7,7-7,6.

Долина Кубани сформирована на аллювиальных отложениях, наиболее распространенных породах территории района проведения исследований. В супесчаных отложениях физической глины содержится 19-20 %, среднесуглинистых – 38-44 %, среднеглинистых – до 70-84 % и тяжелоглинистых – 90-91 %.

Аллювиальные отложения от среднесуглинистого до легкоглинистого гранулометрического состава имеют серовато-бурую или желто-бурую окраску с вкраплениями охристых пятен окислов железа, слабоуплотненное сложение и довольно благоприятные водно-физические свойства.

В отличие от них легкие по гранулометрическому составу породы (аллювиальные супеси) имеют более светлую, преимущественно желто-бурую или желтую окраску и рыхлое сложение. При этом гидроморфные признаки у них носят менее выраженный характер. Они хорошо водо- и воздухопроницаемы, и имеют очень высокую фильтрационную способность, очень слабо удерживают влагу.

На аллювиальных отложениях сформировались лугово-черноземные, луговые, аллювиальные луговые почвы. Менее благоприятными свойствами

отличаются породы, имеющие средне- и тяжелоглинистый гранулометрический состав. Большой частью эти породы оглеены, имеют сизо-серую с обилием ржавых пятен окраску, плотное сложение, высокую вязкость, способность к сильному набуханию и утрате водопропускной способности.

Не благоприятными свойствами отличаются и сформированные на них аллювиальные лугово-болотные и аллювиальные болотные и аллювиальные болотные перегнойно-глеевые почвы.

Реакция среды аллювиальных пород слабощелочная (рН 7,6) или близкая к нейтральной (рН 6,4). Фрагментарно в химическом составе этих пород отмечается сульфатное или хлоридно-сульфатное засоление с содержанием токсичных солей, не превышающем слабую степень засоления.

Почва опытного участка – лугово-черноземная тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,7 %, общего азота – 0,29 %, общего фосфора – 0,16 %, общего калия – 1,50 %, подвижных форм фосфора и калия 50 и 220 мг/кг соответственно (по Чирикову), подвижной меди (ААБ с рН 4,8) – 0,38 мг/кг, подвижного цинка (ААБ с рН 4,8) – 4,9 мг/кг, $pH_{вод.}$ – 6,8 [51, 205].

Почвы рисовых полей довольно близки по общему содержанию элементов питания. Сравнительно низким содержанием азота выделяется аллювиально-луговая почва, а несколько повышенным – перегнойно-глеевая [205, 206, 217]. У последней высокая обеспеченность обменным калием (таблица 3).

Содержание меди в почвах рисовых полей заметно варьирует. Общая тенденция выражена в повышении валового содержания этого микроэлемента: перегнойно-глеевая > лугово-болотная > аллювиальная луговая > луговая > лугово-черноземная почвы – 16,2-18,0, 18,2-19,8, 18,8-20,0, 19,1-20,4, 19,8-22,4 мг/кг соответственно. Аналогичная закономерность характерна и для валового содержания цинка: 38,6-44,2, 43,8-47,0, 44,6-47,8, 45,2-49,6, 46,8-52,0 мг/кг почвы.

Как видно из представленной выше таблицы 3, что практически все почвы, используемые в рисосеяния низко- и среднеобеспечены подвижными формами

меди и цинка. В большей степени обеднены перегнойно-глеевая, лугово-черноземная и аллювиально-луговая почвы. Хорошей обеспеченностью характеризуются луговая и лугово-болотная почвы, мало отличаясь содержанием подвижных форм цинка и меди.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика почв рисовых полей Кубани (0-20 см) [205]

Показатель	Аллювиально-луговая	Луговая	Лугово-болотная	Лугово-черноземная	Перегнойно-глеевая
Гумус, %	2,60-3,20	3,40-4,42	3,50-4,30	3,70-4,50	5,40-6,30
Азот общий, %	0,14-0,16	0,20-0,25	0,25-0,28	0,29-0,31	0,27-0,37
Фосфор общий, %	0,17-0,19	0,18-0,20	0,18-0,20	0,15-0,20	0,18-0,20
Фосфор подвижный, мг/100 г	5,20-6,40	4,90-5,80	4,00-6,20	4,00-6,00	4,80-6,30
Калий общий, %	1,10-1,40	1,10-1,45	1,30-2,00	1,20-1,70	1,40-1,60
Калий обменный, мг/100 г	25,0-27,0	22,0-25,0	24,0-31,0	20,0-27,0	38,0-44,0
В валовый, мг/кг	31,6-36,0	30,6-39,5	36,1-40,8	40,2-46,7	32,2-36,5
В водорастворимый, мг/кг	0,95-1,05	0,80-1,00	0,74-0,85	0,92-1,28	0,70-0,88
Мо валовый, мг/кг	1,4-1,8	1,5-2,0	1,5-1,9	1,6-2,2	1,2-1,4
Мо подвижный (ААБ), мг/кг	0,14-0,19	0,16-0,25	0,14-0,18	0,16-0,26	0,11-0,13
Мп валовый, мг/кг	430-500	450-515	430-495	520-630	320-380
Мп подвижный, мг/кг (ААБ)	27,6-29,0	28,1-29,6	28,8-29,6	29,0-31,8	24,6-27,0
Мп подвижный, мг/кг (0,1 н H ₂ SO ₄),	30,5-68,3	32,0-69,8	33,1-71,3	34,8-74,5	29,7-34,8
Со валовый, мг/кг	15,0-16,7	16,4-18,0	15,8-17,0	17,4-18,6	14,5-15,5
Со подвижный, мг/кг (ААБ)	0,08-0,25	0,10-0,30	0,09-0,28	0,15-0,31	0,06-0,09
(1 н HNO ₃),	0,95-1,16	0,99-1,30	0,98-1,24	1,06-1,30	0,80-0,94
Си валовый, мг/кг	18,8-20,0	19,1-20,4	18,2-19,8	19,8-22,4	16,2-18,0
Си подвижная, мг/кг (ААБ)	0,28-0,50	0,36-0,62	0,35-0,60	0,34-0,58	0,25-0,44
(1 Н HCl),	4,4-6,2	4,5-6,7	4,4-6,5	4,3-6,0	3,2-4,1
Zn валовый, мг/кг	44,6-47,8	45,2-49,6	44,8-48,0	46,8-52,0	38,6-44,2
Zn подвижный, мг/кг (ААБ)	4,20-5,36	4,38-5,48	4,36-5,41	4,18-5,32	4,15-5,28
(1 Н KCl)	0,28-1,47	0,39-1,52	0,42-1,64	0,26-1,44	0,22-1,39

Возделывание риса приводит к изменению содержания в почве подвижных форм соединений меди и цинка. А.Х. Шеуджен [217] предложил следующую шкалу группировки почв рисовых полей по их содержанию (таблица 4).

Таблица 4 – Группировка почв зоны рисосеяния Кубани по содержанию подвижных форм меди и цинка [205, 206]

Градация	Содержание микроэлемента в почве, мг/кг				Норма микроэлемента, % от рекомендуемой
	медь		цинк		
	^a 1	^b 2	1	2	
Низкая	< 0,3	< 4,5	< 5,0	< 1,0	Высокая
Средняя	0,3-0,6	4,5-6,5	5,0-9,0	1,0-1,5	Средняя
Высокая	> 0,6	> 6,5	> 9,0	> 1,5	Низкая

Примечание: ^a1 – ацетно-аммонийный буфер с рН 4,8; ^b2 – по Пейве-Ринькису

Оценивая почвы рисовых полей по содержанию подвижных форм меди и цинка следует отметить, что практически все они низко- и среднеобеспечены. Это связано с ежегодным их отчуждением с урожаем и вымыванием из верхних слоев почвы со сбросными и фильтрационными водами [204].

2.5 Методика проведения исследования

Исследования проводились лабораторным и полевым методами.

В лабораторном опыте изучалось влияние обработки семян риса микроэлементами – медью и цинком на их посевные качества (ГОСТ 12038-84). Определялись лабораторная всхожесть, энергия прорастания, скорость и дружность прорастания, сила роста семян [211].

Обработку семян осуществляли двумя способами: 1) путем смачивания водными растворами микроэлементов соответствующих концентраций из расчета 10 л рабочего раствора на 1 т посевного материала; 2) путем замачивания семян водными растворами микроэлементов в течение 2-х суток. Количество препарата,

необходимое для приготовления 1 л рабочего раствора микроэлемента, рассчитывали по формуле [205, 206, 211, 216]:

$$П = \frac{К \times 1000}{Д}, \quad (1)$$

где: $П$ – количество препарата, г/л; $К$ – рекомендуемая концентрация, %;

$Д$ – содержание действующего вещества, %.

Полевые опыты были заложены на рисовой оросительной системе Адыгейского научно-технического центра по рису. Почва опытного участка – лугово-черноземная тяжелосуглинистая.

Предшественник – оборот пласта многолетних трав. Общая площадь делянки 144 м² (7,2×20,0), учетной – 80 м², размещение вариантов в опытах рендомизированное, повторность 4-х кратная. Агротехника проведения экспериментов соответствовала рекомендациям ФНЦ риса. Посев в опытах проводили рядовым способом с нормой высева 7 млн. всхожих зерен на 1 га. Минеральные удобрения применялись в норме N₁₂₀P₈₀K₆₀. Азотные удобрения вносились в два приема: ²/₃ до посева и ¹/₃ в подкормку в фазу кущения; фосфорно-калийные удобрения полной нормой до посева. Использовались аммофос, карбамид, двойной суперфосфат и калийная соль. Микроудобрения применялись путем обработки семян полусухим способом – 10 л рабочего раствора на 1 т посевного материала и непосредственного внесения в почву перед посевом риса. Схемы лабораторных и полевых опытов представлены в соответствующих таблицах с экспериментальными данными.

Исследования сопровождалось отбором почвенных образцов с глубины 0-20 см и растений, учетом фенологических фаз развития риса. Отбор почвенных образцов и растений проводили в фазы кущения, выметывания и полной спелости зерна риса. Учет густоты стояния растений риса проводилось путем их подсчета на 2-х смежных рядках длиной 83,3 см в 4-х местах на каждой делянке.

Анализы почв и растений выполнялись в аналитических лабораториях АНТЦ по рису, ФНЦ риса и ЦАС «Краснодарский». В отобранных образцах

почвы определялось содержание аммиачного азота в 0,1 н КСl феноловым методом [207], подвижных форм фосфора и калия в 0,5 Н CH_3COOH по Чирикову [209, 218], подвижных форм меди и цинка атомно-абсорбционным методом при их извлечении $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с рН 4,8 [210, 219].

Высоту растений определяли путем измерения линейных размеров 20 растений, отобранных по диагонали с каждой делянки опыта; сухую массу растений – гравиметрическим методом; содержание азота, фосфора, калия – методом мокрого озоления растительных образцов по Куркаеву [95] в модификации Щукина [235]; цинка и меди – сухого озоления с последующим определением атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 30692-2000).

Определение площади листьев у растений риса заключалось в измерении длины и ширины листовых пластинок. Площадь листа рассчитывали, как произведение этих величин. Поправочный коэффициент на кривизну листа (0,67) вычисляли путем параллельного определения площади листьев методом отпечатков [36, 95, 233].

Фотосинтетический потенциал рисового агроценоза рассчитывали по нарастанию площади листьев в межфазные периоды по формуле [202]:

$$\text{ФП} = \frac{(L_1+L_2)}{2} \cdot T_1 + \frac{(L_2+L_3)}{2} \cdot T_2 + \frac{(L_3+L_4)}{2} \cdot T_3 + \frac{(L_{n-1}+L_n)}{2} \cdot T_{n-1}, \quad (2)$$

где: ФП – фотосинтетический потенциал, $\text{м}^2/\text{га}$;

L_1, L_2, L_3, L_n – площадь листовой поверхности посева в момент учета, $\text{м}^2/\text{га}$;

T_1, T_2, T_3, T_n – интервалы между сроками учета листовой поверхности, день;

$\frac{(L_1+L_2)}{2} \cdot T_1$ – средняя площадь листьев посева для данного промежутка времени, $\text{м}^2/\text{га}$;

n – число определений.

Перед уборкой по диагонали делянки отбирались 20 растений для проведения биометрического анализа и структурного анализа рисового

агроценоза и урожая. Определялись продуктивная кустистость, высота растений, длина метелки, число фертильных и стерильных колосков на метелке, масса зерна с главной метелки, масса 1000 зерен.

Урожай зерна риса учитывался в фазе полной спелости. Массу зерна пересчитывали на стандартную влажность и чистоту согласно ГОСТ 30-4055.

В опыте определялось качество зерна риса (ГОСТ 10843-76, ГОСТ 10987-76, ГОСТ 10846-91). Белок определяли пересчетом общего содержания азота в зерне по коэффициенту 5,95, крахмал – колориметрическим методом по Х.Н. Починку [136].

Результаты исследований подвергались статистической оценке [211]. Экономическую оценку микроудобрений в рисовом агроценозе проводили по методике А.Х. Шеуджена, А.И. Трубилина, С.В. Кизинька и Т.Н. Бондаревой [222].

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Питательный режим лугово-черноземной почвы при применении медных и цинковых удобрений на посевах риса

Подвижный цинк. При недостатке в почве цинка благоприятные агрохимические, физические, физико-химические и биологические свойства не гарантируют ее высокую производительность.

Результаты исследований показали, что лугово-черноземная почва характеризуется низкой обеспеченностью подвижным цинком – 4,9 мг/кг. Его содержание снижено на минеральном фоне и варианте с внесением цинкового удобрения в количестве 2 кг/га (приложение 1; рисунок 1).

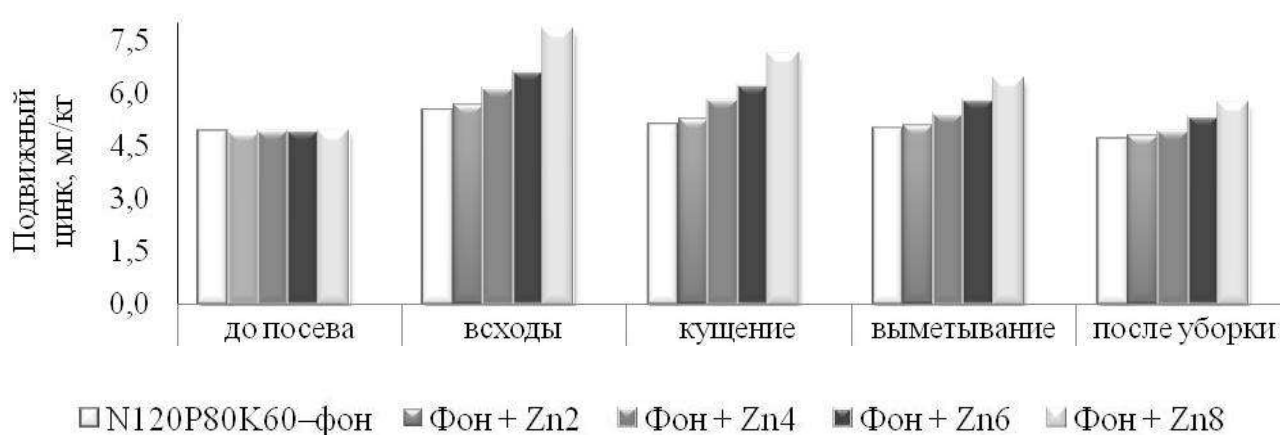


Рисунок 1 – Содержание подвижного цинка в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении цинкового удобрения, мг/кг

Внесение цинка из расчета 4 кг/га позволяло поддерживать бездефицитный баланс этого элемента, т.е. содержание подвижного цинка в почве до посева и после уборки урожая риса было одинаковым. Более высокие нормы цинкового удобрения также способствовали накоплению подвижной формы микроэлемента в почве к концу вегетации риса. Анализ динамики содержания в почве подвижного цинка показывает, что в фазы кущения и выметывания происходило снижение по сравнению с допосевным периодом. Это наиболее заметно на фоне и

вариантах с внесением невысоких (Zn_2 и Zn_4) норм микроудобрения. Уменьшение содержания подвижного цинка в почве в названные фазы, на наш взгляд, происходило вследствие образования в почве гидрокарбонатов, сульфидов и фосфатов цинка, а также его потребления растениями риса. Это согласуется результатами и более ранних исследований А.Х. Шеуджена [204].

Обобщая результаты исследований динамики подвижного цинка в пахотном слое лугово-черноземной почвы, следует отметить, что количество подвижного цинка от начала вегетации риса до фазы выметывания растений постепенно снижалось, а затем, постепенно повышаясь, восстанавливалось почти до исходных значений после уборки. Это наблюдается на фоне и в варианте с внесением минимальной в опыте нормы – Zn_2 . При внесении более высоких норм цинкового удобрения довольно заметное снижение содержания подвижного цинка отмечено в фазе выметывания, что обусловлено специфическими условиями, складывающимися в затопленной почве, которые способствуют переходу подвижных форм микроэлемента в труднорастворимые, а также интенсивным потреблением его растениями. В послеуборочный период содержание подвижного цинка в почве восстанавливалось до исходных количеств или незначительно возрастало в зависимости от внесенной под рис нормы цинкового удобрения. Бездефицитный цинковый режим почвы под рисом складывался при внесении одноименного удобрения из расчета 4 кг/га. Дальнейшее повышение нормы способствовало накоплению микроэлемента в почве сверх исходного его количества. Динамика подвижного цинка в почве под рисом не зависело от нормы вносимого удобрения, которая влияла только на количественные показатели этого процесса.

Подвижная медь. В пахотном 0-20 см слое почвы подвижной меди содержалось 0,38 мг/кг (ААБ, рН 4,8), что характеризует её как среднеобеспеченную для растений этим микроэлементом. Учитывая это, нормы внесения медного удобрения варьировали от 2 до 4 кг/га по д.в. на фоне

$N_{120}P_{80}K_{60}$. Содержание подвижной меди в почве, изменяющейся в течение вегетационного периода растений риса, представлено на рисунке 2.

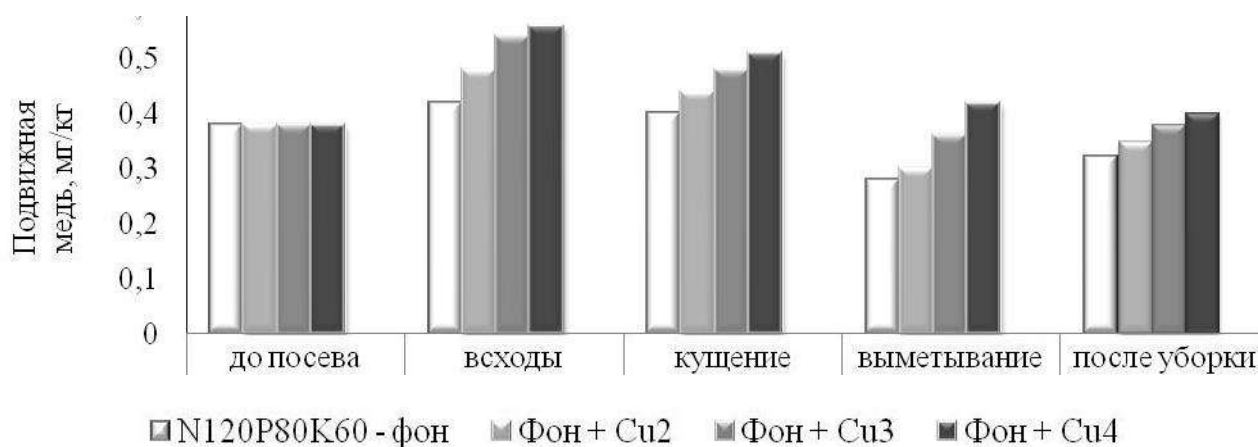


Рисунок 2 – Содержание подвижной меди в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении медного удобрения, мг/кг

В большем количестве подвижной меди в почве отмечалось во время всходов риса, в другие учтенные фазы ее количество постепенно уменьшалось, что связано, по-видимому, с интенсивным потреблением растениями риса и возникновением в восстановленной почве нерастворимых соединений, а также не исключена миграция микроэлемента вниз по профилю вместе с глинистыми частицами.

Под воздействием микроудобрения, внесенного в почву, количество подвижной меди, относительно фона, повышалось в период вегетации растений. Внесение его из расчета 3 кг/га по д.в. позволило сохранить содержание этого микроэлемента в почве на исходном уровне после уборки урожая риса. Более высокая норма Cu_4 также способствовала накоплению подвижной формы меди в почве к уборке урожая риса (приложение 1).

Аммонийный азот. Растение риса может использовать различные формы азота. Однако в связи со спецификой возделывания этой культуры, значительно влияющей на азотный режим почвы, соотношение доступных форм азота отличается от богарных условий. Затопление рисового поля приводит к уменьшению содержания нитратного азота в почве вплоть до его исчезновения и увеличению аммонийного. По мере развития в почве условий восстановленности

содержание нитратов снижается до следовых количеств, а аммонийный азот становится единственным источником для питания растений.

Динамика азота в почве под рисом зависит от вносимых макро- и микроудобрений [213, 217]. До посева риса в лугово-черноземной почве содержалось 13,7 мг/кг аммонийного азота (рисунок 3, приложение 1). При затоплении почвы количество NH_4^+ в почве фона значительно возросло (на 6,7 мг/кг или 48,9 %) к фазе кущения и оставалось практически на таком же уровне до выметывания, несмотря на интенсивное его поглощение растениями риса. После уборки количество аммонийного азота в почве снижалось по сравнению с предшествующей фазой на 6,5 мг/кг или на 34,9 %, а с исходным его содержанием на 1,0 мг/кг или на 7,3 %.

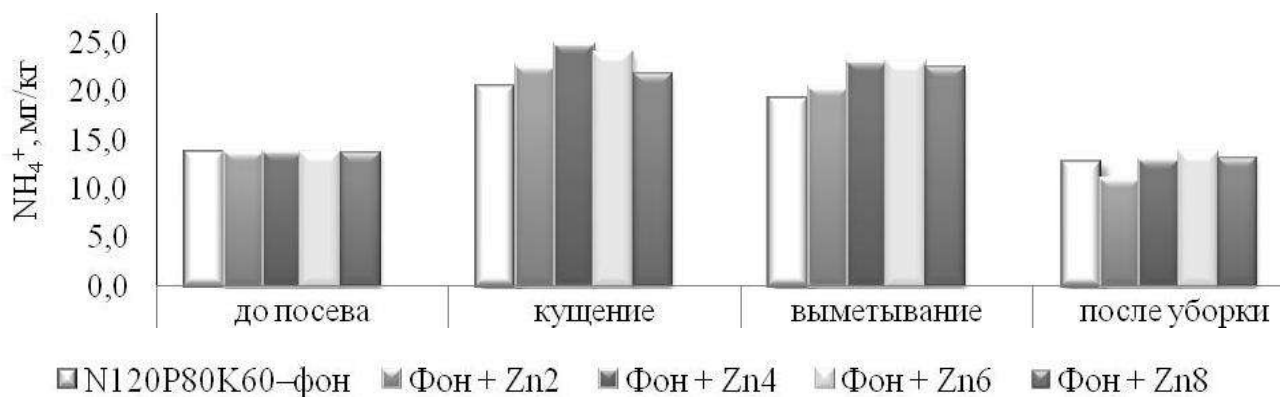


Рисунок 3 – Содержание аммонийного азота в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении цинкового удобрения, мг/кг

Внесение цинкового удобрения не повлияло на направленность и закономерности изменений содержания аммонийного азота в почве, но отразилось на его количестве. Так, в период кущения содержание обменно-поглощенного аммония в почве варьировало от 21,8 до 24,7 мг/кг в зависимости от нормы внесения цинка, т.е. было больше на 1,4-4,3 мг/кг или на 6,9-21,1 %, чем на фоне. В этот период максимальное его содержание в почве наблюдалось в варианте с нормой внесения цинкового удобрения 4 кг/га. Следовательно, эта норма обеспечивает наиболее благоприятные условия для азотного питания растений риса в фазе кущения на лугово-черноземной почве. Увеличение нормы

внесения цинкового удобрения до и выше 4 кг/га отрицательно отражалось на обеспеченности растений риса аммонийным азотом.

В фазе выметывания растений в вариантах с внесением 2 и 4 кг/га цинка наблюдалось незначительное снижение количества аммонийного азота в почве. В наибольшей степени это имело место при норме 4 кг/га цинка. По нашему мнению, это происходило в результате более интенсивного потребления азота растениями риса. При норме цинкового удобрения 6 кг д.в./га различий по содержанию аммонийного азота в фазе кущение и выметывание риса не обнаружено, а при 8 кг/га – отмечено даже увеличение его количества на 8,1 %. Следовательно, можно предположить, что цинк способствует усилению интенсивности процессов аммонификации в почве.

Сброс воды с рисового поля сопровождается сменой окислительно-восстановительного состояния почвы, что приводит к преобладанию нитрификационных процессов над аммонификационными. Постепенно в почве накапливается нитратный азот и уменьшается количество аммонийного. К моменту отбора почвенных образцов содержание аммонийного азота в почве снижалось во всех вариантах опыта по сравнению с фазой выметывание. Причем, в почве фона на 6,7 мг/кг или на 34,9 %, а при внесении цинкового удобрения на 9,2-10,1 мг/кг или на 40,2-49,8 %. Меньше всего аммонийного азота содержалось в неудобренной цинком почве и с внесением его в норме 2 кг/га. При внесении 6 кг/га цинка содержание аммонийного азота в почве в допосевной и послеуборочный период было одинаковым.

Проанализировав полученные данные можно предположить, что цинк оказывает влияние на процессы нитрификации и аммонификации в почве. Он стимулирует процессы аммонификации, в результате чего в почве после сброса воды количество аммонийного азота снижается медленнее, чем в варианте $N_{120}P_{80}K_{60}$. При этом следует учитывать также потребление аммонийного азота растениями. Разница между содержанием в почве аммонийного азота в фазе выметывания растений и в послеуборочный период при внесении цинка больше,

чем в варианте фона. Варианты внесения 2, 6 и 8 кг/га по этому показателю не отличались, а при норме 4 кг/га снижение содержания аммонийного азота было более существенным. Наиболее вероятное объяснение этого – более интенсивное поглощение азота растениями при оптимальном их обеспечении цинком.

Таким образом, цинковое удобрение не влияет на динамику аммонийного азота в почве, она одинакова на всех вариантах опыта и заключается в постепенном нарастании количества этой формы азота до фазы кущения, незначительном снижении в фазе выметывания и значительном – в послеуборочный период.

Медные удобрения не изменяли ход динамики содержания аммонийного азота в почве, но повлияли на количественную сторону. При предпосевном их внесении содержание NH_4^+ в пахотном слое почвы возрастало в фазы кущения, выметывания и созревания риса на 0,4-2,1, 0,6-2,7 и 0,3-1,0 мг/кг (1,5-7,9, 2,8-12,4 и 2,5-8,5 %) соответственно (рисунок 4, приложение 1).

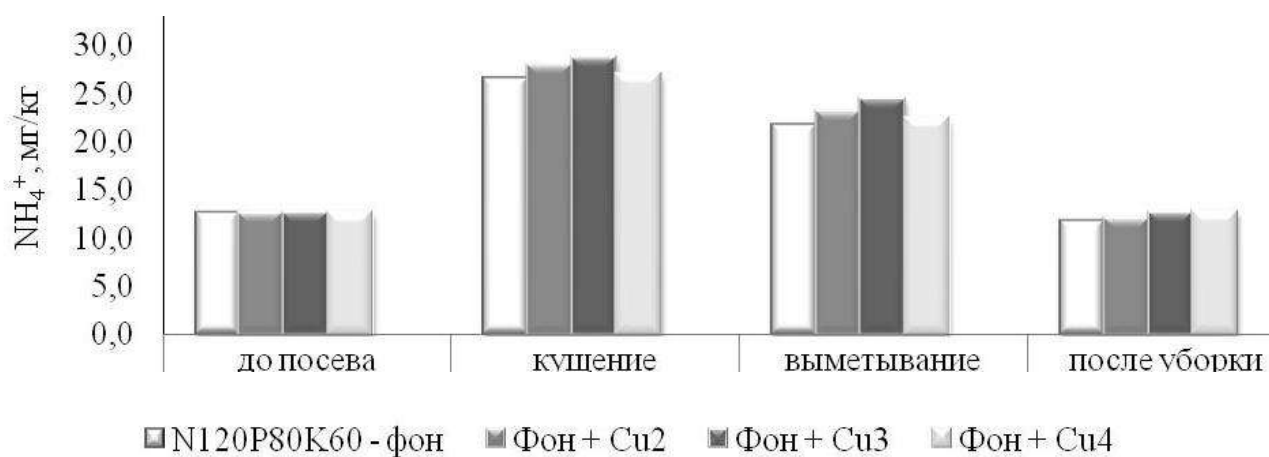


Рисунок 4 – Содержание аммонийного азота в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении медного удобрения, мг/кг

Подвижный фосфор. На динамику содержания фосфатов в почве под рисом влияет окислительно-восстановительное ее состояние. Подвижность соединений фосфора в почве возрастает при затоплении рисового чека. Одной из причин повышения подвижности фосфора в условиях восстановленности является накопление низкомолекулярных органических кислот [204, 213].

Динамика подвижного фосфора в рисовых почвах изучается уже длительное время [47, 53, 192, 217]. В основном характер изменений фосфорных соединений на всех типах почв одинаков. В лугово-черноземной почве опытного участка до посева риса обнаружено 53,3 мг/кг подвижного фосфора. Затопление рисового поля создает условия, способствующие переводу нерастворимых фосфорных соединений в растворимые, повышая их подвижность. Поэтому к кущению растений риса в почве их содержание увеличивалось на 1,5 мг/кг (2,8 %), а к выметыванию – еще на 1,3 мг/кг (2,4 %). Сброс воды с поля приостанавливает процессы перевода фосфорных соединений в подвижные формы, в результате чего их количество сокращалось на 4,2 мг/кг (7,5 %) – с 56,1 до 51,9 мг/кг (рисунок 5, приложение 1).

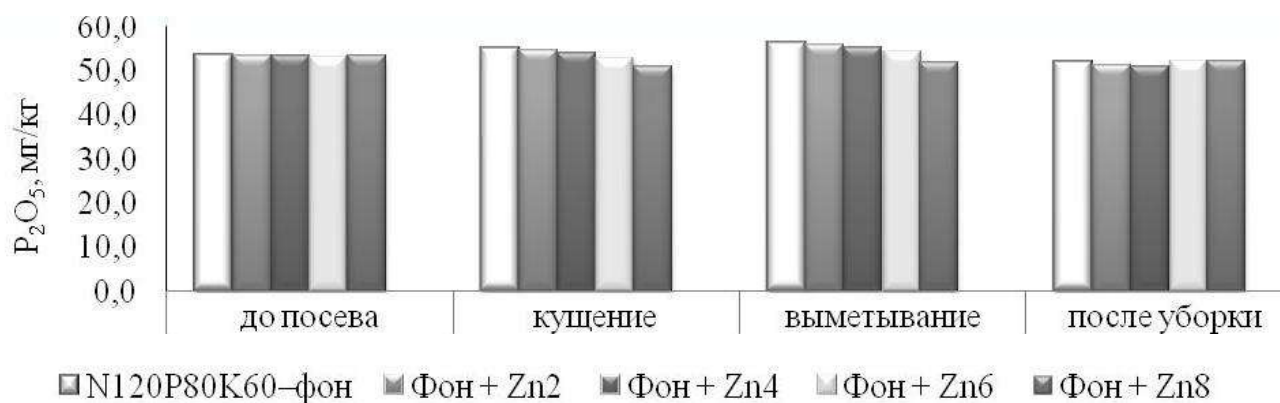


Рисунок 5 – Содержание подвижного фосфора в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении цинкового удобрения, мг/кг

Внесение цинковых удобрений в количестве 2 кг/га не изменило динамику подвижного фосфора в почве. В то же время была заметна слабовыраженная тенденция к снижению его содержания в период вегетации риса. Увеличение норм цинковых удобрений до 4, 6 и 8 кг/га существенно отразилось на содержании подвижных фосфатов. А именно, в фазы кущения и выметывания подвижного фосфора в почве содержалось меньше, чем на фоне и при внесении цинкового удобрения из расчета 2 кг/га. Известно о существовании антагонизма в поступлении в корневую систему растений между фосфором и цинком. Последний образует с фосфат-ионами труднорастворимые, практически недоступные растениям соединения [32, 305]. В нашем опыте отрицательное действие цинка проявилось при

внесении в почву микроудобрения в норме, начиная с 4 кг/га и выше, т. е. внесение цинкового удобрения из расчета 2 кг/га не вызывало повышения концентрации цинка до уровня, способного повлиять на динамику подвижных фосфатов в затопленной почве.

При внесении меди из расчета 2-3 кг/кг по д.в. содержание подвижного фосфора в почве было повышенным по сравнению с более высокой нормой Cu_4 (рисунок 6, приложение 1).

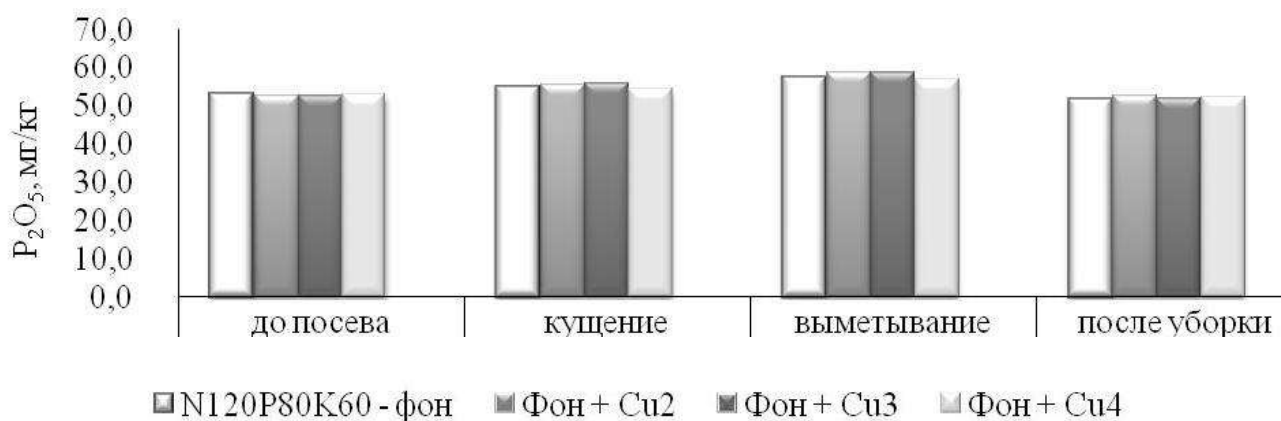


Рисунок 6 – Содержание подвижного фосфора в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении медного удобрения, мг/кг

Таким образом, количественная динамика подвижного фосфора в лугово-черноземной почве от применения цинкового и медного удобрений неодинаковая. При внесении цинка в почву его количество снижается во все фазы вегетации риса. Внесенная медь оказывает позитивное влияние на этот агрохимический показатель почвы.

Обменный калий. В почвах калий представлен водо-, легко-, труднорастворимой и необменной формами. Между ними существует динамическое равновесие [209]. Длительное затопление чеков при выращивании риса способствует лучшей обеспеченности почвы рисовых полей водорастворимыми и обменными формами калия по сравнению с их богарными аналогами. Все формы калия в различной мере участвуют в питании растений, но основная роль принадлежит водорастворимой и обменной формам.

Из элементов минерального питания растений калий больше всего отчуждается из почвы и со временем этот процесс может привести к его недостатку. В почве количество доступного растениям калия зависит от его потребления и пополнения за счет других форм.

Соотношение различных форм калия зависит от внесения в почву микроудобрений [217]. При внесении микроудобрений изменяется интенсивность минерализации органического вещества почвы, в результате чего повышается содержание подвижных форм калия.

После затопления чека количество обменного калия в почве фонового варианта к фазе кущения растений возросло на 25,5 мг/кг, или на 13,4 %. На вариантах с предпосевным внесением цинка в почву на 24-28 мг/кг, или на 13-15 % (рисунок 7, приложение 1).

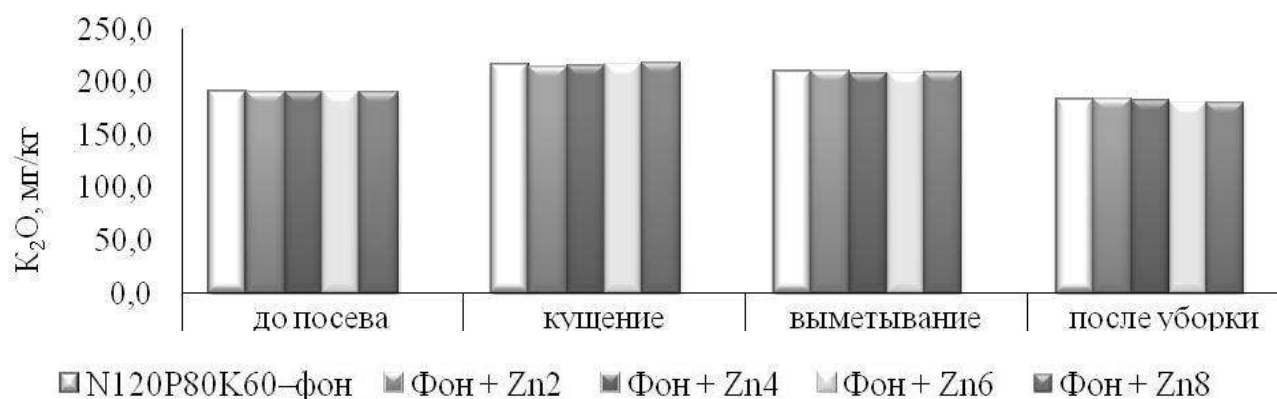


Рисунок 7 – Содержание обменного калия в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении цинкового удобрения, мг/кг

К фазе выметывания содержание обменного калия снижалось, что, по-видимому, связано с интенсивным потреблением калия растениями риса. Следует отметить, что применение разных норм цинка почти не отразилось на тенденциях и количественных изменениях обменного калия в почве в период развития риса.

После сброса воды с рисового чека и создания в почве окислительных процессов содержание обменного калия уменьшилось, значения которого практически установились на том же уровне, как и до посева, поскольку вносимые калийные удобрения компенсировали вынос калия с урожаем.

Внесение медного удобрения не повлияло на динамику содержания обменного калия в почве, но отразилось количественно в период прохождения фаз вегетации (рисунок 8, приложение 1).

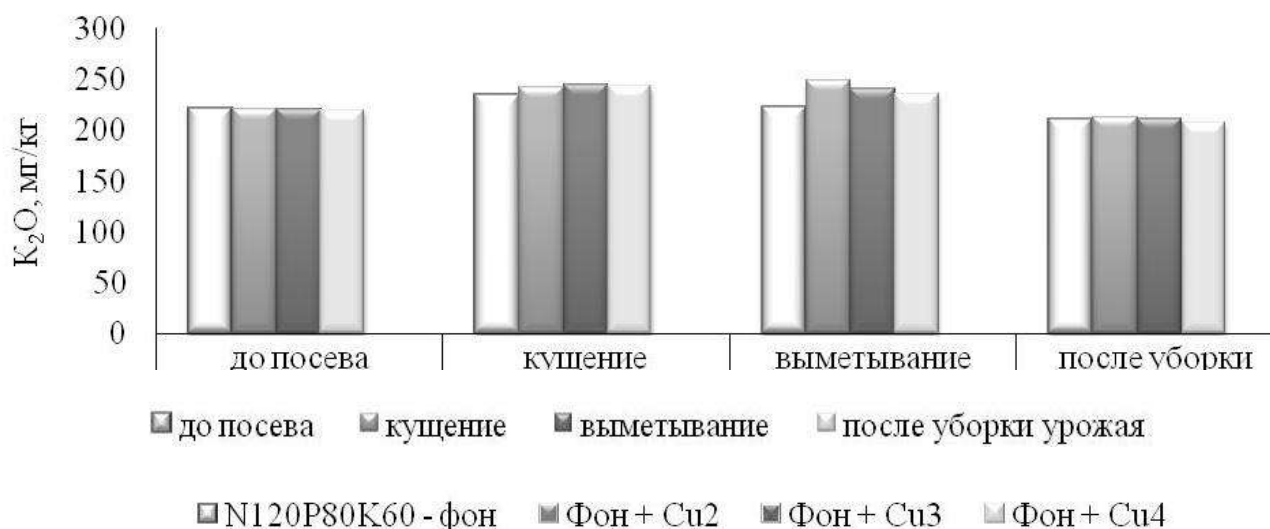


Рисунок 8 – Содержание обменного калия в лугово-черноземной почве (0-20 см) при предпосевном внесении медного удобрения, мг/кг

Как видно из рисунка 8, наблюдалось увеличение содержания обменного калия в почве после ее затопления. При применении системы удобрения без включения меди приращение к исходному количеству в фазе кушения составляло 14 мг/кг, или же 6 %. При внесении в почву меди на фоне $N_{120}P_{80}K_{60}$ оно увеличивалось до 22-25 мг/кг, или же на 6 и 10-11 %; в большей степени при норме 3 кг/га по д.в. Это объясняется усилением микробиологической активности почвы под воздействием микроэлемента и большим поступлением в среду метаболитов самих растений через корневую систему, которые являются следствием усиления их обмена веществ [78]. В фазе выметывания содержание обменного калия снижалось в результате его потребления растениями риса.

Обобщая результаты исследований по влиянию цинковых удобрений на содержание аммонийного азота, подвижных форм фосфора и цинка, а также обменного калия в почве следует отметить, что их внесение не изменяет характер динамики в течение периода вегетации риса. Под их влиянием повышается содержание в почве подвижных форм цинка и аммонийного азота и снижается

количество доступного растениям фосфора, не влияя при этом на калийный режим лугово-черноземной почвы. Наиболее благоприятный цинковый и азотный режимы почвы складываются при внесении в почву цинкового удобрения из расчета 4 кг д. в./га.

Медные удобрения также не оказывают влияние на характер динамики содержания биогенных элементов в лугово-черноземной почве под посевами риса, но сказываются на их количестве. При их внесении из расчета 3 кг/га по д.в. возрастает содержание в почве обменно-поглощенного аммонийного азота, подвижного фосфора, обменного калия и подвижной меди. Более высокие нормы медного удобрения способствуют накоплению в почве подвижной меди, но не оказывают положительного воздействия на азотный, фосфорный и калийный режимы.

3.2 Посевные качества семян риса при их обработке микроэлементами

Семена, формирующиеся на растении, при сохранении генотипа всегда разнокачественные, т. е. различаются по морфологическим признакам, биохимическому составу и физиологическому состоянию, способности прорасти и обеспечивать определенную продуктивность растений в потомстве [122].

Посевной материал риса оценивали по показателям лабораторной всхожести, энергии прорастания, дружности и скорости прорастания, силы роста, а также по дополнительному показателю – бонитет прорастания, предложенный А.Х. Шеудженом [217]. Его рассчитывают, как произведение двух важнейших составляющих силы роста: числа и массы проростков [202].

Цинк. Результаты исследований показали, что действие цинка при обработке семян риса на их энергию прорастания и всхожесть зависит от формы, нормы и способа его применения (таблица 5).

Таблица 5 – Энергия прорастания и всхожесть семян риса при обработке их цинком, %

Вариант	Энергия прорастания		Всхожесть	
	сульфат цинка	хелат цинка	сульфат цинка	хелат цинка
Замачивание				
Контроль (вода)	78,0	78,0	91,0	91,0
Zn 0,025 %	80,5	79,5	93,5	92,0
Zn 0,05 %	81,5	80,0	94,0	93,5
Zn 0,1 %	82,0	81,5	95,5	96,0
Zn 0,5 %	84,5	85,0	97,0	98,0
Zn 1,0 %	81,5	82,5	93,5	94,0
Zn 1,5 %	70,5	72,5	88,0	90,0
НСР ₀₅	2,0	2,0	1,5	1,6
Смачивание				
Контроль (вода)	78,0	78,0	91,0	91,0
Zn 0,025 %	79,0	78,5	92,0	91,5
Zn 0,05 %	80,5	79,5	92,5	92,0
Zn 0,1 %	81,5	80,5	93,5	93,0
Zn 0,5 %	82,5	82,0	97,0	96,5
Zn 1,0 %	83,5	83,0	95,5	96,0
Zn 1,5 %	75,0	78,5	90,5	92,5
НСР ₀₅	2,3	1,8	2,1	2,0

При замачивании семян энергия прорастания и всхожесть под воздействием цинка повышались значительно, чем при смачивании. Сильнее это проявлялось при использовании для обогащения семян низконцентрированных растворов микроэлемента – 0,025-0,5 %. Водные растворы цинка с концентрацией в интервале 0,025-1,0 % повышали энергию прорастания и всхожесть семян риса, а более концентрированные (Zn 1,5 %), наоборот, снижали.

При замачивании семян лучшие условия создавались при использовании 0,5 % раствора цинка, при смачивании – 1,0 %. Следует отметить, что при использовании низконцентрированных растворов (0,025-0,5 %) как для замачивания, так и смачивания семян наибольшее положительное влияние

оказывал сульфат цинка, а при более высоких концентрациях – хелат цинка на основе ЭДТА.

Смачивание семян риса водным раствором цинка отражалось на их скорости и дружности прорастания (таблица 6).

Таблица 6 – Дружность и скорость прорастания семян риса при обработке их цинком

Вариант	Дружность прорастания, шт./сут.	Скорость прорастания одного семени, сут.
Контроль (вода)	10,5	3,3
Zn 0,025 %	11,7	3,2
Zn 0,05 %	13,6	3,2
Zn 0,1 %	16,5	3,1
Zn 0,5 %	17,8	3,1
Zn 1,0 %	19,4	3,0
Zn 1,5 %	9,0	3,5
НСР ₀₅	1,5	0,1

С повышением концентрации рабочего раствора до 1,0 % включительно дружность прорастания повышалась на 1,2-8,9 шт./сут. Более высокая концентрация микроэлемента – Zn 1,5 %, – негативно влияет на этот показатель. С ростом дружности прорастания семян синхронно увеличивалась и скорость этого процесса. Степень этого увеличения оценить точнее можно, выразив скорость прорастания не в сутках, а часах. Так, если скорость прорастания одного семени на контроле составляет 79,2 ч, то после обработки 1,0 % раствором цинка она уменьшилась на 7,2 ч. Это означает, что существенно может сократиться время, затрачиваемое на преодоление проростками риса слоя почвы и воды, т. е. нахождение их в неблагоприятных условиях среды. Это очень важно для получения полноценных всходов риса – густых, выравненных и с хорошо развитыми проростками.

Анализируя данные опыта по определению силы роста семян риса, обратили внимание на их невысокую всхожесть, которая была значительно ниже лабораторной. Это результат влияния условий эксперимента. Проросткам

необходимо было преодолеть слой субстрата (песка), в результате чего наблюдалось снижение показателя всхожести по сравнению с проращиванием на фильтровальной бумаге в чашках Петри. Обогащение семян цинком способствовало увеличению их всхожести на 3,5-12,4 %. В наибольшей мере этому способствует обработка семян 1,0 % водным раствором цинка. При этом не только большее количество проростков преодолевают слой песка, но и они более мощные: длина корешка, высота ростка, сухая масса корешка и ростка превосходили контроль соответственно на 70,8, 95,4, 66,7 и 31,0 %. Бонитет прорастания обогащенных цинком семян риса превосходил контроль на 23,6-106,3 единицы. Это еще раз подтверждает высокую эффективность предпосевной обработки семян цинком (таблица 7).

Таблица 7 – Сила роста семян риса при обработке их цинком

Вариант	Всхожесть, %	Длина корешка, см	Высота ростка, см	Сухая масса корешка, мг	Сухая масса ростка, мг	Бонитет прорастания семян
Контроль (вода)	74,0	4,8	4,4	0,3	2,0	170,2
Zn 0,025 %	77,5	5,3	5,5	0,4	2,1	193,8
Zn 0,05 %	79,5	6,0	6,2	0,4	2,3	222,6
Zn 0,1 %	82,3	7,2	7,7	0,4	2,4	238,7
Zn 0,5 %	85,0	7,9	8,2	0,4	2,5	255,0
Zn 1,0 %	86,4	8,2	8,6	0,5	2,6	276,0
Zn 1,5 %	79,1	7,0	7,4	0,4	2,4	229,4
НСР ₀₅	2,5	1,2	1,3	0,1	0,1	–

Не умаляя значимости ране рассмотренных показателей, более надежным для оценки эффективности предпосевной обработки семян риса цинком является их полевая всхожесть (таблица 8). Этот показатель возрастал на 0,8-3,8 при посеве обработанными цинком семенами, что указывало на положительное действие микроэлемента.

Таблица 8 – Полевая всхожесть семян и продуктивная кустистость растений риса

Вариант	Полевая всхожесть семян, %	Кустистость, шт./растение	
		общая	продуктивная
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	37,0	1,2	1,0
Фон + Zn, 0,05 %	37,8	1,2	1,1
Фон + Zn, 0,1 %	38,4	1,3	1,2
Фон + Zn, 0,5 %	39,6	1,3	1,3
Фон + Zn, 1,0 %	40,8	1,3	1,3
Фон + Zn, 1,5 %	39,0	1,2	1,2
НСР ₀₅	2,6	0,1	0,2

Наилучшая густота стояния растений в агроценозе формировалась при обработке семян 1,0 % водным раствором микроэлемента. Растения риса, выросшие из обогащенных цинком семян, лучше кустились и развивались.

Таким образом, обогащение посевного материала цинком оказывает положительное воздействие на энергию, дружность, скорость и бонитет прорастания семян риса, всхожесть и силу их начального роста – высоту и массу ростка, длину и массу корешка. Лучший результат достигается при обработке семян 1,0 % водным раствором микроэлемента полусухим способом.

Медь. Предпосевная обработка семян риса медью положительно сказалась на энергии прорастания и их всхожести (таблица 9). Степень влияния микроэлемента на показатели посевных качеств семян зависела от формы и концентрации водного раствора меди, а также способа ее применения.

При смачивании семян риса в зависимости от концентрации водного раствора сульфата меди, которым они обрабатывались, энергия прорастания возрастала на 5,5-10,5 %, всхожесть – на 0,5-4,0 %, при замачивании – на 1,0-11,0 и 0,5-4,5 % соответственно. При смачивании семян максимальные значения этих показателей получены при обработке 0,5 %-ным водным раствором меди, при замачивании – 0,1 %-ным раствором микроэлемента в форме сульфата.

Таблица 9 – Энергия прорастания и всхожесть семян риса при обработке их медью, %

Вариант	Энергия прорастания		Всхожесть	
	сульфат цинка	хелат цинка	сульфат цинка	хелат цинка
Замачивание				
Контроль (вода)	72,0	72,0	92,5	92,5
Cu 0,05 %	80,5	78,5	95,5	94,0
Cu 0,1 %	83,0	81,5	97,0	96,0
Cu 0,5 %	82,5	82,0	96,0	97,0
Cu 1,0 %	77,5	80,5	94,5	96,5
Cu 1,5 %	73,0	76,5	93,0	94,5
НСР ₀₅	4,0	4,5	3,5	3,0
Смачивание				
Контроль (вода)	72,0	72,0	92,5	92,5
Cu 0,05 %	77,5	76,5	94,5	93,5
Cu 0,1 %	79,0	78,0	95,0	94,0
Cu 0,5 %	82,5	80,0	96,5	96,0
Cu 1,0 %	79,0	80,5	95,0	96,5
Cu 1,5 %	77,5	79,0	93,0	94,0
НСР ₀₅	4,5	4,0	3,0	3,5

Не зависимо от способа обработки семян замена сульфата меди на хелатную форму микроэлемента существенно не отразилось на эффективности данного агроприема. Смачивание семян риса 0,05-1,5 %-ными водными растворами хелата меди увеличивало энергию прорастания на 4,5-8,5 %, всхожесть – на 1,0-4,0 %; замачивание – на 4,5-10,0 и 1,5-4,5 % соответственно. В то же время, максимальный эффект от использования хелатной формы достигался при более высоких концентрациях микроэлемента: при смачивании от 1,0 %-ной, замачивании от 0,5 %-ной концентрации. С экономической и экологической точки зрения предпосевная обработка семян риса сульфатом меди предпочтительней хелатной формы.

Обогащение семян риса медью позитивно отразилось на дружность и скорость их прорастания (таблица 10).

Таблица 10 – Скорость и дружность прорастания семян риса при их обработке медью смачиванием

Вариант	Скорость прорастания одного семени, сут.		Дружность прорастания семян, шт./сут.	
	сульфат меди	хелат меди	сульфат меди	хелат меди
Контроль (вода)	3,5	3,5	18,0	18,0
Cu 0,05 %	3,2	3,3	19,4	19,1
Cu 0,1 %	3,1	3,2	19,8	19,5
Cu 0,5 %	3,0	3,1	20,6	20,2
Cu 1,0 %	3,4	3,2	19,8	20,1
Cu 1,5 %	3,4	3,3	19,4	19,8
НСР ₀₅	0,1	0,2	2,0	1,8

Скорость прорастания, а именно средняя продолжительность прорастания одного семени, под воздействием микроэлемента сокращалась на 0,1-0,5 суток. Семена, обогащенные медью, дружнее прорастали – среднее число семян, проросших за одни сутки возрастало в зависимости от формы и концентрации водного раствора микроэлемента, использованного для их обработки, на 1,1-2,6 шт. Наибольшее влияние меди на скорость и дружность прорастания семян имело место на варианте, где посевной материал обрабатывали 0,5 %-ным водным раствором микроэлемента.

Обогащение семян риса медью положительно сказалось на силе их начального роста (таблица 11). Как свидетельствуют результаты исследований, не каждое семя оказалось способным формировать росток, т.е. преодолевать трехсантиметровый слой песка. Так, если лабораторная всхожесть семян, использованных в эксперименте, составляла 92,5 %, то число ростков, преодолевших 3-х сантиметровый слой песка, составила 84,0 %, то есть снизилась на 8,5 %. Под воздействием меди этот разрыв сократился на 2,5-6,5 %. Обогащение семян риса медью способствовало повышению показателей силы их первоначального роста: увеличению длины и сухой массы корешка на 9,4-33,4 % и 50-100 %, высоты и сухой массы ростка на 13,0-27,5 % и 9,5-23,8 %

соответственно. Максимальные значения показателей силы роста семян получены на варианте с обработкой 0,5 % водным раствором микроэлемента.

Таблица 11 – Сила роста семян риса при обработке их медью

Вариант	Всхо- жесть, %	Длина кореш- ка, см	Высота ростка, см	Сухая масса кореш- ка, мг	Сухая масса ростка, мг	Бонитет пророста- ния семян
Контроль (вода)	84,0	4,8	4,5	0,3	1,9	118,0
Cu 0,05 %	87,0	5,3	5,3	0,4	2,1	154,5
Cu 0,1 %	88,5	6,0	5,6	0,5	2,3	190,1
Cu 0,5 %	90,5	6,4	5,75	0,6	2,35	196,3
Cu 1,0 %	87,0	5,8	5,2	0,5	2,3	186,8
Cu 1,5 %	86,5	5,2	5,1	0,4	2,0	149,7
НСР ₀₅	2,2	1,1	1,3	0,1	0,1	-

Бонитет прорастания семян риса, т.е. произведение числа проросших семян на сухую массу 10-дневных проростков, обогащенных медью, превосходил контроль на 31,7-78,3 единиц. Это подтверждает положительное воздействие микроэлемента на силу роста семян риса.

Улучшение посевных качеств семян риса под воздействием меди, является положительным фактором, так как влечет за собой повышение их полевой всхожести, т.е. увеличению густоты стояния растений и обеспечивает лучший стартовый рост проросткам. Как свидетельствуют полученные экспериментальные данные полевая всхожесть семян риса оказалась ниже лабораторной на 54,5 %, т.е. в полевых условиях полноценные всходы формировались лишь у 38,0 % высеянных семян (таблица 12).

В зависимости от концентрации водного раствора меди, использованного для обработки семя риса, полевая их всхожесть возросла на 2,0-6,6 % по сравнению с фоном. Максимальное приращение данного показателя наблюдалось при использовании для предпосевной обработки семян 0,5 %-ные водные растворы

микроэлемента. Растения, выросшие из обогащенных медью семян, лучше кустились и развивались в процессе их вегетации.

Таблица 12 – Полевая всхожесть семян и продуктивная кустистость растений риса

Вариант	Полевая всхожесть семян, %	Кустистость, шт./растение	
		общая	продуктивная
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	38,5	1,4	1,2
Фон + Cu, 0,05 %	40,5	1,4	1,3
Фон + Cu, 0,5 %	45,1	1,6	1,5
Фон + Cu, 1,0 %	44,3	1,5	1,4
НСР ₀₅	4,2	0,1	0,2

Таким образом, предпосевная обработка семян риса медью позитивно отразилась на посевные качества и полевую их всхожесть, а также на общую продуктивную кустистость растений. Лучший эффект достигается при обработке семян 0,5 % водным раствором меди полусухим способом.

3.3 Рост и развитие растений риса при предпосевной обработке семян микроэлементами

3.3.1 Продолжительность вегетационного периода растений

Вегетация (*vegetation*) – состояние активной жизнедеятельности растений, при которой осуществляется их развитие, а также увеличение размеров и массы. Под вегетационным периодом подразумевается период, за который растение проходит полный цикл развития – от прорастания семени до созревания новых семян.

Цинк. Результаты полевого эксперимента показали, что при обработке семян цинком всходы риса вследствие повышения энергии прорастания появлялись быстрее, кущение проходило дружнее, фаза выметывания наступала

на 4-8 дней раньше, увеличивался на 2–4 дня период созревания зерна. В целом продолжительность вегетационного периода растений сокращался на 2-4 дня (рисунок 9).

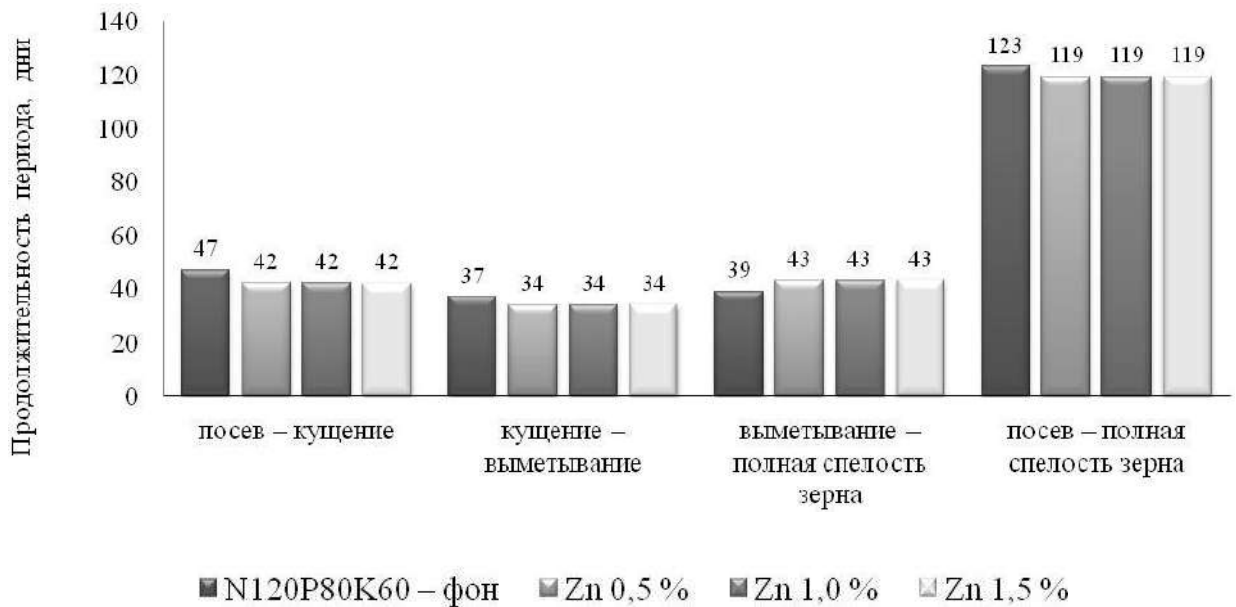


Рисунок 9 – Продолжительность вегетационного периода растений риса при предпосевной обработке семян цинком

Установленное действие цинка на наступление фенологических фаз вегетации риса благоприятно сказывается на полную реализацию потенциальной продуктивности растений.

Медь. У растений риса контрольного варианта и опытных, выращенных из обогащенных медью семян, выявили значительные различия в прохождении фенофаз (рисунок 10). На опытных вариантах дружнее и на 1-4 дня раньше появлялись всходы риса, что можно объяснить положительным влиянием меди на посевные качества семян – скорости, энергии, силы и дружности прорастания. Действие микроэлемента на развитие растений наблюдалось и в последующие фазы вегетации риса. У растений, выращенных из обогащенных медью семян, фаза выметывания наступила на 5-7 дней раньше, т.е. сокращался вегетативный период их развития. Действие меди на продолжительность периода выметывания–полная спелость зерна имело противоположный характер – на 1-4 дня удлинялся,

т.е. генеративный период развития растений под воздействием микроэлемента несколько возростал.

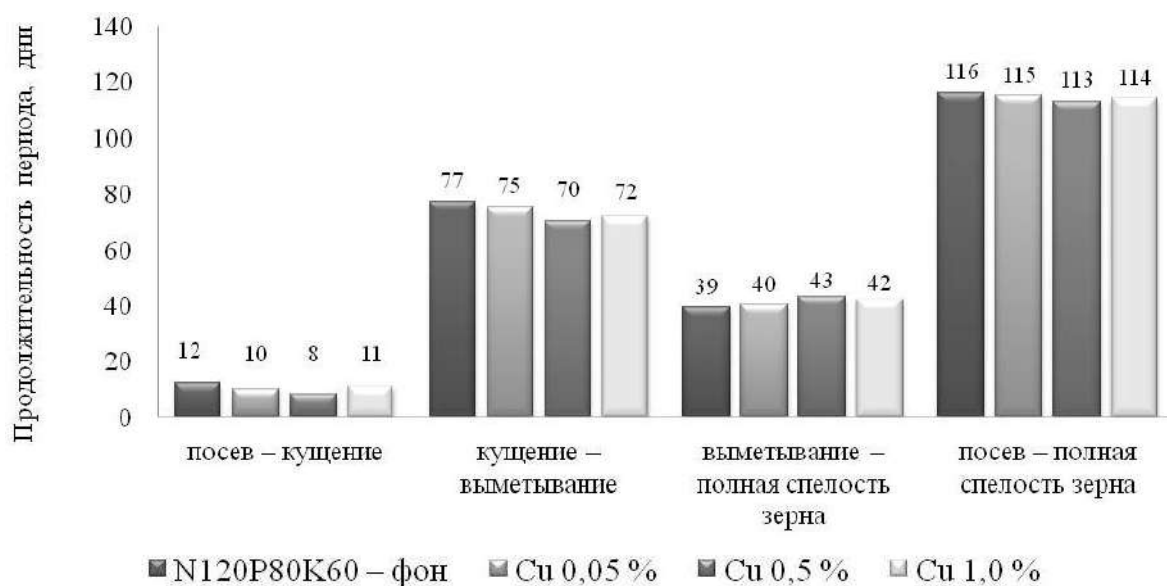


Рисунок 10 – Продолжительность вегетационного периода растений риса при предпосевной обработке семян медью

Несмотря на некоторые смещения календарных сроков наступления фенофаз у риса под воздействием меди, в целом значительных расхождений в продолжительности вегетационного периода между фоновыми и опытными растениями не наблюдалось – не превышали 1-3 дня.

Таким образом, оптимизация питания риса сопровождается изменениями дат наступления фенофаз: вегетативный период развития растений сокращается до 7-8 дней, а генеративный, наоборот, увеличивается до 4 дней. Под воздействием микроэлементов продолжительность периода вегетации риса в целом сокращается на 3-4 дня.

3.3.2 Высота и сухая масса растений

Рост растений риса происходит неравномерно. В начале он медленный, затем – усиливается, достигая наивысшей скорости, после чего снова замедляется.

Рост, так же, как и развитие, контролируется генотипом и регулируется фитогормонами. Помимо влияния фитогормонов, на рост и развитие растения заметное воздействие оказывают факторы среды, особенно свет, тепло и влага. Интенсивность роста теснейшим образом связана с питанием растений [204].

Цинк. Полученные данные показали, что цинковая обработка семян риса перед посевом активизировала рост растений в высоту во все учитываемые фазы вегетации (рисунок 11).

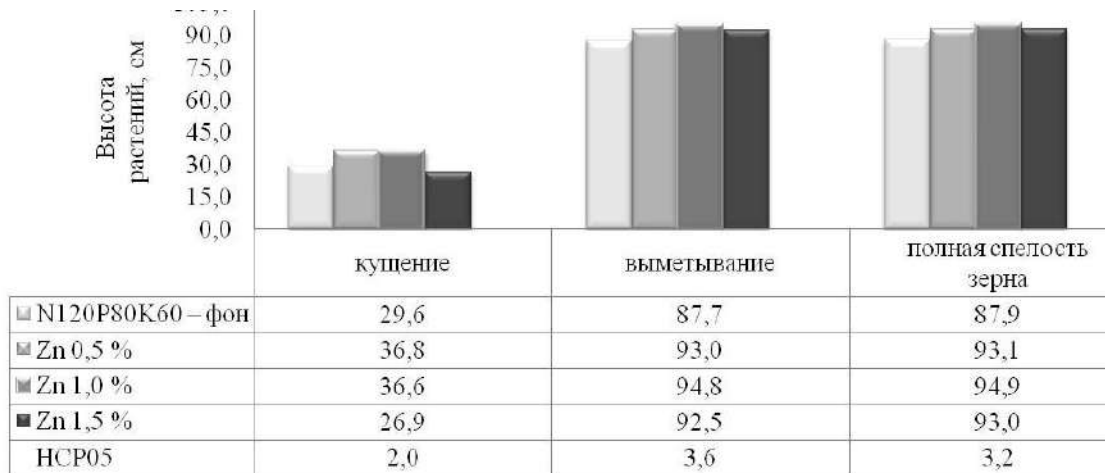


Рисунок 11 – Высота растений риса при предпосевной обработке семян цинком, см

В фазе кущения растения из вариантов с обработкой семян 1,0 % водным раствором цинка по высоте превышали фон на 7,0 см или на 23,6 %, а в фазе выметывания – на 7,1 см или на 8,1 %. По завершению роста стебля высота растений, получивших дополнительно цинк, превосходила фон на 5,1-7,8 см или на 5,8-8,9 %.

Улучшение обеспеченности растений цинком сопровождалось усилением биосинтеза сухого вещества и увеличением их сухой массы, показателя наиболее тесно связанного с продуктивностью (рисунок 12).

Растения, выросшие из семян, обработанных цинком, характеризовались большей сухой массой, чем растения фона: в фазе кущения – на 0,08-0,23 г или на 0,47-0,78 %, выметывание – 0,12-0,25 г или на 3,38-7,04 %, полная спелость зерна – 0,11-0,27 г или на 3,11 %. Больше всего на накопление сухой массы растениями повлияла предпосевная обработка семян 1,0 % раствором цинка. При посеве

такими семенами сухая масса их надземных вегетативных органов возрастала по сравнению с фоном в фазы кущения, выметывания и созревания на 0,14, 0,25 и 7,0 г (12,1, 7,04 и 7,63 %) соответственно.

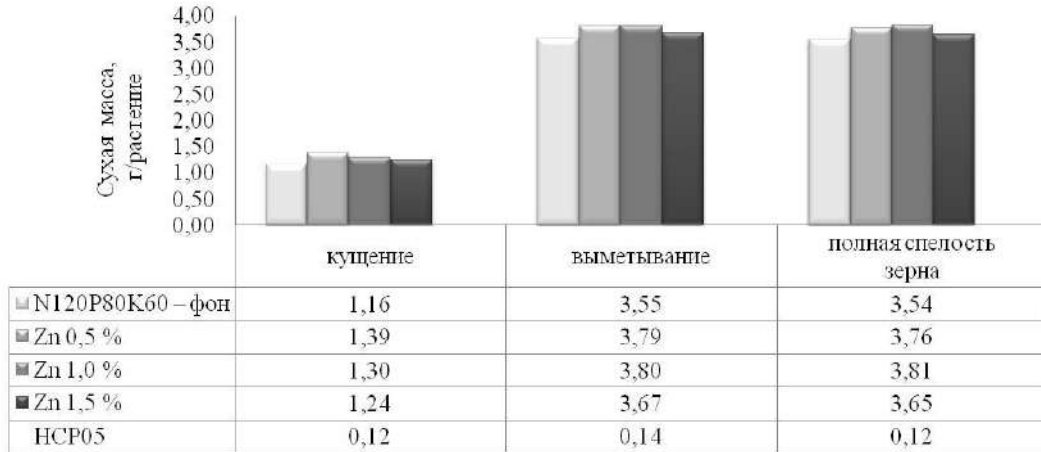


Рисунок 12 – Сухая масса надземных вегетативных органов растений риса при предпосевной обработке семян цинком, г/растение

Важными показателями, характеризующих рост, являются среднесуточное увеличение высоты растений и прирост сухой массы за весь период вегетации (рисунок 13).

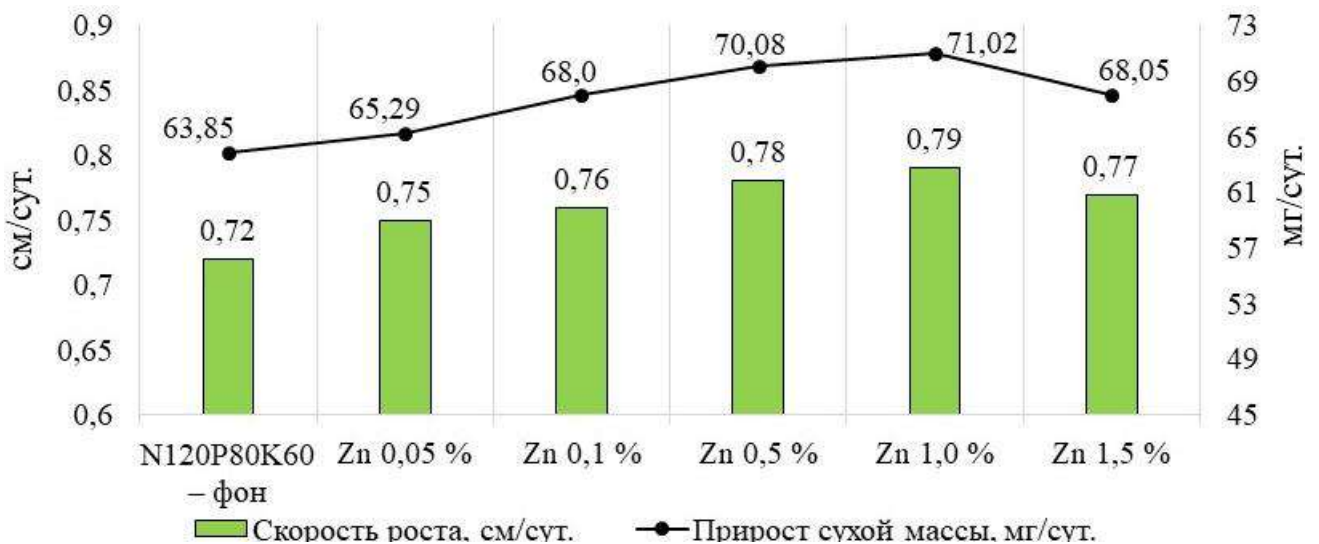


Рисунок 13 – Интенсивность роста растений риса при предпосевной обработке семян цинком

Проведенные расчеты показывают, что при предпосевной обработке семян цинком среднесуточная скорость роста растений риса и среднесуточный прирост сухой массы у опытных растений за вегетационный период возрастали на 4,2-9,7 % и 2,3-11,2 % соответственно. Наибольшие значения этих показателей были у растений, семена которых перед посевом были обработаны 1,0 % водным раствором цинка. При других концентрациях микроэлемента, используемых в опыте, растения медленнее росли и накапливали биомассу.

Таким образом, под влиянием цинка рост и развитие растений более интенсивный: повышается их высота и сухая масса. В фазе кущения наиболее благоприятные условия создаются при обработке семян 0,5 % раствором цинка, а начиная с фазы выметывания – 1,0 %. Высококонцентрированные (1,5 %) растворы микроэлемента ингибируют процессы роста во все фазы вегетации риса.

Медь. Наблюдения за ростом и развитием растений риса выявили определенные различия в зависимости от концентрации водного раствора меди, использованного для предпосевого обогащения семян (рисунок 14).

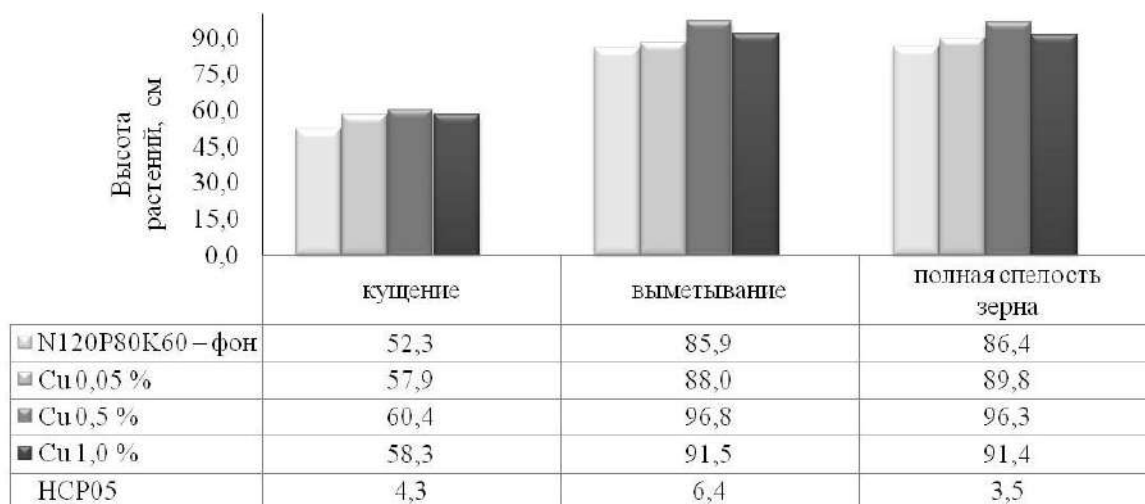


Рисунок 14 – Высота растений риса при предпосевной обработке семян медью, см

Микроэлемент оказывал положительное влияние на ростовые процессы во все фазы вегетации риса. В зависимости от концентрации, использованной для предпосевной обработки семян, высота растений увеличивалась в фазы кущения на 5,6-8,1 см, выметывания – на 2,1-10,9 см, полной спелости зерна – на 3,4-9,9

см. Наибольшей высотой выделялись растения, выращенные из семян, обработанных 0,5 % водным раствором меди. Растения этого варианта даже визуально можно было отличить от растений, произрастающих в поле на фоне.

Предпосевное обогащение семян риса медью также отразилось на динамике накопления сухого вещества растениями (рисунок 15). Так, при обработке семян 0,05 % водным раствором микроэлемента полусухим способом увеличивалась сухая масса растения в фазе кущения на 0,21 г, выметывания – 0,51, полной спелости зерна – 0,45 г. Повышение концентрации раствора меди до 0,5 % еще в большей степени отразилось на накоплении сухого вещества растениями в период вегетации риса. Превышение фона на этом варианте достигали в фазы кущения, выметывания и полной спелости зерна на 0,35, 0,63 и 0,67 г/растение соответственно.

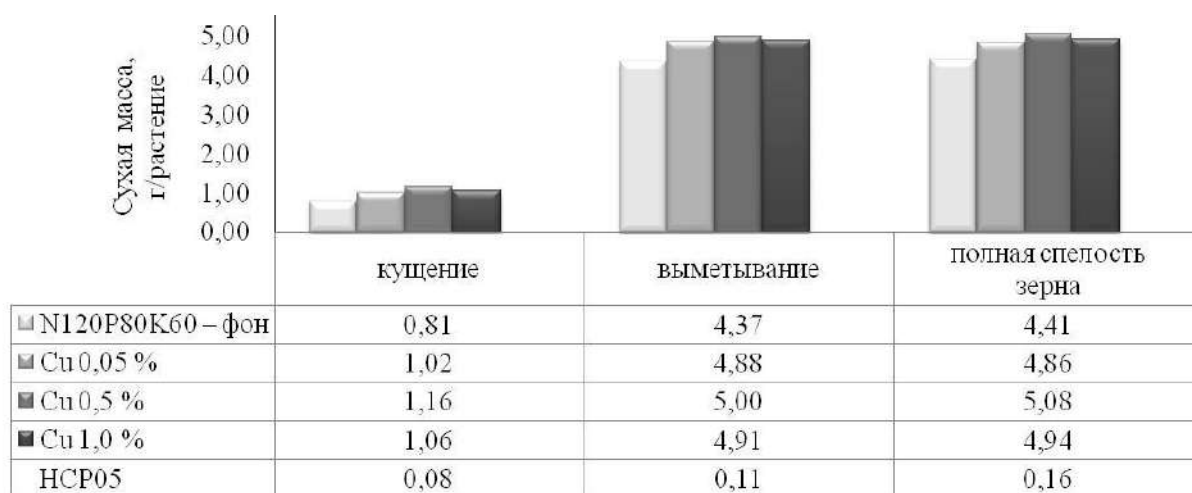


Рисунок 15 – Сухая масса надземных вегетативных органов растений риса при предпосевной обработке семян медью, г/растение

Дальнейшее увеличение концентрации меди в рабочем растворе, используемом для предпосевной обработки посевного материала, оказалось нецелесообразным, так как не сопровождалось дальнейшим приращением массы сухого вещества.

Предпосевная обработка семян риса положительно отразилась на показателе среднесуточного роста растений за весь период вегетации. Скорость роста растений в высоту за вегетационный период риса у опытных растений

превышал фон на 5,4-14,9 %, а прирост сухой массы – на 10,9-17,9 %. Максимальные значения названных показателей были у растений, выращенных из семян, обработанных 0,5 % водным раствором меди. Предпосевная обработка семян более высокими концентрациями микроэлемента не сопровождалось увеличением среднесуточного роста растений (рисунок 16).

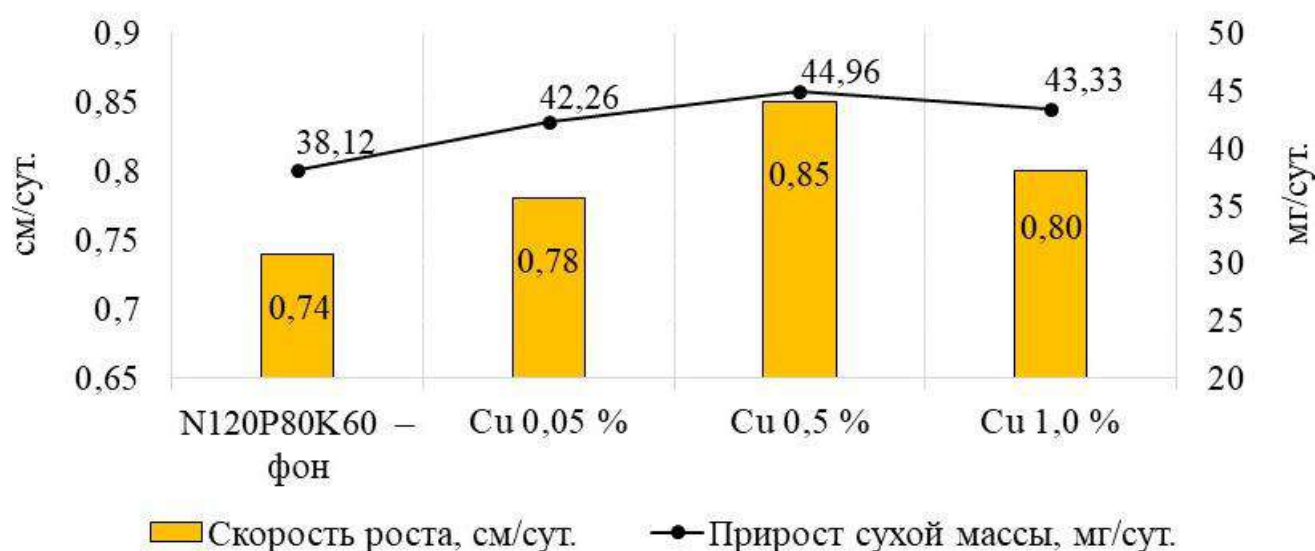


Рисунок 16 – Интенсивность роста растений риса при предпосевной обработке семян медью

Таким образом, оптимизация питания растений медью, позитивно отражается на росте растений в высоту и на массе сухого вещества. Под воздействием микроэлемента возрастает скорость роста растений в высоту и прирост наземной вегетативной сухой массы.

3.4 Фотосинтетическая деятельность растений риса при предпосевной обработке семян микроэлементами

3.4.1 Ассимиляционная поверхность листьев растений

Одним из основных показателей, определяющих эффективность фотосинтетической деятельности растений, является площадь ассимиляционной

поверхности листьев. Для полевых культур, возделываемых для получения семян, оптимальной площадью листьев считается 35-50 тыс. м²/га, или листовой индекс 3,5-5, а зеленой массы и сена – 7.

Динамика площади листьев в агроценозе дает объективное представление о ростовых процессах растений. Ее динамика дает представления о характере роста растений в течение вегетации. Между размером фотосинтетического аппарата и урожаем существует тесная зависимость. Экспериментально показано, что для достижения высокой продуктивности необходимы условия, при которых ассимиляционная поверхность максимально нарастает до определенных размеров и затем сохраняется в течение длительного времени [26, 63, 119, 124, 169, 196].

У растений риса площадь ассимиляционной поверхности листьев максимальна к выметыванию, далее сокращается. Необходимо отметить, что старение и отмирание листьев нижних ярусов начинается уже в фазе кущения растений. Однако до выметывания образование и рост новых листьев идет интенсивнее их отмирания, что обуславливает нарастание ассимиляционной поверхности. После фазы выметывания растений риса образование новых листьев прекращается, и площадь ассимиляционной поверхности быстро сокращается [204].

Цинк. Своего максимального значения площадь листьев достигала в среднем за годы исследований в фазе выметывания растения (рисунок 17), что согласуется с результатами исследований других авторов [64, 204].

При включении цинка в систему удобрения риса увеличивалась площадь листьев одного растения во все учитываемые фазы вегетации. В зависимости от концентрации водного раствора цинка, использованного для предпосевной обработки семян, этот показатель возрастал в фазы кущения, выметывания и созревания на 5,9-14,7; 17,1-33,3 и 3,3-6,4 см² или на 9,1-22,8; 8,9-17,4 и 5,1-9,9 % соответственно. Максимальные значения были на вариантах с предпосевной обработкой семян 1,0 % водным раствором микроэлемента.

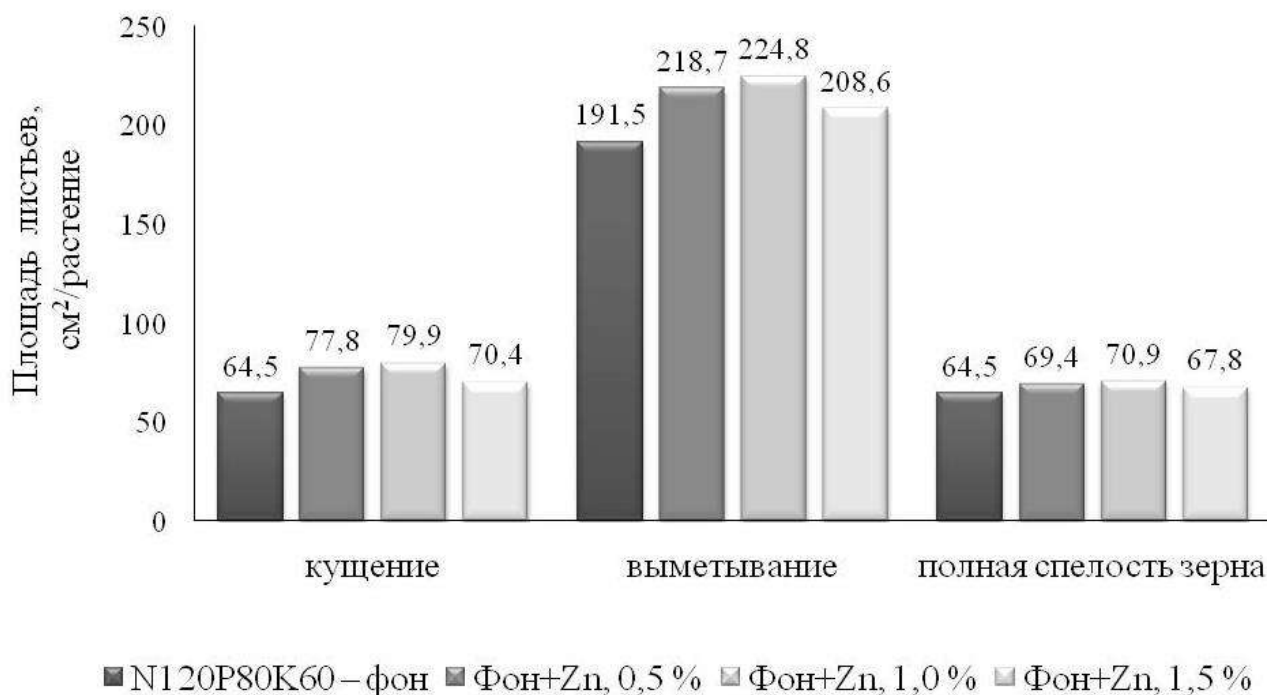


Рисунок 17 – Площадь ассимиляционной поверхности листьев растений при предпосевной обработке семян цинком ($HCP_{05 \text{ кущение}}=3,6 \text{ см}^2/\text{раст.}$; $HCP_{05 \text{ выметывание}}=8,8$; $HCP_{05 \text{ полная спелость зерна}}=2,8 \text{ см}^2/\text{раст.}$)

Таким образом, предпосевное обогащение семян риса цинком способствует ускоренному нарастанию ассимиляционной поверхности растений и продолжительному ее функционированию. В наибольшей степени этому способствует 1,0 % раствор микроэлемента. На протяжении всей вегетации у растений, выросших из таких семян, она была больше, чем на фоне.

Медь. Обогащение семян риса медью способствовало увеличению площади ассимиляционной поверхности листьев в фазы кущения, выметывания и полной спелости зерна на $13,0-21,9 \text{ см}^2$, $47,6-52,1$ и $1,4-3,0 \text{ см}^2$ соответственно (рисунок 18).

Медь оказывала наибольшее влияние на формирование листовой поверхности, нежели на продолжительность их функционирования. Действие этого микроэлемента в значительной степени зависело от концентрации водного раствора, использованного для предпосевной обработки семян.

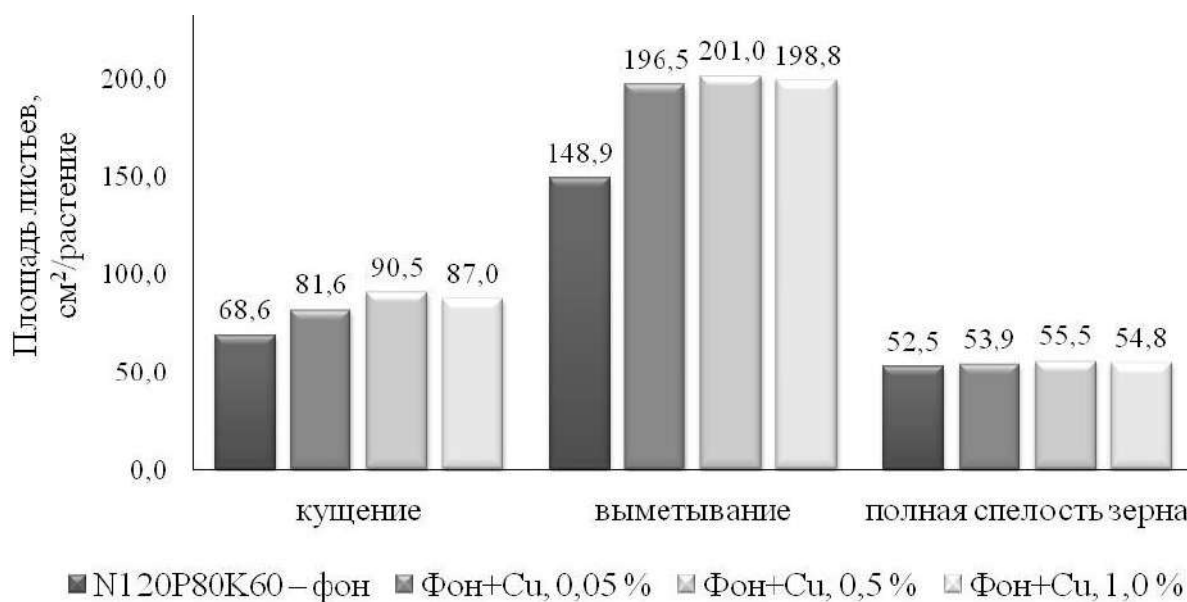


Рисунок 18 – Площадь ассимиляционной поверхности листьев растений риса при предпосевной обработки семян медью ($HCP_{05\text{кущение}}=10,1 \text{ см}^2/\text{раст.}$;
 $HCP_{05\text{выметывание}}=15,0$; $HCP_{05\text{полная спелость зерна}}=3,4 \text{ см}^2/\text{раст.}$)

Наиболее благоприятные условия для формирования ассимиляционного аппарата у растений создавались при концентрации водного раствора меди, равной 0,5 %. На этом варианте площадь ассимиляционной поверхности листьев превышал фон в фазы кушения, выметывания и полной спелости зерна на 31,9, 35,0 и 5,7 % соответственно.

3.4.2 Фотосинтетический потенциал растений

Продуктивность растения определяется не только размером, но и продолжительностью функционирования фотосинтетического аппарата, т. е. ее фотосинтетическим потенциалом (ФП), показателем, характеризующим возможность использования агроценозами солнечной радиации для фотосинтеза в течение вегетации.

По данным А.А. Ничипоровича [119], хорошими считаются посевы, ФП которых составляет не менее 2 млн. м²дн./га в расчете на каждые 100 дней

фактической вегетации. Посев, вегетировавший 80 дней, должен иметь ФП не менее 1,6 млн. м²·дн./га, а вегетировавший 120 дней – 2,5 млн. м²·дн./га. Посевы с ФП 2,2-3 млн. м²·дн./га обычно образуют 12-18 т/га сухой биомассы. Такие посевы оцениваются как хорошие. При ФП 1-1,5 млн. м²·дн./га и накоплении 5-6 т/га сухой биомассы посевы считаются средними, при ФП 0,5-0,7 и продуктивности 2,5-3 т/га сухой биомассы – плохими.

Цинк. Величина фотосинтетического потенциала рисового агроценоза в межфазный период всходы–кущение растений не высокая. В дальнейшем она интенсивно возрастала и уже к фазе созревания повышалась более чем в 10 раз (рисунок 19).

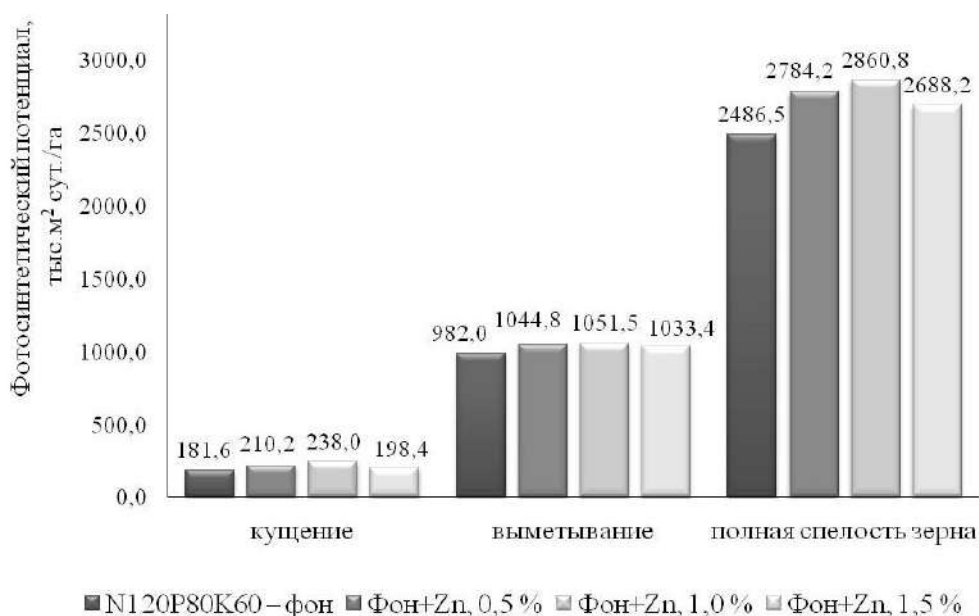


Рисунок 19 – Фотосинтетический потенциал рисового агроценоза при предпосевной обработке семян цинком, тыс. м²·сут./га

Предпосевное обогащение семян риса цинком позитивно повлияло на величину фотосинтетического потенциала рисового агроценоза. Если на фоне этот показатель оценивается как удовлетворительный для накопления сухого вещества, то при посеве обогащенными цинком семенами – как оптимальный. Предпосевное обогащение семян риса цинком способствовало увеличению фотосинтетического потенциала агроценоза в межфазные периоды всходы–кущение, кущение–выметывание и выметывание–полная спелость зерна на 9,2-31,0; 5,2-7,1 и

8,1-15,0 % соответственно. Максимальные значения отмечены при посеве семенами, обработанными перед посевом 1,0 % водным раствором цинка.

После обработки семян риса фотосинтетический потенциал рисового агроценоза увеличивался вследствие активного роста листьев в начале вегетации, увеличения их размера и удлинения жизненного цикла, а также за счет большей густоты стояния растений, обусловленной более высокой полевой всхожестью семян и выживаемостью растений.

Медь. Предпосевная обработка семян риса медью способствовала повышению фотосинтетического потенциала рисового агроценоза в фазы кущения, выметывания и созревания на 7,7-29,5, 20,2-117,6 и 209,7-426,8 тыс. м² сут./га, или на 3,9-15,0, 1,8-10,8 и 8,5-17,2 % соответственно (рисунок 20).

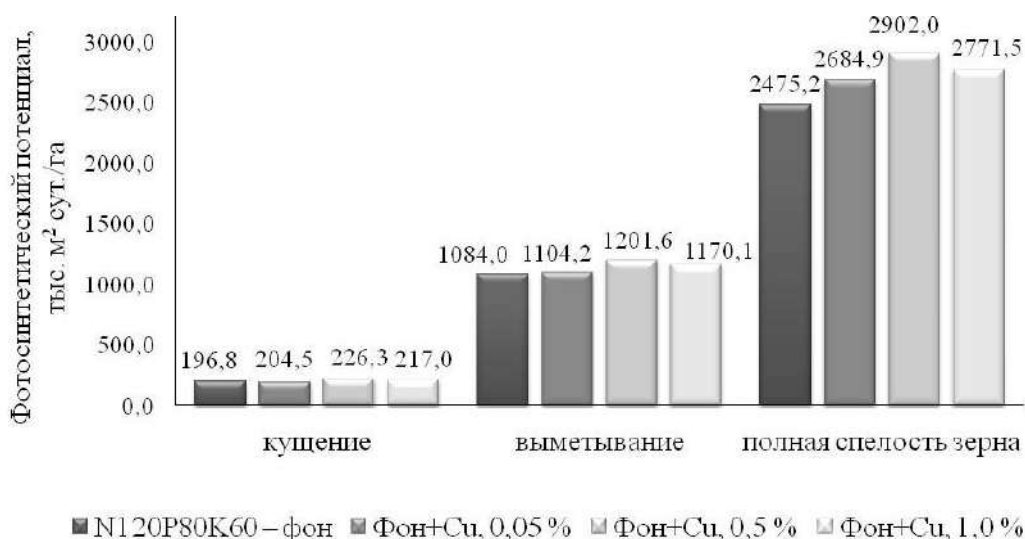


Рисунок 20 – Фотосинтетический потенциал рисового агроценоза при предпосевной обработке семян медью, тыс. м² сут./га

Максимальные значения фотосинтетического потенциала отмечены в варианте, где семена перед посевом обрабатывались 0,5 % водным раствором меди. Нарастание фотосинтетического потенциала рисового агроценоза под воздействием микроэлемента происходило из-за ускоренного нарастания и увеличения размеров и удлинения жизненного цикла активного функционирования листьев, а также повышения густоты стояния растений.

3.4.3 Чистая продуктивность фотосинтеза

Чистая продуктивность фотосинтеза связана с изменением площади листьев и складывающимися погодными условиями, а также агротехникой. Величина ЧПФ в значительной степени подвержена колебаниям по периодам роста растений. В высокопродуктивных посевах чистая продуктивность фотосинтеза достигает 10-15 г/ м²·сут. Средняя ее величина в растительном мире 5-6 г/ м²·сут, а диапазон – от отрицательных до 50 г/м²·сут.

Цинк. Чистая продуктивность фотосинтеза рисового агроценоза при системе удобрения N₁₂₀P₈₀K₆₀ без микроэлемента в фазе кущения составляла 5,1 г/м²·сут., выметывания – 9,5 и созревания зерна – 10,6 г/м²·сут. Начиная от фазы выметывания до полной спелости зерна риса, несмотря на сокращение ассимиляционной поверхности листьев, этот показатель не понижался вследствие высокой синтезирующей активности верхних листьев (рисунок 21).

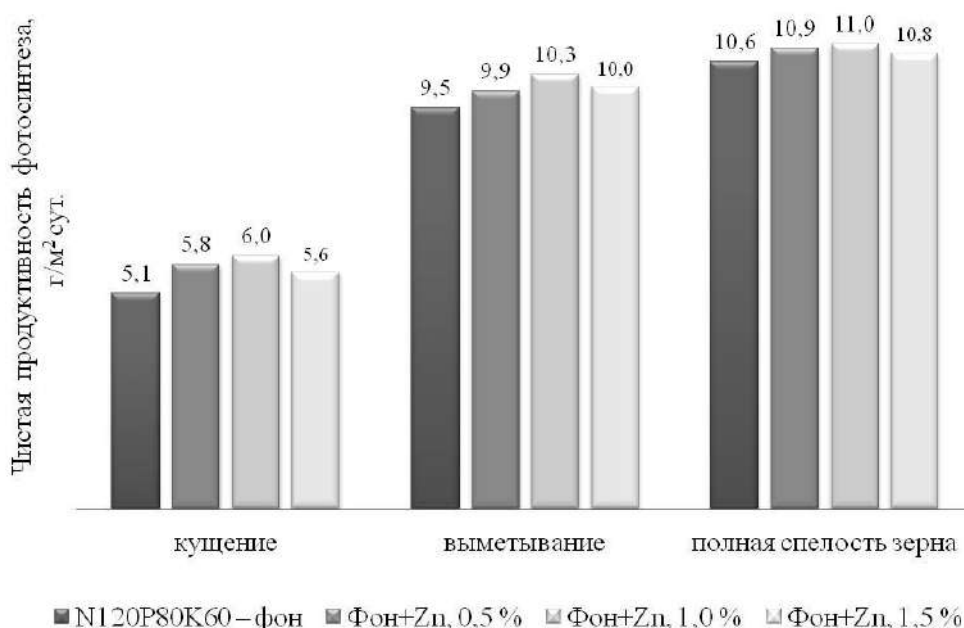


Рисунок 21 – Чистая продуктивность фотосинтеза рисового агроценоза при предпосевной обработке семян цинком, г/м²·сут.

Обработка семян риса цинковым удобрением благоприятно повлияла на чистую продуктивность фотосинтеза рисового агроценоза. В зависимости от

концентрации водного раствора микроэлемента, использованного при осуществлении этого агроприема, ее величина повышалась по сравнению с фоном $N_{120}P_{80}K_{60}$ в фазы кущения, выметывания и созревания соответственно на 0,5-0,9, 0,4-0,8 и 0,2-0,4 $г/м^2 \cdot сут.$ (9,8-17,6, 4,2-8,4 и 1,9-3,8 %).

Таким образом, цинк не только повышает площадь ассимиляционной поверхности листьев и фотосинтетический потенциал рисового агроценоза, но и воздействует на чистую продуктивность фотосинтеза. Мера влияния на показатели фотосинтетической деятельности растений неодинаковая. Чистая продуктивность фотосинтеза довольно устойчивый показатель в сравнении с площадью листьев и фотосинтетическим потенциалом.

Медь. Обогащение семян медью положительно сказалось не только на фотосинтетическую активность хлорофиллов, но и на чистую продуктивность фотосинтеза (рисунок 22).

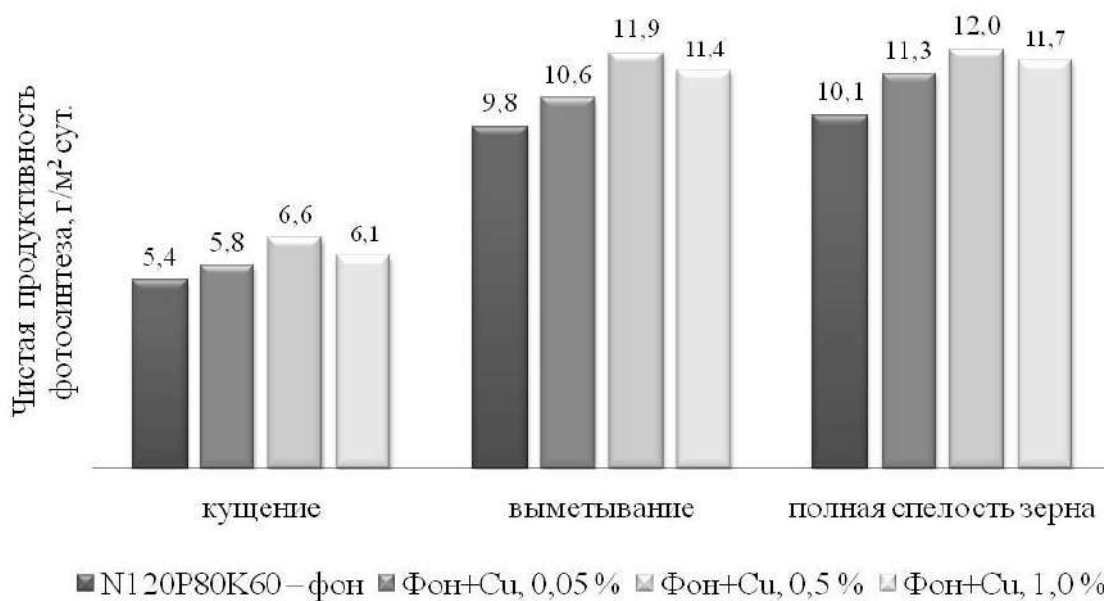


Рисунок 22 – Чистая продуктивность фотосинтеза рисового агроценоза при предпосевной обработке семян медью, $г/м^2 \cdot сут.$

При предпосевной обработке семян риса 0,05 %-ным водным раствором меди полусухим способом (10 л рабочего раствора на 1 т семян) чистая продуктивность фотосинтеза возрастала в фазы кущения растений на 7,4 %, выметывания – на 8,2 и во время созревания зерна на 11,9 %. У растений, выращенных из семян,

обработанных 0,5 %-ным раствором микроэлемента, значения этого показателя в фазы кущения, выметывания и созревания риса превосходили фон еще в большей степени на 22,2 %, 21,4 и 18,8 % соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации меди до 1,0 %, которым обрабатывали семена, оказалось не целесообразным: стимулирующий эффект ослаблялся. На этом варианте превышение фона по фазам вегетации риса составило 13,0, 16,3 и 15,8 % соответственно.

Таким образом, предпосевная обработка семян риса медью способствует повышению чистой продуктивности растений во все учитываемые фазы вегетации – кущение, выметывание и созревание на 7,4-22,2 %, 8,2-21,4 и 11,9-18,8 % соответственно. Наибольшая чистая продуктивность фотосинтеза была у растений, выращенных из семян, обработанных 0,5 %-ным водным раствором микроэлемента.

3.5 Минеральное питание растений риса при предпосевной обработке семян микроэлементами

Минеральное питание – основа роста и развития растений. Элементы минерального питания участвуют в построении биологических молекул, вовлечены в самые разнообразные физиологические и биохимические процессы: построение клеточных и тканевых структур растений, работу ферментов и электронтранспортных цепей, передачу гормональных сигналов и функционирование генетического аппарата. Заторможенный рост, нарушения в формировании вегетативных и генеративных органов, повышенная чувствительность к инфекционным заболеваниям – типичные симптомы, вызываемые недостатком у растений элементов минерального питания. При их остром дефиците отклонения в жизненном цикле растений становятся катастрофическими, приводящими к преждевременной гибели растительного организма. Нарушения в минеральном питании растений вследствие дефицита

элементов или неблагоприятных почвенно-климатических условий – глобальная проблема как по масштабам распространения, так и по влиянию на здоровье человека [28].

С минеральным питанием растений в условиях недостатка или избытка биогенных элементов в почве связано много важных эколого-физиологических проблем. Для сбалансированного питания растений в целях получения максимальных сборов высококачественной сельскохозяйственной продукции особенно важен строго дифференцированный подход к применению удобрений с учетом обеспеченности почв доступными формами элементов и других почвенных и климатических факторов, особенностей питания различных сельскохозяйственных культур. Долевое участие удобрений в формирование урожая зависит от почвенно-климатических условий и составляет: в Нечерноземной зоне 40 %, лесостепной – 30, степной – 20, сухостепной и полупустынной – 10, при орошении – 40 %. Оплата 1 кг д. в. снижается с 5,3 кг зерновых единиц в южно-таежной зоне до 3,9 кг зерновых единиц на неорошаемых землях сухостепной зоны.

Нами проводились исследования по изучению влияния предпосевного обогащения цинком и медью семян риса на потребление, содержание, вынос и коэффициенты использования растениями биогенных элементов из удобрений.

3.5.1 Содержание в растениях микроэлементов, азота, фосфора и калия

Дефицит, оптимум и избыток цинка в растениях риса составляет: в зерне <20, 20-30 и >30 мг/кг; надземных вегетативных органах в фазе кущения <20, 20-30 и >30, выметывания <15, 15-25 и >25, полной спелости зерна <10, 10-25 и >25 мг/кг сухой массы [206].

Максимальное содержание цинка в надземных вегетативных органах риса приходится на фазу кущения растений. Затем оно постепенно снижается. В конце вегетации растений риса цинк аттрагируется из вегетативных органов в репродуктивные. Поглощенный растением цинк распределяется между вегетативными органами и зерном приблизительно поровну, с небольшим преимущественным поступлением в зерно (рисунок 23, приложение 2).

По мере увеличения обеспеченности растений цинком (повышение концентрации рабочего раствора) его содержание в растениях в фазы кущения повышалось на 1,9-3,5 мг/кг сухой массы, или на 9,2-17,0 %, выметывания – 1,8-2,9 мг/кг, или на 11,3-18,2 %, созревания – на 2,1-3,1 мг/кг сухой массы, или на 14,3-21,1 %. В зерне риса – 1,2-1,6 мг/кг сухой массы, или на 6,4-8,6 %.

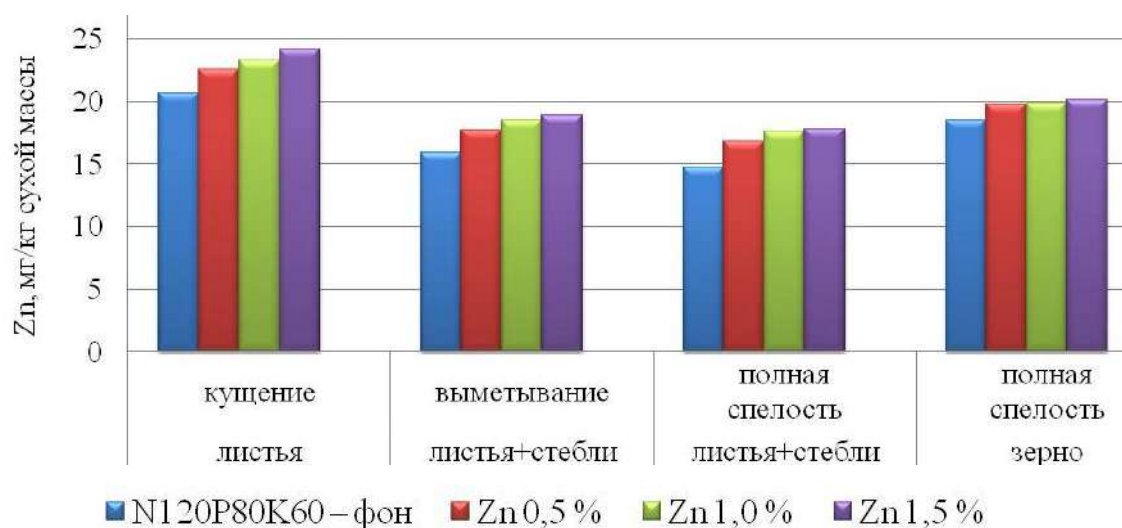


Рисунок 23 – Содержание цинка в растениях риса при предпосевной обработке семян одноименным удобрением, мг/кг сухой массы

В соответствии с градациями обеспеченности растений риса цинком, разработанной А.Х. Шеудженом [202], содержание цинка в зерне и надземных вегетативных органах было оптимальным.

Максимальное содержание меди в растениях приходилось на фазу кущения. Затем ее содержание в вегетативных органах снижалось. В конце вегетации медь аттрагируется из вегетативных органов в репродуктивные, то есть в зерновки риса (рисунок 24, приложение 2).

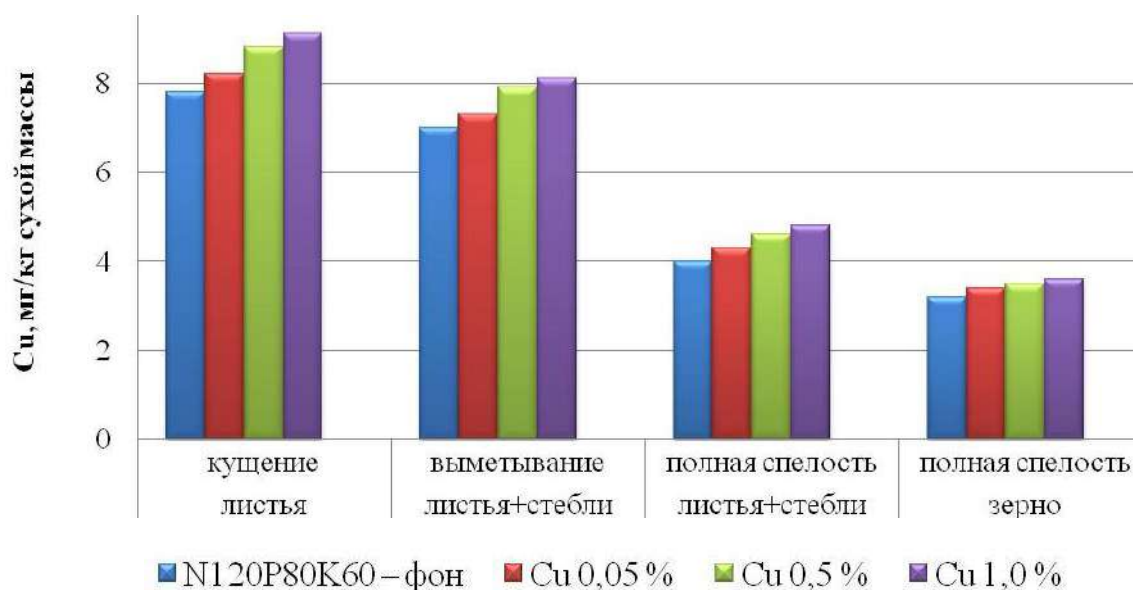


Рисунок 24 – Содержание меди в растениях риса при предпосевной обработке семян одноименным удобрением, мг/кг сухой массы

Обработка семян медным удобрением приводила к увеличению содержания меди в растениях в фазы кущения, выметывания и созревания зерна на 0,4-1,3 мг/кг (5,1-16,7 %); 0,3-1,1 мг/кг (4,3-15,7 %) и 0,3-0,8 мг/кг (7,5-20,0 %) соответственно. В зерне риса отмечено увеличение количества меди на 0,2-0,4 мг/кг (6,2-12,5 %).

В соответствии с градациями обеспеченности растений риса медью по А.Х. Шеуджену [202], содержание микроэлемента в надземных органах и зерне было оптимальным.

Содержание в растениях азота. Дефицит, оптимум и избыток азота в растениях риса составляет: зерне <1,0, 1,0-1,5, >1,5 %, надземных вегетативных органах в фазе кущения <2,5, 2,5-3,5, >3,5 %, выметывания <1,0, 1,0-2,0, >2,0 %, полной спелости зерна <0,5, 0,5-1,0, >1,0 % сухой массы [202, 204].

При внесении азотного удобрения из расчета N_{120} в опыте с предпосевной обработкой семян цинком растения риса не испытывали дефицита этого элемента на протяжении всего вегетационного периода (рисунок 25, приложение 2).

Повышение обеспеченности растений риса цинком стимулирует поглощение азота. Так, в фазе кущения у опытных растений его было больше на 0,04-0,15 % по сравнению с фоном, выметывания – 0,11-0,16, полной спелости – в зерне на 0,03-

0,08 %, а листостебельной массе – на 0,03-0,05 % меньше. Такая тенденция проявлялась во все годы исследований. Это обусловлено тем, что растения, выросшие из обогащенных цинком семян, лучше развивались и активнее использовали азот почвы и удобрений.

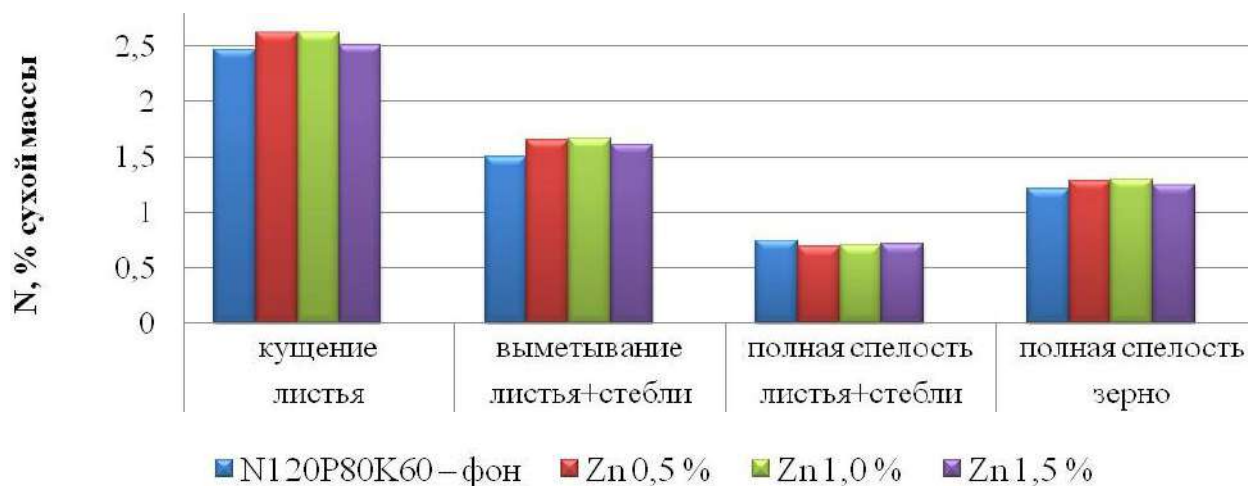


Рисунок 25 – Содержание азота в растениях риса при предпосевной обработке семян цинковым удобрением, мг/кг сухой массы

В наибольшей степени азот накапливался в растениях, из обработанных семян 1,0 % водным раствором цинка. Его содержание в вегетативных органах растений было больше в фазы кущения и выметывания на 0,15 и 0,16 % сухой массы соответственно, чем в варианте с фоновым внесением минеральных удобрений. При этой концентрации микроэлемента аттракция азота из вегетативной части в зерновку риса проходила более активно. В результате этого его содержание в листостебельной массе было на 0,04 % меньше, а в зерне, наоборот, на 0,08 % больше, чем в условиях фона.

В опыте с предпосевной обработкой семян медью содержание азота в растениях фонового варианта в период вегетации риса изменялось в листостебельной массе от 0,61 до 2,72 %, корнях от 0,72 до 1,60 % сухой массы. В зерне риса содержалось 1,21 % (рисунок 26, приложение 2).

Содержание азота в корнях и надземных вегетативных органах растений, выросших из обогащенных медью семян, превышало фон в фазу кущения на 0,05-

0,09 % и 0,06-0,23%, выметывания – на 0,08-0,12 % и 0,08-0,13 %, полной спелости зерна – на 0,05-0,08 % и 0,01-0,03 % сухой массы соответственно.

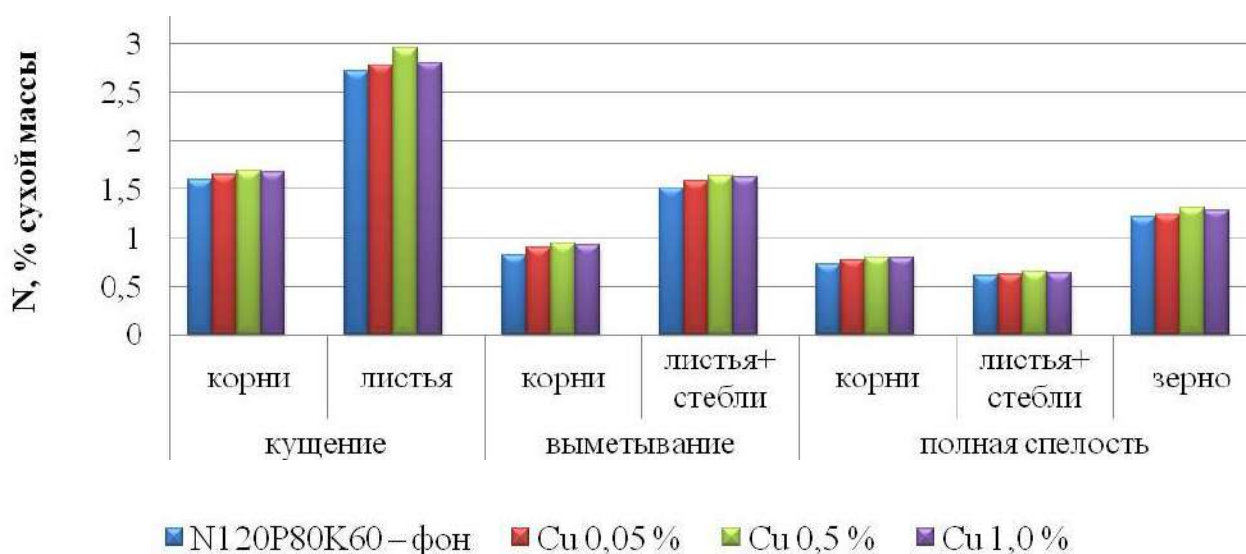


Рисунок 26 – Содержание азота в растениях риса при предпосевной обработке семян медным удобрением, % сухой массы

Оптимизация питания риса медью положительно влияло и на содержание азота в зерне, которое было выше, чем у растений фонового варианта на 0,02-0,10 %. Наибольшее его количество, как в вегетативных органах, так и в зерне отмечено у растений, произрастающих из семян, обогащенных 0,5 % водным раствором меди. При уменьшении или увеличении концентрации микроэлемента в рабочем растворе, которым обрабатывались семена риса, эффективность данного агроприема снижалась.

Содержание в растениях фосфора. Дефицит, оптимум и избыток фосфора в растениях риса составляет: зерне <0,50, 0,50-0,75, >0,75 %, надземных вегетативных органах в фазе кущения <0,60, 0,60-0,75, >0,75 %, выметывания <0,45, 0,45-0,70, >0,70 %, полной спелости зерна <0,20, 0,20-0,25, >0,25 % сухой массы [202, 204].

В опыте с предпосевной обработкой семян цинком наибольшее содержание фосфора в растениях риса характерно для вегетативного периода развития, а к генеративному – оно значительно уменьшается. Так, если в фазе кущения в растениях фонового варианта его содержалось 0,61 % сухой массы, то в

выметывание и созревания соответственно уменьшилось на 0,04 и 0,39 %. Резкое уменьшение содержания фосфора в надземных вегетативных органах растений риса в фазе созревания объясняется его аттракцией в зерновки. Содержание фосфора в зерне превосходило таковое в листостебельной массе в 2,86 раз (рисунок 27, приложение 2).

Цинк при обработке семян оказывал антагонистическое воздействие на поглощение растениями фосфора. Его содержание в вегетативной массе растений уменьшалось. Чем выше концентрация микроэлемента для обработки семян, тем чаще наблюдался ингибирующий эффект в отношении фосфора. В то же время прослеживалось положительное влияние цинка на перемещение фосфора из вегетативных органов в генеративные – зерновки. В зерне риса фосфора содержалось на 0,01-0,06 % сухой массы больше, чем на фоне.

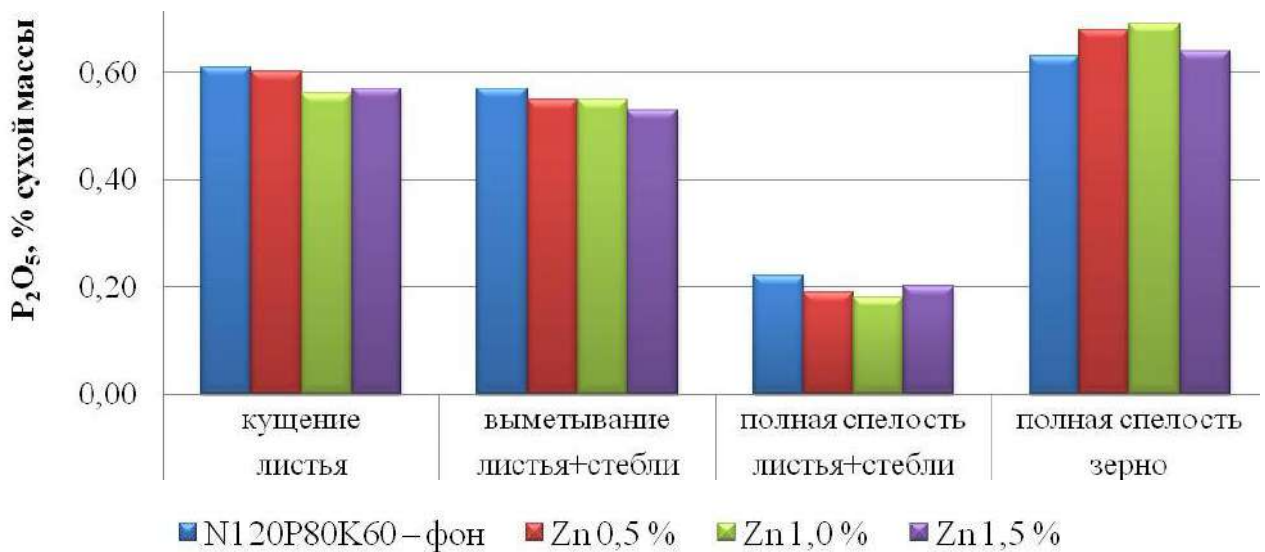


Рисунок 27 – Содержание фосфора в растениях риса при предпосевной обработке семян цинковым удобрением, % сухой массы

Это предположение подтверждается большим количеством фосфора в зерне из вариантов с посевом обогащенными семенами. Одной из возможных причин подавления поглощения фосфора растениями под воздействием цинка может быть подавление активности дефосфорирующих ферментов – АТФ-азы и кислой β -глицерофосфатазы.

В опыте с предпосевной обработкой семян медью отмечено, что в зерне риса фосфора в пересчете на P_2O_5 содержалось 0,64 %. В сухой надземной массе содержание P_2O_5 в период вегетации изменялось в пределах 0,20-0,73 %, корнях – 0,50-0,66 %, максимум приходился на фазу кущения растений, минимум – на полную спелость зерна (рисунок 28, приложение 2).

Предпосевное обогащение семян медью способствовало увеличению содержания фосфора в корнях и надземных вегетативных органах растений в фазы кущения, выметывания и полной спелости зерна риса на 0,02-0,06 и 0,04-0,06 %; 0,05-0,08 и 0,05-0,09 %; 0,05-0,07 и 0,01-0,03 % сухой массы соответственно. Под воздействием меди содержание фосфора в зерне риса возросло на 0,04-0,08 %.

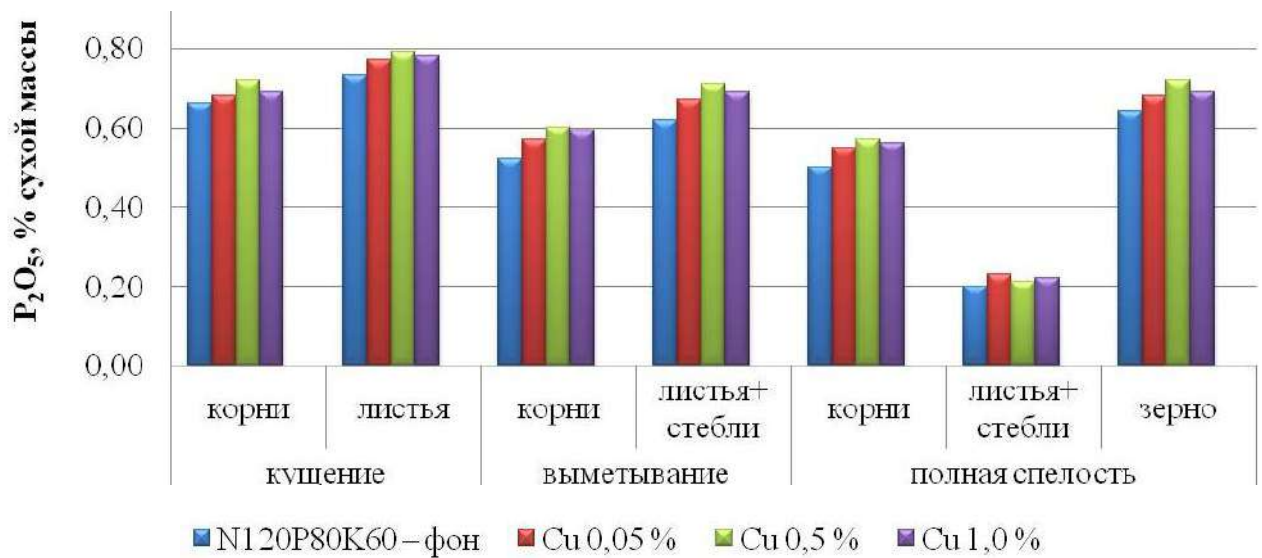


Рисунок 28 – Содержание фосфора в растениях риса при предпосевной обработке семян медным удобрением, % сухой массы

Содержание в растениях калия. Дефицит, оптимум и избыток калия в растениях риса составляет: зерне <0,30, 0,30-0,40, >0,40 %, надземных вегетативных органах в фазе кущения <2,0, 2,0-3,5, >3,5 %, выметывания <1,5, 1,5-3,0, >3,0 %, полной спелости зерна <1,0, 1,0-2,5 >2,5 % сухой массы [202, 204].

В опыте с предпосевной обработкой семян цинком и медью максимальное содержание калия в растениях риса было в фазе кущения, затем оно неуклонно

снижалось до завершения вегетации. Растения из всех вариантов, включая фон, обеспечены калием в достаточном количестве, что подтверждается оптимальным его содержанием на протяжении всей вегетации (рисунок 29, приложение 2).

Предпосевная обработка семян риса цинком стимулировала поглощение калия растениями во все фазы вегетации. Наблюдения за динамикой содержания калия в надземных вегетативных органах растений показали, что оно было больше, чем на фоне в фазе кущения на 0,06-0,08 %, выметывания – 0,09, полной спелости зерна – 0,05-0,08 % сухой массы. В то же время различия в содержании калия в зерне между фоновым и опытными вариантами были весьма незначительными – превышение составило всего лишь 0,02 % не зависимо от концентрации водного раствора цинка, использованного для предпосевной обработки семян риса.

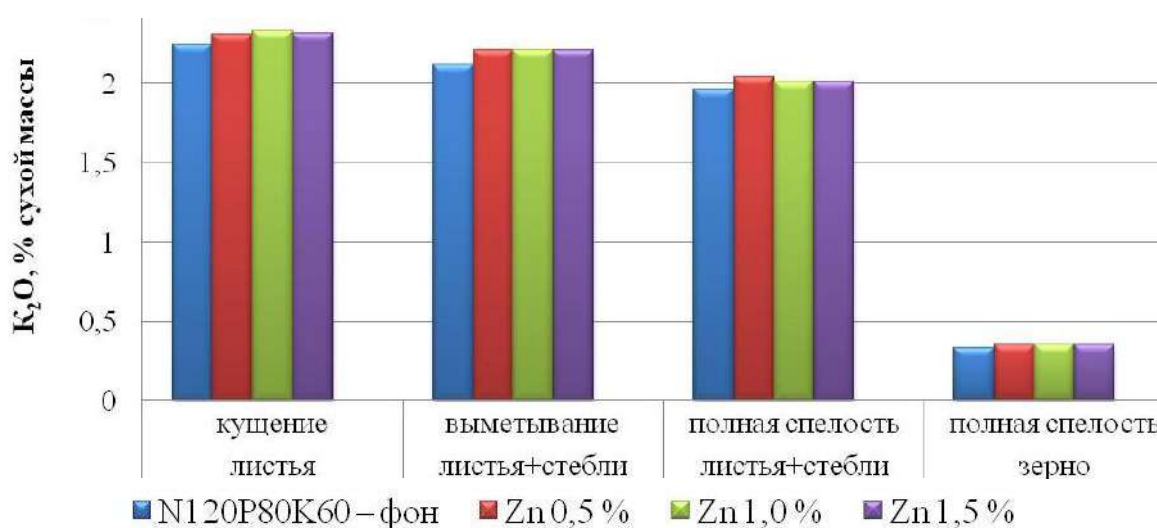


Рисунок 29 – Содержание калия в растениях риса при предпосевной обработке семян цинковым удобрением, % сухой массы

В опыте с предпосевной обработкой семян медью, динамика содержания калия в надземных вегетативных органах растений риса по сравнению с азотом, фосфора и медью, не подвержена сильным колебаниям, которая находилась в диапазоне 2,10-2,53 % сухой массы; в корнях она была более высокой – 0,51-1,38 % сухой массы. В зерне риса калия содержалось 0,32 % (рисунок 30, приложение 2).

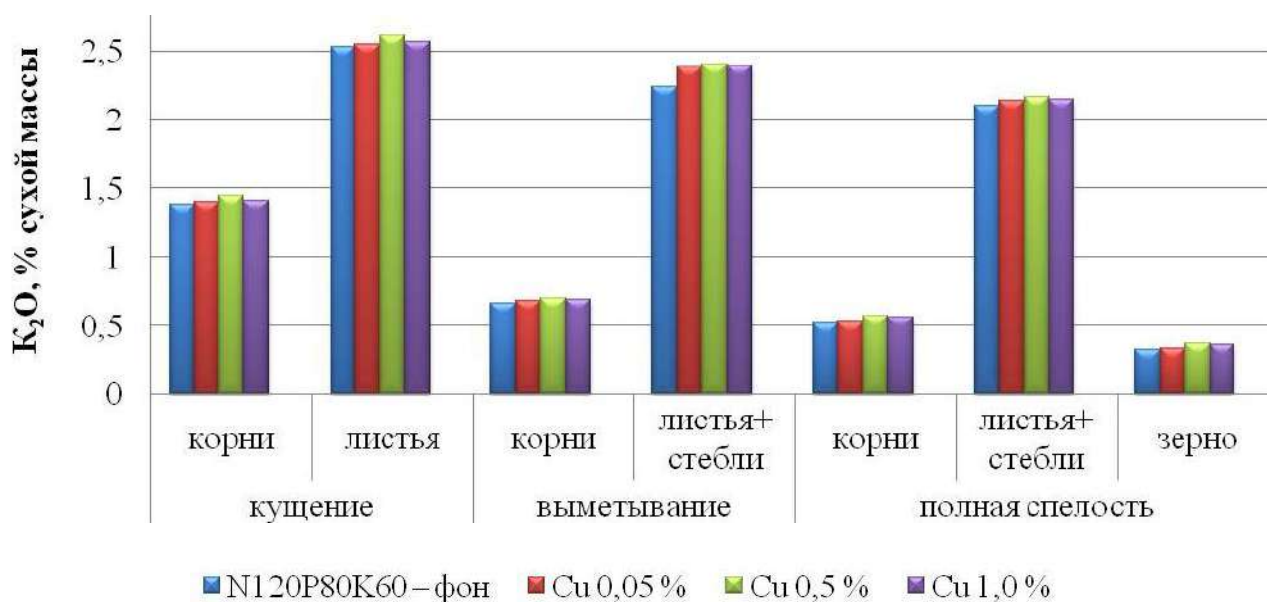


Рисунок 30 – Содержание калия в растениях риса при предпосевной обработке семян медным удобрением, % сухой массы

В зависимости от концентрации меди в рабочем растворе содержание калия в фазах кущения, выметывания и созревания зерна повышалось в корнях на 0,02-0,06 %, 0,02-0,04 и 0,01-0,06 % сухой массы, а в вегетативной массе растений риса на 0,02-0,08 %, 0,14-0,16 и 0,04-0,06 % соответственно. В зерне риса его содержание в результате обработки семян повысилось на 0,01-0,05 %. Самые высокие показатели по содержанию калия в растениях риса зафиксированы при обработке семян перед посевом 0,5 % водным раствором меди полусухим способом.

3.5.2 Потребление биогенных элементов растениями

Для элементного статуса растений, т.е. количественной характеристики состояния минерального питания растений наряду с определением относительного содержания элементов питания, рассчитывают и абсолютное их потребление по фазам вегетации или за весь вегетационный период. Данный

показатель является более информативным. Он выражается в миллиграммах на одно растение.

Потребность растений в элементах питания обуславливается их природой и наследственностью. Сам процесс потребления зависит от интенсивности нарастания биомассы отдельных органов и изменения их минерального состава с возрастом растения [77].

Основоположник отечественной агрохимической научной школы Д.Н. Прянишников [143], подчеркивая наличие специфики в питании каждого растения, писал: «Растения не воспринимают находящихся в окружающем растворе веществ пассивно, вместе с транспирационным током воды. Достаточно убедительным доказательством этого факта является то обстоятельство, что состав зольных веществ растений не отвечает составу раствора, окружающего корни. Растение воспринимает минеральные вещества в ином соотношении. Мало того, разные растения при выращивании на одинаковом растворе или на одной и той же почве обнаруживают разный состав золы, хотя и подверженный некоторым колебаниям, но для каждого типа растения сохраняющий известные типичные черты... Большой заслугой нашей русской, советской агрохимии является выдвижение на первый план в изучении питания растений тесной взаимной связи между условиями питания и обменом веществ у растений. Это направление, оказавшееся чрезвычайно плодотворным, позволило по-новому подойти к сравнительному изучению питания различных культурных растений, отличающихся своими физиологическими особенностями, характером обмена веществ и отношением к условиям питания. В последнее время это направление исследований, в основном обязанное советской агрохимии, получило большое значение при изучении удобрений как средства не только повышения величины урожая, но и изменения его химического состава, улучшения качества урожая».

О тесной зависимости между урожаем и количеством использованных растением элементов питания совершенно определенно высказывался академик В.Р. Вильямс [42]: «Раз зольная пища растений составляет безусловно

необходимый элемент органического вещества, то очевидно, что для создания определенного его количества требуется строго соответствующее количество зольной пищи растений». В свете этих высказываний представляет определенный интерес изучение потребности растений в элементах питания при разной величине урожая. На это указывал также основоположник учения о рациональном питании растений К.А. Тимирязев [174а]. В своей лекции «Физиология растений как основа рационального земледелия», прочитанной 15 марта 1897 г., он поставил вопрос: «Но что же нужно для обеспечения урожая?» и сам на него ответил: «Прежде всего, конечно, знакомство с потребностями растения и умение их удовлетворить». Потребность растений должна всегда пониматься широко, включая все факторы роста, однако в данном случае нас в первую очередь, интересует потребность растений в минеральном питании. Кроме установления общей потребности растений в минеральных элементах для построения урожая определенного размера, т. е. так называемого «биологического выноса», надо учитывать и характер ее изменения во время роста [67].

Цинк. Потребление цинка растениями риса возрастает в процессе их роста и развития. За вегетативный период развития, т. е. от всходов до выметывания в надземных вегетативных органах растений из фонового варианта цинка накапливалось 42,7 % от общего количества этого элемента, поглощаемого за весь период вегетации риса. На генеративный период развития, т. е. на межфазный период выметывание–полная спелость зерна приходится 57,3 % цинка, усвоенного растениями из почвы и внесенных удобрений (таблица 13).

Предпосевная обработка семян цинком способствовала росту потребления растениями этого элемента в межфазные периоды всходы–кущение, кущение–выметывание и выметывание–полная спелость зерна соответственно на 0,003-0,008, 0,011-0,014 и 0,008-0,026 мг. Наибольшее потребление цинка рисом во все фазы вегетации наблюдалось у опытных растений, выросших из семян, обработанных 1,0 % водным раствором микроэлемента.

Таблица 13 – Динамика потребления цинка растениями риса при предпосевной обработке семян одноименным удобрением, мг/растение

Вариант	Фаза вегетации			
	кущение	выметывание	полная спелость	
			листья + стебли	зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	0,024	0,056	0,052	0,079
Фон +Zn, 0,5 %	0,032	0,067	0,063	0,090
Фон +Zn, 1,0%	0,030	0,070	0,067	0,090
Фон +Zn, 1,5 %	0,027	0,069	0,065	0,088

Растения риса потребляют азот, фосфор и калий на протяжении всей вегетации. К фазе кущения они усваивают 36-45 % азота, 19-25 % фосфора и 30-38 % калия от общего их количества поглощенного за весь период вегетации, к фазе выметывания – 69-75, 41-61 и 90-92 и в период формирования и налива зерна – оставшиеся 25-31, 40-59 и 8–10 % соответственно (таблица 14).

Предпосевное обогащение семян цинком позитивно сказывается на динамике потребления азота растениями во все фазы вегетации. Так, обработка семян 1,0 % раствором микроэлемента увеличивала его потребление в межфазный период всходы–кущение на 5,41 мг/растение или на 18,9 %, кущение–выметывание – на 9,83 мг/растение или 18,5 %, выметывание–полная спелость – на 8,0 мг/растение или 10,3 %.

Степень влияния цинка на потребление растениями фосфора зависит от концентрации водного раствора микроэлемента, которым обрабатывали семена перед посевом, и фазы вегетации риса. Наибольшее количество фосфора – на 11,1 % или 3,82 мг/раст. потребляли растения из семян, обработанных перед посевом 1,0 % раствором цинка.

Таблица 14 – Динамика потребления азота, фосфора и калия растениями риса при предпосевной обработке семян цинковым удобрением, мг/растение

Вариант	Фаза вегетации			
	кущение	выметывание	полная спелость	
			листья+ стебли	зерно
Азот (N)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	28,65	53,25	26,20	51,42
Фон +Zn, 0,5 %	36,42	62,54	25,94	57,73
Фон +Zn, 1,0%	34,06	63,08	26,67	58,95
Фон +Zn, 1,5 %	28,61	59,09	25,92	54,31
Фосфор (P ₂ O ₅)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	7,08	20,24	7,79	26,78
Фон +Zn, 0,5 %	8,34	20,84	7,14	30,67
Фон +Zn, 1,0%	7,28	20,90	6,86	31,53
Фон +Zn, 1,5 %	6,50	14,45	7,30	28,03
Калий (K ₂ O)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	26,10	75,26	69,38	14,02
Фон +Zn, 0,5 %	32,11	83,76	76,70	15,78
Фон +Zn, 1,0%	30,29	83,98	76,58	16,00
Фон +Zn, 1,5 %	26,45	81,11	73,36	15,33

Предпосевная обработка семян риса цинком способствовала увеличению потребления растениями калия в течение всего вегетационного периода. Под ее воздействием оно возросло в межфазные периоды всходы–кущение, кущение–выметывание и выметывание–полная спелость на 0,35-6,65, 2,78-8,72 и 2,76-9,18 мг или на 1,3-25,5, 2,5-10,6 и 7,6-12,6 % соответственно. Общее потребление калия растением увеличилось на 3,3-11,0 %. Наибольшее потребление калия отмечено у растений из семян, обработанных перед посевом 1,0 % водным раствором цинка.

Имеются различия и в интенсивности потребления биогенных элементов растениями риса. Она была наиболее высокой для калия, за ней в убывающем порядке следовали азот, фосфор и цинк (таблица 15).

Таблица 15 – Интенсивность потребления биогенных элементов растениями риса при предпосевной обработке семян цинковым удобрением, мг/сут.

Вариант	Цинк (Zn)	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	0,00109	0,636	0,283	0,648
Фон +Zn, 0,5 %	0,00130	0,709	0,320	0,784
Фон +Zn, 1,0%	0,00133	0,726	0,325	0,785
Фон +Zn, 1,5 %	0,00130	0,680	0,299	0,752

Предпосевная обработка семян риса цинком стимулировала интенсивность потребления биогенных элементов растениями риса. В зависимости от концентрации цинка в рабочем растворе, использованном для предпосевной обработки семян, скорость поглощения одноименного элемента возрастала на 5,5-22,0 %, азота – 1,6-14,2 %, фосфора – 1,4-14,8 %, калия – на 9,9-21,1 %. С наибольшей скоростью биогенные элементы потреблялись растениями при посеве семенами, обработанными перед посевом 1,0 % раствором цинка.

Таким образом, предпосевная обработка семян риса цинком сопровождается ростом потребления одноименного элемента на 19,8 %, азота – 10,3, фосфора – 11,1 %, калия – 11,0 %. Под воздействием данного агроприема за вегетационный период риса среднесуточная интенсивность потребления азота растениями возрастала на 14,2 %, фосфора – 14,8, калия – 21,1 и цинка – 22,0 %.

Медь. Поглощение рисом меди идет до окончания онтогенеза. Причем наибольшая интенсивность этого процесса приходится на вегетативный период развития растений. В вегетативных надземных органах растений, выращенных на фоне, к фазе выметывания меди накапливалось 86,1 % от общего количества микроэлемента потребленного за весь период вегетации риса (таблица 16).

Таблица 16 – Динамика потребления меди растениями риса при предпосевной обработке семян одноименным удобрением, мг/растение

Вариант	Фазы вегетации			
	кущение	выметывания	полная спелость	
			листья + стебли	зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	0,006	0,031	0,018	0,018
Фон + Cu, 0,05 %	0,008	0,036	0,021	0,021
Фон + Cu, 0,5 %	0,010	0,040	0,023	0,022
Фон + Cu, 1,0 %	0,010	0,040	0,024	0,022

На генеративный период развития риса, который начинается с фазы выметывания и заканчивается созреванием зерна, приходилось всего лишь 13,9 % поглощаемой меди растениями из почвы. Обработка семян медью приводила большему усвоению растениями этого элемента в период вегетации риса. В фазы кущения, выметывания и полной спелости опытные растения по потреблению меди превосходили фон на 0,002-0,004; 0,005-0,009 и 0,006-0,009 мг/растение соответственно. Наибольшее потребление микроэлемента рисом наблюдалось у растений, выросших из семян, обработанных 0,5 % водным раствором меди. Более высокие концентрации микроэлемента не приводили дальнейшему повышению количества усвояемой меди растениями риса.

Потребление азота, фосфора и калия растениями риса зависело от фазы их развития и концентрации водного раствора меди, которым обрабатывали семена перед посевом (таблица 17). Растения контрольного варианта к фазе кущения азота усваивали 23,54 %, а к выметыванию 70,52 % от общего его потребления за весь период вегетации. Опытные растения, т.е. выросшие из обработанных медью семян в зависимости от концентрации водного раствора, азота в эти фазы вегетации усваивали значительно больше – 27,58-29,58 и 70,88-73,96 % от общего его потребления за вегетационный период.

Таблица 17 – Динамика потребления азота, фосфора и калия растениями риса при предпосевной обработке семян медным удобрением, мг/растение

Вариант	Фазы вегетации			
	кущение	выметывания	полная зпелость	
			листья + стебли	зерно
Азот (N)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	22,03	65,99	26,90	66,67
Фон + Cu, 0,05 %	28,36	77,59	30,13	74,78
Фон + Cu, 0,5 %	34,22	82,00	32,51	83,18
Фон + Cu, 1,0 %	29,79	79,54	31,12	79,10
Фосфор (P ₂ O ₅)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	5,91	27,09	8,82	35,26
Фон + Cu, 0,05 %	7,85	32,70	11,18	41,34
Фон + Cu, 0,5 %	9,16	35,50	10,67	45,72
Фон + Cu, 1,0 %	8,27	33,88	10,87	42,64
Калий (K ₂ O)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	20,49	97,89	92,61	17,63
Фон + Cu, 0,05 %	26,01	116,14	104,00	20,06
Фон + Cu, 0,5 %	30,28	120,00	109,73	23,50
Фон + Cu, 1,0 %	27,24	117,35	106,21	22,25

Потребление фосфора растениями риса за весь период их развития в 2 раза меньше по сравнению с усвоением азота. Причем и меньшими темпами шло его потребление растениями в начальные фазы вегетации. Так, в фазы кущения и выметывания растения, выращенные на фоне, азота усваивали 12,55 и 57,54 % от общего его потребления за весь период вегетации. Отставания усвоения фосфора от азота составили 10,99 и 12,98 % соответственно.

Предпосевная обработка семян риса медью позитивно сказалась на динамике потребления фосфора растениями. В фазы кущения, выметывания и

полной спелости зерна опытные растения потребляли этого элемента больше, чем в условиях минерального фона на 1,94-3,25 мг, 5,61-8,41 и 8,44-12,31 мг соответственно. Больше всего фосфора поглощали растения, выросшие из семян, обработанных 0,5 %-ным водным раствором меди.

В фазе кущения риса растения потребляли калия примерно столько же, что и азота. В последующие фазы вегетации потребление калия существенно нарастало и было больше азота, не говоря уже о фосфоре. Растения контрольного варианта в фазах кущения и выметывания накапливали калия 18,59 и 88,80 % от общего его потребления за весь период вегетации риса. Оптимизация питания растений медью положительно сказалось на динамике потребления калия рисом. Растения, выросшие из обработанных семян 0,5 %-ным водным раствором микроэлемента, в фазах кущения, выметывания и полной спелости зерна потребляли на 9,79, 22,11 и 22,99 мг соответственно больше, чем на фоне.

Предпосевная обработка семян риса медью положительно отразилось и на интенсивность потребления растениями биогенных элементов (таблица 18).

Таблица 18 – Интенсивность потребления биогенных элементов растениями риса при предпосевной обработке семян медным удобрением, мг/сут.

Вариант	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)	Медь (Cu)
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	0,807	0,380	0,950	0,00062
Фон + Cu, 0,05 %	0,912	0,457	1,079	0,00067
Фон + Cu, 0,5 %	1,024	0,499	1,179	0,00072
Фон + Cu, 1,0 %	0,967	0,469	1,127	0,00074

Средняя за вегетационный период риса интенсивность потребления растениями меди возрастала на 8,06-16,13 %, азота – 13,01-26,89, фосфора – 20,26-31,32 и калия – 13,58-24,10 %. С наибольшей скоростью биогенные элементы потребляли растения, полученные из обработанных семян 0,5 %-ным водным раствором меди.

Таким образом, предпосевная обработка семян риса медью сопровождается ростом потребления азота на 23,6 %, фосфора – 27,9, калия – 22,9 и одноименного элемента – 25,0 %. Под воздействием данного агроприема за вегетационный период риса среднесуточная интенсивность потребления растениями азота, фосфора, калия и меди возрастает на 26,89, 31,32, 24,10 и 16,13 % соответственно.

3.5.3 Вынос элементов питания урожаем риса и коэффициенты их использования растениями из удобрений

Вынос биогенных элементов с урожаем определяется с одной стороны обеспеченностью ими посевов, а с другой – ростом и развитием растений. Ранее были приведены и проанализированы экспериментальные данные, показывающие лучшее развитие растений в вариантах с посевом обогащенными цинком семенами. Они были выше контрольных растений, имели большую массу и формировали большую ассимиляционную поверхность. Лучшее развитие позволило им извлекать из почвы и удобрений большее количество цинка, азота, фосфора и калия. Это, безусловно, должно отразиться на выносе элементов питания и их затратах на формирование урожая.

Цинк. При посеве обогащенными цинком семенами увеличивался вынос одноименного элемента зерном и соломой соответственно на 18,32-21,41 и 18,91-25,24 г/га. При этом в зависимости от величины урожая и содержания цинка в растениях его хозяйственный вынос увеличился на 37,23-46,65 г/га или на 17,14-21,5 %. Незначительно, на 2,83-4,08 г или на 9,4-13,5 %, но все же возросли и затраты цинка на формирование 1 т урожая зерна риса (таблица 19).

Наибольший вынос цинка урожаем риса и затраты на формирование 1 т зерна во все годы исследований были на варианте, где семена обрабатывались перед посевом 1,0 % водным раствором микроэлемента. С зерном цинка выносятся больше, чем с соломой.

Таблица 19 – Вынос цинка урожаем риса и затраты его на формирование 1 т зерна при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Вынос, г/га			Затраты на 1 т зерна, г
	зерно	солома	хозяйственный	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	132,83	84,44	217,27	30,26
Фон +Zn, 0,5 %	151,15	103,35	254,50	33,09
Фон +Zn, 1,0%	154,24	109,68	263,92	33,88
Фон +Zn, 1,5 %	151,55	107,37	258,92	34,34

Предпосевная обработка семян риса цинком повлияла на вынос азота, фосфора и калия рисовым агроценозом, который увеличился в зависимости от дозы цинка соответственно на 6,95-14,73; 2,45-7,10 и 11,36-16,25 кг/га или на 5,4-11,4, 4,2-12,3 и 8,3-11,9 % соответственно (таблица 20).

Таблица 20 – Вынос азота, фосфора и калия урожаем риса и затраты их на формирование 1 т зерна при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Вынос, кг/га			Затраты на 1 т зерна, кг
	зерно	солома	хозяйственный	
Азот (N)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	86,88	42,50	129,38	18,02
Фон +Zn, 0,5 %	98,43	42,45	140,88	18,32
Фон +Zn, 1,0%	100,49	43,62	144,11	18,50
Фон +Zn, 1,5 %	93,50	42,83	136,33	18,08
Фосфор (P ₂ O ₅)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	45,23	12,64	57,87	8,06
Фон +Zn, 0,5 %	52,29	11,69	63,98	8,32
Фон +Zn, 1,0%	53,75	11,22	64,97	8,34
Фон +Zn, 1,5 %	48,26	12,06	60,32	8,00
Калий (K ₂ O)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	23,69	112,58	136,27	18,98
Фон +Zn, 0,5 %	26,92	125,50	152,42	19,82
Фон +Zn, 1,0%	27,26	125,26	152,52	19,58
Фон +Zn, 1,5 %	26,39	121,24	147,63	19,58

Большая часть азота ($\approx 70\%$) и фосфора ($\approx 80\%$) выносилась с зерном. Увеличение обеспеченности растений цинком усиливало аттракцию этих элементов из вегетативных органов вследствие чего вынос с соломой азота такой же, как на фоне, а фосфора – меньше на 0,58-1,42 кг/га. Основная масса потребленного растением калия (80-85 %) сосредоточена в листостебельной массе. При посеве обогащенными цинком семенами вынос калия возрастал на 8,3-11,9 %; на 11,4-15,1 % с зерном и 7,7-11,5 % с соломой. Анализ выноса биогенных элементов показал недостаточное внесение азотного и калийного удобрения. Внесенное их количество компенсирует вынос азота на 83,3-90,5 %, а калия – на 59,0-63,9 %. Наблюдаемое увеличение затрат на формирование 1 т зерна риса составляло: азота – 0,06-0,48, фосфора – 0,26-0,28 и калия – 0,60-0,84 кг или на 0,3-2,7, 3,2-3,5 и 3,2-4,4 % и было несущественным.

Повышение коэффициентов использования растениями элементов питания из удобрений неразрывно связано с оптимизацией условий их произрастания [294]. Одним из таких агроприемов является предпосевное обогащение семян микроэлементами, к числу которых относится цинк. Предпосевное обогащение семян риса цинком способствует повышению коэффициента использования растениями риса действующего вещества удобрений: азота на 5,79-12,28 %, фосфора – 3,06-8,88, калия – 18,33-27,08 %. Наиболее полно используются растениями элементы питания из удобрений при предпосевной обработке семян риса 1,0 % водными растворами цинка (таблица 21).

Таблица 21 – Увеличение коэффициента использования растениями риса элементов питания из удобрений при предпосевной обработке семян цинком, %

Вариант	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
*Фон +Zn, 0,5 %	9,58	7,64	26,92
Фон +Zn, 1,0%	12,28	8,88	27,08
Фон +Zn, 1,5 %	5,79	3,06	18,33

*N₁₂₀P₈₀K₉₀ – фон

Таким образом, предпосевное обогащение семян риса цинком способствует повышению выноса одноименного элемента урожаем на 37,23-46,65 г/га или на 17,14-21,5 %, азота, фосфора и калия – на 6,95-14,73; 2,45-7,10 и 11,36-16,25 кг/га или на 5,4-11,4; 4,2-12,3 и 8,3-11,9 % соответственно. Затраты азота, фосфора, калия и цинка на формирование агроценозом единицы урожая зерна и соответствующего количества побочной продукции возрастают несущественно, а их использование растениями риса из удобрений увеличиваются на 5,79-12,28 %, 3,06-8,88 и 18,33-27,08 % соответственно.

Медь. Предпосевная обработка семян риса медью в зависимости от концентрации водного раствора, использованного для проведения данного агроприема, сопровождалась увеличением выноса этого элемента зерном на 2,26-4,22 г/га, соломой – на 2,54-5,95 г/га (таблица 22).

Таблица 22 – Вынос меди урожаем риса и затраты на его формирование при предпосевной обработке семян одноименным микроэлементом

Вариант	Вынос, г/га			Затраты на 1 т зерна, г
	зерно	солома	хозяйственный	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	21,76	21,76	43,52	6,40
Фон + Cu, 0,05 %	24,02	24,30	48,32	6,84
Фон + Cu, 0,5 %	25,98	27,31	53,29	7,18
Фон + Cu, 1,0 %	25,97	27,71	53,69	7,44

Хозяйственный вынос меди с урожаем при предпосевной обработке семян возрастал на 4,80-10,17 г/га, или на 11,0-23,4 % по сравнению с фоном. Незначительно увеличились затраты меди на формирование 1 т зерна риса – от 0,44 до 1,04 г или на 6,88-16,25 %.

Оптимизация питания растений риса медью сопровождалась увеличением выноса урожаем азота, фосфора и калия (таблица 23).

Таблица 23 – Вынос азота, фосфора и калия урожаем риса и затраты на их формирование 1 т зерна при предпосевной обработке семян медью

Вариант	Вынос, кг/га			Затраты на 1 т зерна, кг
	зерно	солома	хозяйственный	
Азот (N)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	82,28	33,18	115,46	16,98
Фон + Cu, 0,05 %	86,90	35,04	121,94	17,26
Фон + Cu, 0,5 %	97,23	38,00	135,23	18,22
Фон + Cu, 1,0 %	92,35	36,36	128,71	17,84
Фосфор (P ₂ O ₅)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	43,52	10,88	54,40	8,00
Фон + Cu, 0,05 %	48,04	13,00	61,04	8,64
Фон + Cu, 0,5 %	53,44	12,47	65,91	8,88
Фон + Cu, 1,0 %	49,78	12,70	62,48	8,66
Калий (K ₂ O)				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	21,76	114,24	136,00	20,00
Фон + Cu, 0,05 %	23,31	120,95	144,26	20,42
Фон + Cu, 0,5 %	27,46	128,26	155,72	20,98
Фон + Cu, 1,0 %	25,97	124,10	150,07	20,80

Вынос азота с зерном при обработке семян медью повышался на 4,62-14,95 кг/га или на 5,61-18,17 %, с соломой – 1,86-4,82 кг/га или на 5,61-14,53 %. В целом, вынос урожаем риса достигал 6,48-19,77 кг/га или 5,61-17,12 %.

Вынос фосфора с зерном и соломой при предпосевной обработке семян возрастал на 4,52-9,92 и 1,59-2,12 кг/га или на 10,39-22,79 и 14,61-19,48 % соответственно по сравнению с фоном. Хозяйственный вынос фосфора урожаем риса под воздействием меди повышался на 6,64-11,51 кг/га или на 12,21-21,16 %.

В отличие от азота и фосфора основная доля выноса калия урожаем приходилось на солому. В контроле его доля составляла 84 % хозяйственного

выноса этого элемента урожаем риса. Под воздействием меди хозяйственный вынос калия урожаем риса возрос на 8,26-19,72 кг/га или на 6,07-14,50 %. Его увеличение происходило за счет повышения выноса зерном на 1,55-5,70 кг/га или на 7,12-26,19 %.

Предпосевная обработка семян риса медью способствовала незначительному росту затрат элементов питания на формирование 1 т зерна: азота на 0,28-1,24 кг (1,65-7,30 %), фосфора на 0,64-0,88 кг (8,0-11,0 %) и калия на 0,42-0,98 кг (2,1-4,9 %). Обработка семян риса медью увеличивала коэффициент использования азота, фосфора и калия растениями из удобрений (таблица 24).

Таблица 24 – Коэффициент использования растениями риса элементов питания из удобрений при предпосевной обработке семян медью, %

Вариант	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
*Фон + Cu, 0,05 %	5,40	7,38	9,18
Фон + Cu, 0,5 %	16,48	12,79	21,91
Фон + Cu, 1,0 %	11,04	8,98	15,63

*N₁₂₀P₈₀K₆₀ – фон

У опытных растений, т.е. выросших из обогащенных перед посевом семян риса, коэффициент использования азота возрастал на 5,40-16,48 %, фосфора – 7,38-12,79 и калия – 9,18-21,91 %. Наиболее полно растения риса использовали элементы питания из удобрений при предпосевной обработке семян 0,5 %-ным водным раствором меди. Эта концентрация микроэлемента для предпосевной обработки посевного материала экологически наиболее оправдана – биогенные элементы, содержащиеся во вносимых под рис удобрениях, полнее использовались растениями.

Таким образом, при обработке семян риса медным удобрением хозяйственный вынос урожаем меди возрастает на 11,0-23,4 %, азота – 5,61-17,12, фосфора – 12,21-21,16 и калия – 6,07-14,50 %. Затраты азота, фосфора и калия на формирование единицы урожая увеличиваются не существенно, но повышаются

коэффициенты их использования растениями из внесенных удобрений на 5,40-16,48; 7,38-12,79; 9,18-21,91 % соответственно.

3.6 Урожай и качество зерна риса при включении микроэлементов в систему удобрения

3.6.1 Урожайность и структура урожая

Урожай является основным критерием, характеризующим уровень плодородия почв и эффективность агротехнологий. Потенциал продуктивности у конкретной культуры обуславливается генотипом, а степень его реализации экологическими условиями и применяемой агротехникой.

Урожай риса определяется следующими компонентами: 1) предуборочной густоты стояния растений на единице площади; 2) продуктивной кустистостью растений; 3) числом зерен в метелке; 4) массой 1000 зерен. Первый компонент урожая формируется на I и II, второй – II-VII, третий – V-IX, четвертый – X-XI этапах органогенеза. Наследуемость числа продуктивных стеблей составляет 3,5–5,5 %, числа зерен в метелке – 25-35 %, массы 1000 зерен – 80-85 %, рисового агроценоза в целом – 0-20 %. Предуборочная густота продуктивного стеблестоя, числа зерен в метелке и масса 1000 зерен определяют урожай риса соответственно на 49,3, 28,7 и 22,0 % [47, 52, 64, 163].

Предпосевная обработка семян цинком. Предпосевная обработка семян риса цинком всегда отражается на величине урожая. Ее влияние на урожайность обусловлено как дозой цинка, так и складывающимися агроэкологическими условиями произрастания растений риса. В зависимости от этих условий при посеве семенами, обработанными Zn 0,5 %, урожайность риса за годы исследований увеличивалась на 0,38-0,47 т/га, или на 5,33-6,27 %; Zn 1,0 % – 0,49-0,67 т/га, или на 6,88-9,67 %; Zn 1,5 % – 0,41-0,49 т/га, или на 5,75-6,53 %. При этом

статистически подтвержденное ее увеличение отмечено только при использовании для обработки семян 1,0-1,5 % водных растворов цинка (приложение 9).

Наибольшая урожайность риса во все годы исследований формировалась при посеве семенами, обработанными цинком перед посевом 1,0 % водным раствором. В среднем за годы исследований она превышала фон на 0,61 т/га, или на 8,50 %. Меньшей была прибавка урожайности при посеве семенами, обработанными перед посевом 0,5 % водным раствором цинка – 0,41 т/га, или 5,71 %. При увеличении концентрации цинка в рабочем растворе до 1,5 % урожайность возрастала на 0,45 т/га, или 6,27 %, и была выше, чем в фоновом варианте и меньше, чем при воздействии на семена 1,0 % водным раствором цинка (рисунок 31, приложения 3-4).



Рисунок 31 – Урожайность риса при предпосевной обработке семян цинком (среднее за 2019-2021 гг.)

Рост урожайности риса получен за счет улучшения практически всех показателей структуры урожая (таблица 25). При предпосевной обработке семян высота растений и длина метелки увеличивались на 3,2-4,8 и 1,0-1,8 см, или на 3,6-5,4 и 6,4-11,5 %. Наилучшие условия для закладки колосков в метелке были также у опытных растений. Число колосков в метелке под воздействием цинка возросло на 10,8-15,5 шт., одновременно снизилось на 1,2-1,6 % количество стерильных колосков.

Величина массы зерна с главной метелки опытных растений превышала фон на 0,13-0,35 г, или на 4,05-10,90 %, масса 1000 зерен – на 0,53-0,68 г, или 1,90-2,44 %. Все это привело к увеличению массы основной и побочной продукции с одного растения на 0,20-0,26 и 0,24-0,33 г, или на 5,63-7,32 и 5,66-7,78 % соответственно.

Таблица 25 – Биометрические показатели растений и структура урожая риса при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Высота растений, см	Главная метелка				Масса, г/растение		Масса 1000 зерен, г
		длина, см	число зерен, шт.	пустозерность, %	масса зерна, г	солома	зерно	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	88,3	15,7	155,0	16,2	3,21	3,55	4,24	27,90
Фон +Zn, 0,5 %	92,0	16,7	165,8	15,0	3,34	3,76	4,51	28,43
Фон +Zn, 1,0%	93,1	17,5	170,5	14,6	3,56	3,81	4,57	28,58
Фон +Zn, 1,5 %	91,5	16,8	166,9	14,9	3,42	3,65	4,48	28,44
НСР ₀₅	3,5	1,1	9,7	–	0,25	0,11	0,13	0,33

Наибольшее влияние цинка на биометрические показатели растений и элементы структуры урожая зафиксировано на варианте, где семена обрабатывались перед севом 1,0 % водным раствором микроэлемента.

Предпосевная обработка семян медью повышала урожайность риса за годы исследований на 0,22-0,45 т/га, или на 2,07-6,40 % при концентрации Cu 0,05 %; 0,41-0,72 т/га, или на 6,41-10,24 % – Cu 0,5 %; 0,32-0,53 т/га, или на 5,00-7,84 % – Cu 1,0 % (приложение 9). В среднем за 4 года исследований она увеличилась на 0,26-0,62 т/га. Максимальная прибавка урожайности получена при применении 0,5%-ного водного раствора меди полусухим способом (рисунок 32, приложения 3-4).

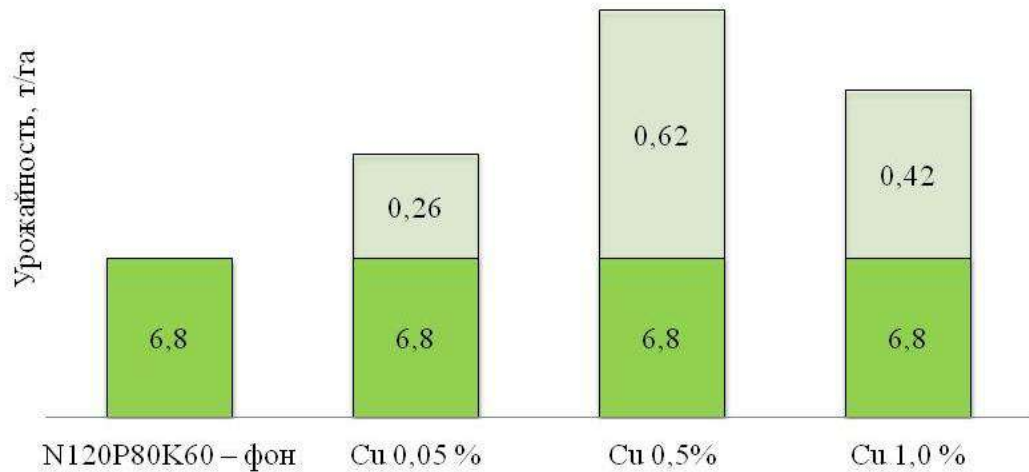


Рисунок 32 – Урожайность риса при предпосевной обработке семян медью (среднее за 2019-2022 гг.)

Анализ биометрических показателей растений риса указывает на положительное на них влияние предпосевной обработки семян медью (таблица 26).

Таблица 26 – Биометрические показатели растений и структура урожая риса при предпосевной обработке семян медью

Вариант	Высота растений, см	Главная метелка				Масса, г/растение		Масса 1000 зерен, г
		длина, см	число зерен, шт.	пустозерность, %	масса зерна, г	солома	зерно	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₉₀ – фон	86,4	16,0	116,9	11,2	3,18	3,74	4,68	27,5
Фон + Cu, 0,05 %	89,8	16,3	123,5	10,6	3,27	3,96	4,95	28,1
Фон + Cu, 0,5 %	96,3	17,1	130,0	9,4	3,39	4,14	5,17	29,2
Фон + Cu, 1,0 %	91,4	16,8	127,8	10,0	3,30	4,05	5,06	28,3
НСР ₀₅	3,5	1,0	6,52	–	0,09	0,21	0,27	0,70

В большей степени положительное влияние относится к высоте растений, а в меньшей – к длине метелки. То есть обогащение высеваемых семян риса медью

способствовало лучшему росту и развитию растений и, в определенной мере, формированию более крупной по линейным размерам метелки. Опытные растения, выросшие из семян, обработанных 0,5 %-ным раствором меди, превосходили фон по высоте на 9,8 см или на 11,4 %. Метелка у этих растений была длиннее на 1,1 см или на 6,9 %, чем на фоне.

Улучшение биометрических показателей у растений, выросших из обработанных семян риса, объясняется тем, что этот агроприем благоприятствует формированию хорошо развитых проростков, которые в ходе вегетации опережают в своем развитии растения фона. Медь, поглощенная семенами в процессе их обработки, участвует в метаболизме, начиная с момента инициации ростовых процессов в зародыше, и влияет на их ход [78].

Анализ структуры урожая показал, что при посеве обогащенными медью семенами урожайность риса возрастала вследствие увеличения числа фертильных колосков в метелке, повышения массы зерна с одного растения и массы 1000 зерен, а также уменьшения числа стерильных колосков в метелке. Наибольшее положительное влияние отмечено при предпосевной обработке семян риса 0,5 % водным раствором микроэлемента. На этом варианте число зерен на главной метелке повышалась на 13,1 шт., масса зерна – на 0,21 г, а пустозерность снижалась на 1,2 %, при этом увеличивались масса зерна и соломы с одного растения соответственно на 0,49 и 0,40 г и масса 1000 зерен на 1,7 г.

Внесение цинкового удобрения в почву рекомендуется либо до посева одновременно с основным, либо в подкормку посевов по всходам. Достоверное воздействие цинка наблюдалось с нормы предпосевного внесения в почву 4 кг/га. На этом варианте достигалась наибольшая урожайность риса, превышающая фон в среднем за 4 года на 0,71 т/га, или на 10,23 %. Увеличение нормы микроудобрения не приводило к дальнейшему росту урожайности и обозначалась тенденция к её снижению (рисунок 33, приложения 3-4).



Рисунок 33 – Урожайность риса при предпосевном внесении цинкового удобрения в почву (среднее за 2019-2022 гг.)

Внесение цинка в почву положительно сказывается на продуктивной кустистости растений, массе зерна с метелки и массе 1000 зерен (таблица 27). Повышение урожайности риса при внесении цинкового удобрения происходит в результате лучшего развития элементов структуры урожая и снижения пустозерности метелки.

Таблица 27 – Биометрические показатели растений и структура урожая риса при предпосевном внесении цинкового удобрения в почву

Вариант	Высота растений, см	Продуктивная кустистость, шт./раст.	Масса зерна с главной метелки, г	Пустозерность, %	Масса 1000 зерен, г
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	83,8	2,1	2,72	15,6	27,0
Фон + Zn ₂	85,2	2,2	2,76	14,7	27,6
Фон + Zn ₄	86,7	2,5	2,82	13,0	28,3
Фон + Zn ₆	86,5	2,5	2,80	13,6	27,6
Фон + Zn ₈	85,9	2,5	2,76	14,2	27,2
НСР ₀₅	0,50	0,20	0,21	–	1,0

Внесение медного удобрения в почву. Данный способ эффективен на почвах с низким содержанием меди. Внесение медного удобрения в почву перед

посевом риса, как отмечено ранее, сопровождалось повышением содержания в ней подвижных форм соединений. Это способствовало оптимизации питания растений одноименных элементов и усилению физиолого-биохимических процессов, происходящих в растительном организме, что положительно отразилось на урожайности зерна риса, о чем свидетельствуют полученные в опыте данные.

При внесении в почву меди в нормах 3 и 4 кг/га по д.в. урожайность риса в среднем за три года повышалась на 0,60 и 0,46 т/га (8,63 и 6,62 %). Максимальная прибавка была получена при внесении 3 кг/га микроэлемента в форме сульфата меди. В варианте опыта Cu₂ величина прироста урожайности по годам была не существенной (рисунок 34, приложения 3-4).

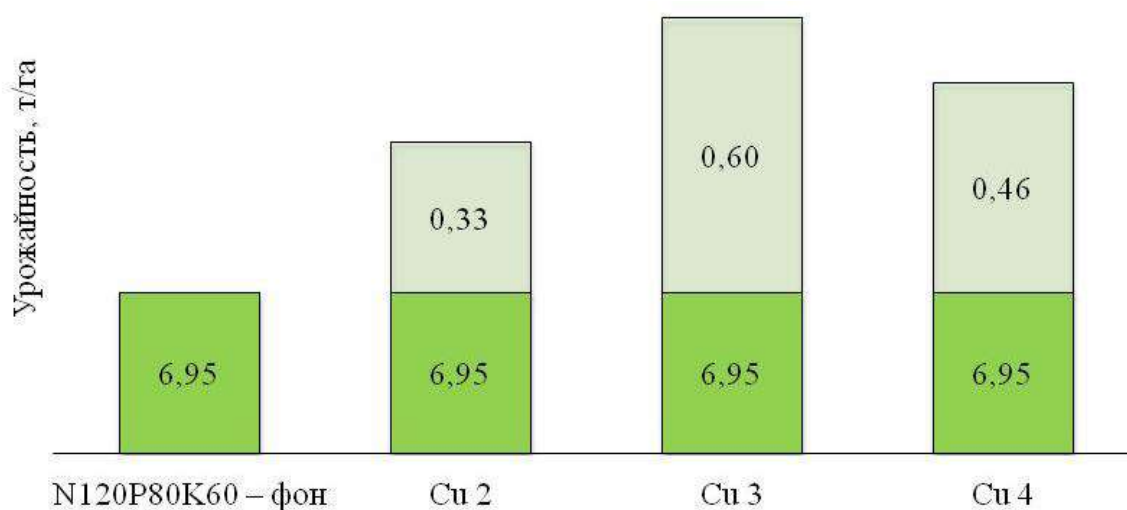


Рисунок 34 – Урожайность риса при предпосевном внесении медного удобрения в почву (среднее за 2019-2021 гг.)

Урожайность является результирующим признаком и определяется величиной показателей биометрического анализа растений и структуры урожая, которые при предпосевном внесении медного удобрения в почву представлены в таблице 28.

Внесение в почву меди улучшало рост растений в высоту – прирост составил 1,8-6,1 см по сравнению с фоном. Наиболее активный рост растений

наблюдался при норме внесения меди 3 кг/га, где получена максимальная урожайность зерна риса.

Таблица 28 – Биометрические показатели растений и структура урожая риса при предпосевном внесении медного удобрения в почву

Вариант	Высота растений, см	Главная метелка				Масса, г/растение		Масса 1000 зерен, г
		длина, см	число зерен, шт.	пустозерность, %	масса зерна, г	солома	зерно	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	86,5	14,7	118,0	11,9	3,16	3,70	4,65	27,2
Фон + Cu ₂	88,3	15,2	121,9	11,0	3,22	3,84	4,79	28,21
Фон + Cu ₃	92,6	15,9	128,8	10,4	3,28	4,08	5,10	29,1
Фон + Cu ₄	92,1	15,5	127,0	10,5	3,24	3,96	4,92	28,9
НСР ₀₅	2,6	0,6	9,2	–	0,05	0,20	0,16	1,00

Увеличение высоты растений в известных границах является положительным фактом в развитии растений. В этом случае, как правило, возрастают площадь листьев, т.е. ассимиляционная поверхность, что, в свою очередь, приводит к увеличению продуктивности фотосинтеза, повышению накопления сухой массы как вегетативных, так и репродуктивных органах. Наряду с ростом растений в опыте наблюдалось и увеличение длины метелки, которая достигала наибольших значений при внесении меди в почву в норме 3 кг/га. Вследствие увеличения длины метелки количества зерна на ней также повышалось. Число зерен на главной метелке риса повысилось на 3,9-10,8 шт. или на 3,3-9,2 % по сравнению с фоном.

Внесение меди в почву перед севом риса положительно повлияло на величину пустозерности метелки. Этот показатель под воздействием внесенного микроудобрения снизился на 0,9-1,5 %, особенно при норме 3 кг/га. Это, очевидно, связано с ролью меди в формировании мужских генеративных органов, а также образовании ДНК и РНК [86].

Увеличение числа колосков на главной метелке риса и их фертильность положительно отразилось на массе зерна. Так, при предпосевном внесении медного удобрения в норме 3 кг/га масса зерна на главной метелке возросла на 0,12 г или на 3,8 % по сравнению с фоном. При использовании других норм цинка выполненность зерновок была также лучше, чем на фоне, но уступала Cu_3 . Ее прирост произошел, главным образом, за счет улучшения налива зерна при использовании медного удобрения, чему подтверждением являются данные по изменению массы 1000 зерен. Применение нормы меди 3 кг/га эта величина возросла относительно фона на 1,9 г или на 7,0 %.

В зависимости от нормы внесенного медного удобрения повышались масса соломы и зерна риса с одного растения на 0,14-0,38 и на 0,14-0,45 г или на 3,8-10,3 и 3,0-9,7 % соответственно.

3.6.2 Качество урожая при предпосевной обработке семян микроэлементами

Качество урожая риса характеризуется биохимическими и технологическими показателями. Биохимический состав оценивается по содержанию белка, крахмала, и других высокоэнергетических веществ, а также зольных элементов. К технологическим показателям качества относятся стекловидность, трещиноватость, пленчатость, выход крупы и содержание в ней целого ядра.

Среди запасных веществ зерновки риса первое место по количеству приходится на углеводы, второе место – белки, около 70 % которых приходится на долю оризенинов, 15 % – глобулины, 10 % – проламины и 5 % – альбумины. С их содержанием связана стекловидность зерновок. Как правило, в пределах сорта стекловидные зерна содержат белка больше чем мучнистые.

Цинк. Улучшение обеспеченности растений риса цинком способствует снижению трещиноватости и пленчатости зерна на 0,9-1,2 % и 0,9-1,3 % соответственно (таблица 29).

Таблица 29 – Технологические показатели качества зерна риса при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Трещиноватость	Пленчатость	Стекловидность	Выход крупы	Содержание целого ядра в крупе
	%				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	15,4	18,1	95,0	67,5	80,1
Фон +Zn, 0,5 %	14,5	17,2	96,5	70,5	81,5
Фон +Zn, 1,0%	14,2	16,8	97,5	71,5	81,9
Фон +Zn, 1,5 %	14,4	17,0	97,0	71,0	81,6

Лучшие технологические показатели качества зерна риса были в варианте с самым высоким урожаем – при предпосевной обработке семян 1,0 % водным раствором цинка. Другие использованные в эксперименте нормы микроэлемента в меньшей степени улучшали эти показатели качества зерна риса.

Цинк оказал положительное влияние на стекловидность зерна, выход крупы и содержание в ней целого ядра. Названные технологические показатели качества зерна возрастали соответственно на 1,5-2,5, 3,0-4,0 и 1,4-1,8 %.

Влияние цинка отразилось на биохимическом составе зерна риса (таблица 30).

Таблица 30 – Биохимические показатели качества зерна риса при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Белок	Крахмал	Зола
	%		
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	6,92	71,3	4,7
Фон +Zn, 0,5 %	7,09	73,3	4,4
Фон +Zn, 1,0%	7,11	73,9	4,0
Фон +Zn, 1,5 %	7,10	73,7	4,3

В зависимости от концентрации микроэлемента в растворе, использованном для предпосевной обработки семян, содержание белка и крахмала в зерне возросло соответственно на 0,17-0,19 % и 2,0-2,6 %, а золы, наоборот, снизилось

на 0,3-0,7 %. Наиболее благоприятный биохимический состав зерна формируется, когда для предпосевной обработки семян использовался 1,0 % водный раствор.

Таким образом, предпосевная обработка семян риса 1,0 % водным раствором цинка способствовало формированию высококачественного зерна риса выражающееся в повышении на 0,19 % содержания белка и 4,0 % – выхода крупы, а также снижении трещиноватости, пленчатости и количества золы в зерне на 1,2 %, 1,3 % и 0,7 % соответственно.

Медь. Оптимизация питания растений риса медью также положительно сказалось на биохимические показатели качества зерна (таблица 31).

Таблица 31 – Биохимические показатели качества зерна риса при предпосевной обработке семян медью

Вариант	Белок	Крахмал	Зола
	%		
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	7,14	71,6	4,8
Фон + Cu, 0,05 %	7,26	72,4	4,4
Фон + Cu, 0,5 %	7,38	73,0	4,0
Фон + Cu, 1,0 %	7,32	72,8	4,2

Медь, участвуя в белковом и нуклеиновом обменах в растениях, оказывает положительное влияние на накопление белка в зерновках риса. В зависимости от концентрации водного раствора микроэлемента, использованного для предпосевной обработки семян, содержание белка в зерновках риса возрастало на 0,12-0,24 % по сравнению с фоном. Этот показатель был больше в зерне риса, где посевной материал обрабатывался 0,5 % водным раствором меди полусухим способом (10 л рабочего раствора на 1 т семян риса).

Медь, входя в состав фермента полифенолоксидазы и низкомолекулярного белка пластоцианина, принимает непосредственное участие в углеводном обмене растений [78]. Этим объясняется положительное влияние предпосевного обогащения семян риса этим микроэлементом на содержание крахмала в зерновках, которое возросло при обработке посевного материала на 0,8-1,4 %. Увеличение основных компонентов зерновки риса – белка и амилозы произошло

за счет уменьшения их трещиноватости. Этот показатель от данного агроприема снизился на 0,5-2,0 %.

Предпосевная обработка семян риса медью отразилась не только на биохимическом составе зерна, но и на технологических показателях (таблица 32).

Таблица 32 – Технологические показатели качества зерна риса при предпосевной обработке семян медью

Вариант	Трещиноватость	Пленчатость	Стекловидность	Выход крупы	Содержание целого ядра в крупе
	%				
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	16,0	17,3	94,5	69,0	91,2
Фон + Cu, 0,05 %	15,5	17,1	96,0	69,5	92,6
Фон + Cu, 0,5 %	14,0	16,6	98,5	71,5	93,4
Фон + Cu, 1,0 %	14,5	16,9	98,0	70,0	92,7

Предпосевное обогащение семян риса медью увеличивало стекловидность зерновок на 1,5-4,0 %. В наибольшей степени этот показатель возрастал при использовании 0,5 %-ного водного раствора микроэлемента. По нашему мнению, одним из возможных причин повышения стекловидности зерновок является улучшение их белковости. Проведенными ранее исследованиями установлена положительная связь между этими показателями качества [78].

При предпосевной обработке семян риса медью на 0,5-2,0 % снижалась трещиноватость зерновок и возрастал выход крупы на 0,5-2,5 %. При этом содержание в крупе целого ядра увеличивалось на 1,4-2,2 %. Оптимизация питания растений медью способствовала снижению пленчатости зерновок на 0,2-0,7 % по сравнению с фоном.

Таким образом, включение меди в систему удобрения способствует улучшению показателей качества урожая. При обработке семян 0,5 % водным раствором меди в зерне риса увеличивается содержание белка, крахмала, возрастает стекловидность, выход крупы и количество в ней целого ядра на 0,24; 1,4; 4,0; 2,5 и 2,2 % соответственно. Происходит снижение зольности, пленчатости и трещиноватости зерновок на 0,8; 0,7 и 2,0 % соответственно.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИКРОУДОБРЕНИЙ В РИСОВОМ АГРОЦЕНОЗЕ

Экономическую оценку эффективности предпосевной обработки семян проводили по общепринятой методике [182]. По каждому варианту опыта определяли стоимость полученных прибавок урожайности по сложившимся ценам реализации для предприятия, а также подсчитывали затраты, связанные с приобретением и применением цинковых удобрений, в т. ч. на уборку, транспортировку и доработку дополнительного урожая. Без расчета таких показателей невозможно делать каких-либо сравнений выгоды применения агрохимических средств в земледелии [222].

Оценка экономической эффективности применения цинкового удобрения показала, что затраты на их внесение полностью окупаются (таблица 33). Опытные варианты в зависимости от концентрации водного раствора цинка обеспечивали получение различных прибавок урожая. Стоимость прибавки урожая и дополнительные затраты на проведение предпосевной обработки семян изменялись в пределах 61200-102510 и 40800-60300 руб. соответственно.

Таблица 33 – Экономическая эффективность предпосевной обработки семян риса цинком

Вариант	Прибавка урожайности, ц/га	Стоимость прибавки, руб./га	Дополнительные затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Окупаемость затрат, руб./руб.	Норма рентабельности, %
*Фон +Zn, 0,5 %	5,1	85510	50899	34611	1,68	68
Фон +Zn, 1,0%	6,1	102510	60300	42210	1,70	70
Фон +Zn, 1,5 %	3,60	61200	40800	20400	1,50	50

*N₁₂₀P₈₀K₆₀ – фон

Чистый доход от предпосевной обработки семян риса цинком, окупаемость затрат на ее проведение и рентабельность выращивания риса в зависимости от используемой концентрации водного раствора микроэлемента варьировали в диапазоне 20400-42210 руб./га, 1,50-1,70 и 50-70 % соответственно.

Экономическая выгода от предпосевной обработки семян риса цинком обеспечивалась, главным образом, за счет возрастания продуктивности растений риса. Наибольший экономический эффект достигался при использовании 1,0 % водного раствора микроэлемента. Этот вариант выделяется хорошей согласованностью всех экономических показателей.

Таким образом, экономические расчеты показали, что все издержки производства, связанные с применением цинкового удобрения, полностью окупаются прибавкой урожая зерна риса. Наиболее высокий чистый доход – 42210 руб./га, – приносит предпосевная обработка семян риса 1,0 % водным раствором цинка с максимальной рентабельностью и окупаемостью затрат – 70 % и 1,70 руб./руб. соответственно.

Анализ применения медного удобрения в рисовом агроценозе свидетельствует о высокой его экономической эффективности (таблица 34).

Таблица 34 – Экономическая эффективность предпосевной обработки семян риса медью

Способ и норма применения меди	Прибавка урожая, ц/га	Стоимость прибавки, руб./га	Дополнительные затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Окупаемость затрат, руб./руб.	Норма рентабельности, %
*Фон + Cu, 0,05 %	2,65	45050	26500	18550	1,70	70
Фон + Cu, 0,5 %	6,22	105740	51580	54160	2,05	105
Фон + Cu, 1,0 %	4,15	70550	37132	33418	1,90	90

N₁₂₀P₈₀K₆₀ – фон

В зависимости от концентрации меди, использованной для предпосевной обработки семян, условно чистый доход по вариантам эксперимента колебался в пределах 18550-54160 руб./га; окупаемость затрат – 1,70-2,05 руб./руб.; норма рентабельности – 70-105 %. Наиболее высокие значения получены при предпосевной обработке семян риса 0,5 % водными растворами микроэлемента.

Таким образом, наиболее экономически эффективной концентрацией при предпосевной обработке семян риса медью оказалась 0,5 % раствор. На этом варианте получен наибольший чистый доход (54160 руб./га), окупаемость затрат (2,05 руб./руб.) и рентабельность (105 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бездефицитный цинковый и медный режимы лугово-черноземной почвы левобережья реки Кубань под рисом складываются при внесении одноименных удобрений из расчета 4 и 3 кг д. в./га соответственно. При внесении в почву цинкового удобрения повышается содержание в ней подвижных форм цинка и аммонийного азота, снижается количество доступного растениям фосфора, при этом на калийный режим цинк не оказывает существенного влияния. При внесении в почву медного удобрения возрастает содержание в почве обменно-поглощенного аммонийного азота, подвижных форм фосфора, калия и меди.

Обработка семян риса микроэлементами цинком и медью оказывает положительное воздействие на энергию, дружность, скорость и бонитет прорастания семян риса, всхожесть и силу их первоначального роста – высоту и массу ростка, длину и массу корешка. Лучший эффект достигается при обработке семян 1,0 %-ным водным раствором цинка и 0,5%-ной медью полусухим способом.

При предпосевной обработке семян медью и цинком интенсивно протекают ростовые процессы у растений риса, что выражается в увеличении их высоты и сухой массы. Под воздействием цинка и меди среднесуточная скорость роста растений риса за вегетационный период повышается на 4,2-9,7 и 5,4-14,9 %, а среднесуточный прирост сухой массы – 2,3-11,2 и 10,9-17,9 % соответственно. Микроудобрения оказывают позитивное влияние на величину и фотосинтетическую активность ассимиляционного аппарата растений. Лучший эффект достигается при обработке семян 1,0 % и 0,5 %-ным водными растворами цинка и меди соответственно полусухим способом.

Предпосевная обработка семян риса медью и цинком положительно отражается на статусе биогенных элементов растения. В фазе созревания риса под воздействием меди содержание азота в листостебельных органах увеличивается на 0,01-0,03 %, фосфора – 0,01-0,03, калия – 0,04-0,06 %, меди – 0,3-0,8 мг/кг сухой массы, соответственно в зерне – на 0,02-0,10 %, 0,04-0,08, 0,01-0,05 %, 0,2-0,4 мг/кг. При обработке семян цинком происходит аттракция азота и фосфора из вегетативных органов в зерновки риса, а содержание калия возрастает на 0,05-

0,08 %, цинка – 2,1-3,1 мг/кг сухой массы. В урожае зерна риса содержание азота под влиянием цинка повышается на 0,03-0,08 %, фосфора – 0,01-0,06, калия – 0,02 %, цинка – 1,2-1,6 мг/кг. При этом увеличивается среднесуточное потребление и накопление растениями названных биогенных элементов. Наибольшие значения рассматриваемых показателей минерального питания растений получены при предпосевной обработке семян 0,5 %-ным водным раствором меди и 1,0 %-ным – цинка полусухим способом.

Предпосевная обработка семян цинком повышает хозяйственный вынос одноименного элемента урожаем на 17,14-21,50 %, азота, фосфора и калия – на 5,4-11,4; 4,2-12,3 и 8,3-11,9 % соответственно. При обработке семян медью вынос одноименного элемента урожаем возрастает на 11,0-23,4 %, азота – 5,6-17,1, фосфора – 12,2-21,2 и калия – 6,1-14,5 %. Коэффициенты использования растениями риса элементов питания из удобрений увеличиваются – азота на 5,40-16,48 %, фосфора – 7,38-12,79, калия – 9,18-21,91 % под влиянием меди и на 5,79-12,28 %, 3,06-8,88, 18,33-27,08 % соответственно – цинка.

Обработка семян медью и цинком перед посевом риса позитивно сказывается на продуктивности рисового агроценоза. Урожайность риса возрастает на 0,26-0,62 и 0,41-0,61 т/га в зависимости от концентрации меди и цинка в рабочем растворе соответственно. Максимальный эффект получается при обработке семян 0,5 % и 1,0 %-ным водными растворами меди и цинка соответственно полусухим способом. Повышение урожайности обусловлено увеличением числа фертильных зерен и их массы в метелке, а также массы 1000 зерен.

На лугово-черноземной почве в условиях рисосеяния левобережья реки Кубань культура риса положительно отзывается на внесение микроудобрений. Установленные оптимальные нормы медного – 3 кг/га и цинкового – 4 кг/га удобрений при предпосевном внесении в почву позволяют получить дополнительные прибавки урожая зерна риса 0,60 т/га и 0,71 т/га или 8,63 и 10,23 % соответственно.

Экономический эффект достигается при предпосевной обработке семян риса 0,5 % и 1,0 %-ным водными растворами меди и цинка соответственно полусухим способом.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При выращивании риса на лугово-черноземной почве левобережья реки Кубань с содержанием подвижных форм меди – 0,28-0,42 мг/кг и цинка – 4,7-5,5 мг/кг рекомендуется предпосевное внесение одноименного микроудобрения: Cu_3 и Zn_4 . Урожайность зерна повышается соответственно на 0,60 и 0,71 т/га. Эффективность микроудобрений проявляется на фоне полного обеспечения растений дефицитными для риса элементами – азотом, фосфором и калием, установленной на основе почвенной диагностики.

Высокоэффективным агроприемом применения микроудобрений в рисовом агроценозе является предпосевная обработка семян. Обработка семян медью и цинком позволяет повысить урожайность на 0,26-0,62 и 0,41-0,61 т/га соответственно. Технология этого агроприема имеет ряд принципиальных агрохимических, физиологических и экологических преимуществ перед внесением в почву и ей должна отводиться приоритетная роль при выборе способа внесения микроудобрений. Обработку семян риса проводят непосредственно перед севом 0,5 % водным раствором меди, 1,0 % – цинка полусухим способом (10 л рабочего раствора на 1 тонну посевного материала). Это мероприятие достоверно увеличивает урожай риса, без опасения загрязнения окружающей среды микроэлементом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонов, Е.В. Микроэлементы – ТМ в исследованиях кафедры агрохимии ДОНГАУ / Е.В. Агафонов. – Каменоломни: «Полиграфический комплекс ЭСМА – ПРИНТ», 2012. – 262 с.
2. Азаренко, Ю.А. Содержание меди в почвах агроландшафтов Омского Прииртышья / Ю.А. Азаренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – №4. С.4-18.
3. Азаренко, Ю.А. Содержание микроэлементов в растениях на почвах лесостепных и степных ландшафтов Омского Прииртышья / Ю.А. Азаренко // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2016. – № 4. – С. 65-74.
4. Акперов, А.Д. Влияние микроудобрений на урожай риса / А.Д. Акперов, М.К. Ахундов // Тематический сборник трудов Азерб.НИИ земледелия. – Баку, 1976. 16. – С. 77-79.
5. Алексеева-Попова, Н.В. Накопление цинка, марганца, железа в растениях при разном уровне меди в среде / Н.В. Алексеева-Попова // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 54–64.
6. Алехина, Н.Д. Минеральное питание / Н.Д. Алехина, Е.В. Харитонашвили / Физиология растений. Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Изд. Центр «Академия», 2005. – С. 413-414.
7. Алешин, Е.П. Медь в минеральном питании риса / Е.П. Алешин, А.Х. Шеуджен, В.Т. Рымарь // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1989. – № 7. – С. 107–111.
8. Алешин, Е.П. Влияние микроэлементов на продуктивность риса / Е.П. Алешин, А.Д. Порохня // Бюл. НТИ ВНИИ риса. – 1970. – Вып. 3. – С. 29-32.
9. Алешин, Е.П. Изменение группового и фракционного состава гумуса в почвах рисовых полей при внесении микроудобрений / Е.П. Алешин, Т.Ф. Бочко, А.Х. Шеуджен // Докл. РАСХН. – 1994. – № 4. – С. 19–20.

10. Алешин, Е.П. Культура риса в Адыгее / Е.П. Алешин, Р.М. Алибердов, А.Х. Шеуджен и др. – Майкоп, 1989. – 142 с.
11. Алешин, Е.П. Микрофлора почвы рисового поля при внесении микроудобрений / Е.П. Алешин, Н.С. Головкин, А.Х. Шеуджен, О.А. Досеева // Докл. ВАСХНИЛ. – 1990. – № 11. – С. 11-13.
12. Алешин, Е.П. Отзывчивость риса на микроэлементы / Е.П. Алешин, А.Д. Порохня, Т.А. Данилова, Е.Н. Демкина // Тр. ВИУА. – 1972. – Вып. 53. – С. 203-208.
13. Алешин, Е.П. Рекомендации по применению микроудобрений под рис / Е.П. Алешин, В.Т. Рымарь, И.В. Подлесный, С.А. Рябцова, О.И. Чижикова, А.Х. Шеуджен. – Краснодар. 1985. - 10 с.
14. Алешин, Е.П. Физиологические особенности прорастания семян риса. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1959. - 18 с.
15. Андриянова, Э.М. Медь и цинк в системе «почва-корма-продукция» / Э.М. Андриянова, Ю.А. Карнаухов / Известия аграрного университета. – 2010. – № 3(27). – С. 107–109.
16. Анспок, П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
17. Антипов-Каратаев И.Н. О подвижности меди в почвах / И.Н. Антипов-Каратаев // Почвоведение. – 1977. – № 11. – С. 652–659.
18. Аранбаев, М. Биологический круговорот цинка и меди в связи с оазисным почвообразованием / М. Аранбаев, А. Чарыев. – М.: Наука, 1980. – 207 с.
19. Багдасарашвили, З.Г. Применение микроэлементов в виноградарстве / З.Г. Багдасарашвили. – М.: Колос, 1966. – 96 с.
20. Багдасаров, А.Г. Микроудобрения и урожайность риса / А.Г. Багдасаров, И.М. Местер // Итоги работы Госсети опытов с удобрениями и пути повышения эффективности применения удобрений в Средней Азии и Казахстане. – Целиноград, 1977. – С. 82.

21. Багдасаров, А.Г. Эффективность и дозы микроудобрений для риса в условиях болотно-луговых почв Зерафшанской долины: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. – М., 1977 - 19 с.
22. Багдасаров, А.Г. Приемы и условия эффективного применения микроудобрений под рис в Узбекистане: автореф. дис. ... докт. с-х. наук. – М.: ТСХА, 1991. – 31 с.
23. Багиров, В.А. Система рисоводства Российской Федерации / В.А. Багиров, А.Х. Шеуджен, В.Н. Шиловский. – Краснодар: ФНЦ риса, 2022. – 368 с.
24. Бауэр, Т.В. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области / Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, В.А. Чаплыгин, Д.Г. Невидомская, С.Н. Сушкова, С.Ю. Бакоев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – №4 (20). – С. 186-199.
25. Бахитова, А.Р. Содержание микроэлементов в зерне ячменя при внесении микроудобрений в разные слои дерново-подзолистой почвы / А.Р. Бахитова, В.В. Кидин // Плодородие. – 2016. – № 6. – С.27–30.
26. Беликов, П.С. Фотосинтез / П.С. Беликов. – М.: УДН, 1980. – 70 с.
27. Берко, И.Д. Применение микроудобрений под рис / И.Д. Берко // Крат. итоги науч. исслед. работы Всес. рисовой опыт. станции за 1958 г. – Краснодар, 1961. С. 82-87.
28. Битюцкий, Н.П. Микроэлементы высших растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2011. – 368 с.
29. Бобренко, И.А. Влияние разных способов внесения цинка под озимую тритикале на урожайность зерна в условиях южной лесостепи Западной Сибири // И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.А. Вакалова // Плодородие. – 2012. № 3. С. 7-9.
30. Бобренко, И.А. Метод диагностики потребности озимой ржи в цинковых удобрениях на основе полевого опыта / И.А. Бобренко, Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман // Электронный научно-методический журнал Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (9). – С. 5.

31. Бобренко, И.А. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Попова // Омский научный вестник. 2014. – № 1 (128). – С. 107-111.

32. Бобренко, И.А. Эффективность опудривания семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Е.А. Вакалова, Н.В. Гоман // Омский научный вестник. 2013. – № 1 (118). – С. 166-169.

33. 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. – № 138. – С. 142-144.

34. Бородкина, Р.А. Оценка транслокации тяжелых металлов в системе почва – растение / Р.А. Бородкина, А.Д. Позднякова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 1. – С. 11-16.

35. Вардья, П.Н. Роль меди в обмене веществ ячменя / П.Н. Вардья // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. – Киев: Сельхозиздат УССР, 1963. – С. 154–157.

36. Васильева, В.Е. Количественное определение пигментов / В.Е. Васильева / Методы биохимического анализа растений. Под ред. В.В. Полевого и Г.В. Максимова. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1978. С. 97–101.

37. Вафина, Э.Ф. Микроудобрения и формирование урожая овса в Среднем Предуралье / Э.Ф. Вафина, И.Ш. Фатыхов, В.Г. Колесникова. – Ижевск: Иж. ГСХА, 2007. – 144 с.

38. Верниченко, И.В. Влияние селена и цинка на засухоустойчивость растений сортов ячменя и их способность нормализовать азотное питание после перенесенной засухи (опыты с ^{15}N) / И.В. Верниченко, Л.В. Осипова, И.А. Быковская, П.А. Яковлев // Агрохимия. – 2015. – № 3. – С. 43–55.

39. Верниченко, И.В. Влияние цинка и селена на формирование продуктивности ярового ячменя при воздействии почвенной засухи / И.В. Верниченко, Л.В. Осипова, И.А. Быковская / Физиология растений - фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий. Материалы докладов VII Съезда Общества физиологов растений России и докладов на Международной научной школе «Инновации в биологии для развития биоиндустрии сельскохозяйственной продукции»: в 2-х частях. Редакционная коллегия: В.В. Кузнецов, А.П. Веселов, Г.А. Романов. 2011. – С. 138.

40. Верниченко, И.В. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченного ^{15}N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания / И.В. Верниченко, Л.В. Осипова, П.А. Яковлев, И.А. Быковская, В.А. Литвинский // Агрохимия. – 2017. – № 3. – С. 10-19.

41. Вечер, А.С. Пластиды растений, их свойства, состав и строение / А.С. Вечер. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – С. 143–152.

42. Вильямс, В.Р. Общее земледелие с основами почвоведения / В.Р. Вильямс. – М.: «Новый агроном», 1931. – 376 с.

43. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.

44. Власюк, П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П.А. Власюк. – Киев: Наукова Думка, 1969. – 516 с.

45. Волошин Е.И. Оптимизация минерального питания картофеля на черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи / Е.И. Волошин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2006. № 10. С. 94–97.

46. Воробьев, Н.В. Физиологические основы прорастания семян риса и пути повышения их всхожести / Н.В. Воробьев. – Краснодар, 2003. – 116 с.

47. Гайпов, Б.С. Изучение доз минеральных и микроудобрений под рис на лугово-черноземовидных почвах: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. – Краснодар, 1984. – 23 с.

48. Гайсин, И.А. Полифункциональные хелатные микроудобрения: практика применения и механизм действия / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова. – Казань: КазГАУ, 2016. – 316 с.
49. Гринвуд, Н. Химия элементов. Т. 2 / Н. Гринвуд, А. Эрншо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – С. 523–545.
50. Гукова, М.М. Потребность риса в цинке на ранних этапах развития / М.М. Гукова, В.Т. Рымарь, Мохаммед Исхак, Санкар Поул // Приемы повышения урожайности тропических и субтропических культур. – М.: УДН, 1985. – С. 61-66.
51. Гуторова, О.А. Эколого-агрохимическое состояние почв рисовых агроландшафтов / О.А. Гуторова, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф–Юг», 2020. – 348 с.
52. Гуцин, Г.Г. Рис / Г.Г. Гуцин. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 832 с.
53. Давлетияров, М.А. Продуктивность риса в зависимости от обеспеченности микроэлементами меди и цинка / М.А. Давлетияров, Б.Ш. Шаниязов // Вестник Каракалпакского филиала АН Уз. ССР. – 1988. – № 3. – С. 20-23.
54. Данилова, Т.А. Влияние микроэлементов на продуктивность риса / Т.А. Данилова, К.Г. Ярославская, Е.Н. Демкина // Тр. ВИУА. – 1972. – Вып. 53. – С. 193-202.
55. Даутов, Р.К. Микроэлементы в почвах Чувашской АССР и рациональное использование микроудобрений / Р.К. Даутов, В.Г. Минибаев, С.Н. Калимуллина. – Чебоксары: Чувашское кн. изд-во, 1979. – 62 с.
56. Джейнал, Абедин. Микроэлементы в луговых почвах поймы реки Кубань и влияние микроудобрений на продуктивность риса: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Краснодар, 1992. - 24 с.
57. Джулай, А.П. Возделывание риса на Кубани / А.П. Джулай. – Краснодар: Крас. кн. изд-во, 1958. – 166 с.
58. Добролюбский, О.К. Микроэлементы и жизнь / О.К. Добролюбский. – М.: «Молодая гвардия», 1956. – 125 с.

59. Дорохов, Б.Л. Фотосинтез озимой пшеницы при различном минеральном питании / Б.Л. Дорохов, И.И. Баранина. – Кишинев: Штиинца, 1976. – 205 с.
60. Дубовик, Д.В. Изменение содержания подвижной меди в почве агроландшафта в зависимости от агротехнических приемов / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик // Плодородие. – 2012. – № 2. – С. 51–52.
61. Ермохин, Ю.И. Агроэкологическая оценка влияния микроэлементов на урожайность и качество лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного / Ю.И. Ермохин, Н.Н. Тищенко, В.В. Сидоренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (21). – С. 33-40.
62. Ермохин, Ю.И. Определение доз цинковых удобрений под тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) на основе использования результатов полевых опытов и агрохимических картограмм / Ю.И. Ермохин, В.В. Кривоногова, Н.Н. Тищенко // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (128). – С. 105–107.
63. Ерошенко, Ф.В. Особенности фотосинтетической деятельности сортов озимой пшеницы / Ф.В. Ерошенко. – Ставрополь: «Серфисшкола», 2006. – 200 с.
64. Ерыгин, П.С. Физиология риса / П.С. Ерыгин. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
65. Есаулова, Л.В. Мировое производство риса и современное состояние рисоводческой отрасли в Российской Федерации / Л.В. Есаулова // Рисоводство. – 2022. – № 2 (55). – С. 45-50.
66. Жизневская, Г.Я. Медь, молибден, железо в азотном обмене бобовых растений / Г.Я. Жизневская – М.: Наука, 1972. – 336 с.
67. Журбицкий, З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З.И. Журбицкий. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 294.
68. Заблуда, Г.В. Физиологическое действие меди на растение / Г.В. Заблуда // Тр. Чуваш. СХИ. – 1938. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 3–51.
69. Зенюк, А.В. Медные удобрения под зерновые культуры на осушенных болотах / А.В. Зенюк. – М.: ВАСХНИЛ, 1937. – 94 с.

70. Золотунь, В.П. К вопросу влияния микроэлементов на формирование урожая риса в условиях Херсонского Причерноморья / В.П. Золотунь, Л.К. Ленец, Л.Г. Мока, О.С. Осадчая // Тр. Кишинев. СХИ. 1973. Том. 99. С. 124-128.

71. Зырин, Н.Г. Микроэлементы в почвах и использование микроудобрений / Н.Г. Зырин, В.А. Большаков, З.В. Папукевич, Г.П. Стоилов, А.Ф. Скворцов, М.А. Горбатова. – М.: МГУ, 1972. – 272 с.

72. Зырин, Н.Г. Общие закономерности распределения подвижных форм, микроэлементов в почвах европейской части СССР / Н.Г. Зырин, Ю.Н. Зборищук / Микроэлементы в почвах СССР. – М.: МГУ, 1981. – С. 6-19.

73. Иванова, А. О влиянии соединений мышьяка на всхожесть семян / А. Иванова, И. Парфентьев // Записки станции испытания семян. – 1927. – Вып. 3. – С. 1–6.

74. Игнатовская, М.А. Влияние избытка меди на обмен железа у растений овса / М.А. Игнатовская, Е.М. Рассказова, И.А. Чернавина // Физиология растений. 1983. – Т. 30. – Вып. 1. – С. 172–177.

75. Имоно, М. Выращивание риса при обработке его в начальный период медью, никелем, кобальтом, цинком и марганцем / М. Имоно, У. Китагиси // Нипон додзе хирегаку дзасси. – 1966. – Т. 37. – № 7. – С. 372–377 (Перевод с японс. ВНИИТЭСХ, 1968).

76. Ионова, Л.П. Влияние некорневой подкормки цинком на физиологические процессы сельскохозяйственных культур на почвах поймы и дельты Волги / Л.П. Ионова // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 2. – С. 37-39.

77. Исаев, Б.М. Физиологические и агрохимические основы питания хлопчатника микроэлементами / Б.М. Исаев. – Ташкент: «Фан», 1979. – 260 с.

78. Иулдашев, Р.И. Применение цинковых удобрений в агротехнике семенных посевов риса в условиях Каракалпакии / Р.И. Иулдашев. – Краснодар, 1993 - 24 с.

79. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х.М. Пендиас. – Мир, 1989. – 439 с.
80. Казаков, Б.И. Цинк / Б.И. Казаков / Популярная библиотека химических элементов. Марганец-олово. – М.: Наука, 1972. С. 83-95.
81. Каталымов, М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. М. – Л.: Химия, 1965. – 330 с.
82. Каюмов, Г.К. Предпосевная обработка семян риса микроэлементами / Г.К. Каюмов // Удобрение и урожай. – 1957. – № 7. – С. 56.
83. Каюмов, Г.К. Эффективность микроэлементов на посевах риса / Г.К. Каюмов // Тр. Тадж. СХИ. – 1971. – Т. 15. – С. 75–82.
84. Кеворков, А.П. Влияние микроудобрения на растения риса / А.П. Кеворков, И.В. Тищенко // Химия в сельском хозяйстве. – 1975. – № 10. – С. 16-18.
85. Кедров-Зихман, О.К. Известкование почв и применение микроэлементов / О.К. Кедров-Зихман. – М.: Сельхозгиз, 1957 – 432 с.
86. Ким, В.А. Влияние микроудобрений на урожай риса / В.А. Ким // Пути регулирования и проблемы повышения эффективности рисоводства в Узбекистане. – Ташкент, 1990. – С. 40-43.
87. Козел, А.И. Применение микроэлементов под рис на лугово-каштановых солонцеватых почвах Украины / А.И. Козел // Микроэлементы в окружающей среде. – Киев: Наукова думка, 1980. – С.207–210.
88. Корепанова, Е.В. Микроудобрения в формировании урожая льна-долгунца в Среднем Предуралье / Е.В. Корепанова, В.Н. Гореева, И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: Иж. ГСХА, 2011. – 156 с.
89. Корсунова, М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани / М.И. Корсунова. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 232 с.
90. Корсунова, М.И. Об эффективности микроудобрений при выращивании риса на Кубани / М.И. Корсунова, Абедин Джейнал // Удобрения, урожай и

плодородие почв при интенсивной системе земледелия. – Краснодар, 1989. – С. 41–51.

91. Кудряшов, В.С. Микроэлементы и сборы риса / В.С. Кудряшов // Зерновое хозяйство. – 1984. – № 4. – С. 38-39.

92. Кузнецов, В.В. Физиология растений. Т.2 / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Юрайт, 2016. – 459 с.

93. Кулешев, Г.Т. Микроэлементы в почвах Ростовской области и эффективность микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: автореф. дис... д.с.х.н. Баку, 1968. – 53 с.

94. Кулиев, Ш.М. Эффективность применения микроэлементов под культуру риса в условиях Азербайджана / Ш.М. Кулиев / Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Л., 1970. – Т. 1. – С. 223.

95. Куркаев, В.Т. Агрохимия / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.

96. Курносова, Т.Л. Формирование продуктивности растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и тритикале (*×Triticosecale* WITTM. & A.CAMUS) на фоне предпосевной обработки семян селеном, кремнием и цинком в условиях окислительного стресса, вызванного засухой / Т.Л. Курносова, Л.В. Осипова, И.В. Верниченко, И.А. Быковская, П.А. Яковлев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – № 3. – С. 13-23.

97. Лактионов, В.И. Удобрение риса / В.И. Лактионов, А.И. Козел / Рис. – Киев: Урожай, 1978. С. 84–91.

98. Ламбин, А.З. Микроэлементы, как факторы урожайности / А.З. Ламбин // Тр. Омского СХИ, 1938. – Т. 3. – С. 169–214.

99. Ларкин, А.В. Продуктивность риса и посевные качества семян при применении цинковых удобрений в условиях правобережья р. Кубань: автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Краснодар, 1997. – 17 с.

100. Ле Ван Де. Влияние микроэлементов на водный режим, обмен веществ, рост, развитие и на урожай культуры риса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Баку, 1972, - 34 с.

101. Ле Хонг Шон. Влияние способов и сроков применения микроудобрений на урожайность и качество зерна риса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1989. – 17 с.

102. Леманн, Е. Физиология прорастания семян злаков / Е. Леман, Ф. Айхеле. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – 483 с.

103. Логинова, Е.Б. О действии меди на урожай растений и биологические свойства почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Львов, 1960. – 16 с.

104. Лысенко, Е.Г. Эффективный способ применения микроудобрений / Е.Г. Лысенко. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 126 с.

105. Ляховкин, А.Г. Рис. Мировое производство и генофонд / А.Г. Ляховкин. – СПб.: «Профи-Информ», 2005. – 288 с.

106. Маданов, П.В. Микроэлементы и микроудобрения в подзолистой зоне Русской равнины / П.В. Маданов, А.С. Фатьянов, Л.М. Войкин, В.П. Маданов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. – 556 с.

107. Медведев, С.С. Физиология растений / С.С. Медведев. – СПб.: «БХВ – Петербург», 2013. – 512 с.

108. Местер, И.М. Эффективность микроудобрений в посевах риса в условиях болотно-луговых почв Зерафшанской долины / И.М. Местер, А.Г. Багдасаров // Тр. ВИУА. – 1980. – Вып. 59. – С. 142-144.

109. Минайчев, В.В. Влияние ионов цинка и никеля на формирование проростков *Pisum sativum* L. / В.В. Минайчев, Т.Е. Сиголаева, Д.А. Кузнецов, В.В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2015. – № 3. – С. 292-304.

110. Минайчев, В.В. Накопление фотосинтетических пигментов проростками *Pisum sativum* L. при одновременном присутствии сульфатов цинка и никеля в среде / В.В. Минайчев, Д.А. Кузнецов, Т.Е. Сиголаева, В.В. Иванищев /

Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии. Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 220-223.

111. Митрохина, О.А. Эффективность применения микроудобрений на черноземах типичных под озимую пшеницу / О.А. Митрохина, Е.П. Проценко, Т.В. Сапрыкина, А.А. Проценко // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 47–49.

112. Мокриевич, Г.Л. Цинковые удобрения / Г.Л. Мокриевич, З.И. Шлавицкая. – Алма-Ата: «Кайнар», 1972. – 140 с.

113. Мокроносов, А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза / А.Т. Мокроносов. – М.: Наука, 1981. – 196 с.

114. Мохаммед, Исхак. Потребность риса в цинке в зависимости от уровня минерального питания на лугово-черноземовидной почве Краснодарского края и аллювиальной почве Бангладеш: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. – М., 1985. – 17 с.

115. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти. – М.: Мир, 1987. – 286 с.

116. Муратова, Ю.П. Влияние внекорневого питания микроэлементами на рост, развитие и урожай риса / Ю.П. Муратова // Тез. докл. на конф. молодых ученых ВНИИ риса. – Краснодар: ВНИИ риса, 1981. – С. 31-33.

117. Муртазаев, Ж. Влияние некоторых микроэлементов на продуктивность риса в условиях лугово-пустынных почв КК АССР / Ж. Муртазаев // По пути интенсификации. – Ташкент, 1988. – С. 175-176.

118. Мутускин, А.А. Медьсодержащие белки растений / А.А. Мутускин // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1970. – № 5. – С. 698–706.

119. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А.А. Ничипорович / Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – С. 511-527.

120. Ноздрюхина, Л.Р. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции / Л.Р. Ноздрюхина, Н.И. Гринкевич. – М.: Наука, 1980. – 280 с.

121. Овсянникова, Ж.А. Содержание цинка и меди в зерне кукурузы на черноземе обыкновенном при внесении удобрений / Ж.А. Овсянникова, О.А. Бирюкова, Д.В. Божков, В.В. Носов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 1-4. – С. 107-110.

122. Овчаров, К.Е. Физиологические основы всхожести семян / К.Е. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 280 с.

123. Озолия, Г.Р. Супероксиддисмутазная активность у растений в зависимости от уровня обеспеченности их медью / Г.Р. Озолия, Д.Р. Клавиня, Л.П. Лапиня // Физиолого-биохимические исследования растений. – Рига: Знание, 1978. – С. 64–75.

124. Оканенко, А.С. Фотосинтез и урожай / А.С. Оканенко. – Киев: Изд-во АН УССР, 1954. – 67 с.

125. Окунцов, М.М. Физиологическое значение меди для растений и влияние ее на урожай / М.М. Окунцов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР. – 1952. – С. 371–380.

126. Островская, Л.К. Физиологическая роль меди и основы применения медных удобрений / Л.К. Островская. – Киев: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1961. – 285 с.

127. Пайлик, И.С. Микроудобрения и урожай кукурузы / И.С. Пайлик. – Кишинев: Штиинца, 1987. – 116 с.

128. Панасин, В.И. Избранные научные труды. Т. 2 / В.И. Панасин. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. – 199 с.

129. Панасин, В.И. Микроэлементы и урожай / В.И. Панасин. – Калининград: Кал. кн. изд-во, 2000. – 276 с.

130. Парибок, Т.А. О роли цинка в метаболизме / Т.А. Парибок / Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М.: Наука, 1974. – С. 306-319.

131. Пейве, Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов / Я.В. Пейве // Избранные труды. – М.: Наука, 1980. – 430 с.
132. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Госсельхозиздат, 1961. – 422 с.
133. Петербургский, А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 184 с.
134. Петин, Н.С. Продуктивность фотосинтеза риса при различной густоте посева / Н.С. Петин, В.Л. Бровцына / Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 105–121.
135. Пирахунов, Т. Эффективность применения молибдена и цинка под хлопчатник и люцерну / Т. Пирахунов, А. Кариев. – Ташкент: Фан, 1974. – 192 с.
136. Плешков, Б.Т. Практикум по биохимии растений / Б.Т. Плешков. – М.: Колос, 1985. – 255 с.
137. Побилат, А.Е. Медь в агроэкосистеме юга Средней Сибири / А.Е. Побилат, Е.И. Волошин // Микроэлементы в медицине. – 2017. – № 18 (1). – С. 3–7.
138. Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с.
139. Попов, Ф.В. Роль цинковых удобрений в повышении продуктивности риса / Ф.В. Попов // Интенсивные технологии выращивания основных зерновых культур в Ростовской области. – Персиановка, 1988. – С. 95–102.
140. Порохня, А.Д. Влияние микроэлементов на продуктивность риса и некоторые физиолого-биохимические процессы в них / А.Д. Порохня // Краткий отчет о науч.-исслед. работе ВНИИ риса за 1967-1970 гг. – Краснодар, 1971. – С. 41–44.
141. Потатуева Ю.А. Микроэлементы и урожай / Ю.А. Потатуева. – М.: Знание, 1982.
142. Прудникова, А.Г. Использование нанопорошков металлов для обработки семян льна-долгунца / А.Г. Прудникова, Е.А. Савина, А.Д. Прудников / Научное

обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий. Матер. междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 334-337.

143. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения. Том 1 / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1952. – 692 с.

144. Рауце, К. Борьба с загрязнением почвы / К. Рауце, С. Кырстя. – М.: Агропромиздат, 1986. – 221 с.

145. Рафик, Али Салех. Рост и продуктивность риса в зависимости от обеспечения его цинком: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. – Краснодар, 1980. – 24 с.

146. Рипан, Р. Неорганическая химия. Т. 2 / Р. Рипан, И. Четяну. – М.: Мир, 1972. – 871 с.

147. Рубилин, Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа / Е.В. Рубилин. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. – 56 с.

148. Рымарь, В.Т. Влияние микроэлементов на рост и урожай риса / В.Т. Рымарь, О.И. Чижикова, С.А. Рябцова // Химия в с. х. – 1982. – № 5. – С. 14–16.

149. Рымарь, В.Т. Влияние микроэлементов на урожайность риса и динамику обменного аммония в почве / В.Т. Рымарь, А.Х. Шеуджен, О.И. Чижикова // Агрохимия. – 1986. – № 3. – С. 86–88.

150. Сабинин, Д.А. Физиологические основы питания растений / Д.А. Сабинин. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 521 с.

151. Садковская, Л.А. Влияние микроэлементов на устойчивость риса к фузариозу / Л.А. Садковская, Н.М. Рудакова, Е.М. Лавриченко // Химия в сельском хозяйстве. – 1972. – Т. 10. – № 9. – С. 36-37.

152. Самедова, А.Д. Влияние микроэлементов на азотный обмен в растениях: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Баку: Ин-т ботаники, 1966. – 28 с.

153. Саталкина, Г.И. Влияние обработки семян микроэлементами на физиолого-биохимические процессы и патогенную микрофлору риса / Г.И. Саталкина, Н.Я. Чумак, Г.И. Третьяков, Н.Г. Аносова // Тр. Куб. СХИ. – 1986. Вып. 210(238). – С. 133-140.

154. Сентемов, В.В. Координационные соединения микроэлементов в агропромышленном комплексе Удмуртии / В.В. Сентемов, Е.В. Соколова, С.И. Кононов. – Ижевск: Ижевск. ГСХА, 2012. – 107 с.

155. Серегина, И.И. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе / И.И. Серегина. – М.: Проспект, 2018. – 208 с.

156. Серпуховитина, К.А. Микроудобрения в виноградарстве / К.А. Серпуховитина, Э.Н. Худавердов, А.А. Красильников, Д.Э. Руссь. – Краснодар: СКЗНИИСВ, 2010. – 192 с.

157. Сечняк, Л.К. Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрук, О.К. Слюсаренко, В.Г. Иващенко, Е.Д. Кузнецов. – М.: Колос, 1981. – 350 с.

158. Симонова О.А. Влияние удобрений на содержание и динамику подвижных соединений меди и цинка в зерново-подзолистой почве / О.А. Симонова, О.А. Чеглакова // Аграрная наука Евро-северо-востока. – 2017. – № 6 (61). – С. 30–34.

159. Склярова, М.А. Эффективность различных приемов применения цинка под кукурузу на лугово-черноземной почве Омской области / М.А. Склярова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (13). – С. 28-31.

160. Слюсарев, В.Н. Почвы Краснодарского края / В.Н. Слюсарев, Т.В. Швец, А.В. Осипов. – Краснодар: КубГау, 2022. – 260 с.

161. Смашевский, Н.Д. Микроэлементы и биопрепараты в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях поймы и дельты Волги / Н.Д. Смашевский, Л.П. Ионова, А.С. Абакумова, Р.А. Арсланова, Ж.А. Зимина. – Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2013. – 152 с.

162. Сметанин, А.П. Методики опытных работ по селекции, семеноводству и контролю за качеством семян риса / А.П. Сметанин, В.А. Дзюба, А.И. Апрод. – Краснодар: ВНИИ риса. – 156 с.

163. Сметанин, А.П. Создание сортов риса для северных районов отечественного рисосеяния: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Л., 1975. – 43 с.

164. Смирнова, Н.Н. Удобрение риса / Н.Н. Смирнова. М.: Россельхозиздат, 1978. – 64 с.

165. Стайлс, В. Микроэлементы в жизни растений и животных / В. Стайлс. – М.: ИЛ, 1949. – 186 с.

166. Столыпин, Г.И. Эффективность микроудобрений для риса / Г.И. Столыпин, И.М. Местер, В.И. Пожилов // Тр. Волж. НИИ орош. земледелия. – 1975. – Вып. 3. – С. 197–199.

167. Страйер, Л. Биохимия. В 3-х томах / Л. Страйер. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 232 с.; Т. 2. 308 с.; Т. 3. 398 с.

168. Сучкова, С.А. Морфологические изменения в черенках смородины черной под влиянием наночастиц оксида цинка / С.А. Сучкова, Т.П. Астафурова // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: Матер. III междунар. конф. «Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции овощных, плодово-ягодных и лекарственных растений». – М.: РУДН, 2017. – С. 312–315.

169. Сытник, К.М. Физиология листа / К.М. Сытник, Л.И. Мусатенко, Т.Л. Богданова. – Киев: Наукова думка, 1978. – 392 с.

170. Сычев, В.Г. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, А.Я. Харитонов, В.П. Толстоусов, Н.К. Ефимова, Н.Н. Бушуев. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.

171. Сычев, В.Г. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, Т.Я. Яковлева. – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.

172. Таги-Заде, А.Х. Влияние микроэлементов на водный режим и урожай культуры риса / А.Х. Таги-Заде, Ле Ван Де // Ученые записки Азерб. гос. ун-та. Сер. биол. наук. – 1970. – № 1. – С. 51-57.

173. Тарасов, В.М. Физиологические особенности яблони в условиях медной недостаточности / В.М. Тарасов, В.Ф. Коваленко // Известия ТСХА. – 1970. – Вып. 1. – С. 141–151.

174. Тимирязев К.А. О вероятном значении цинка в экономии растения / К.А. Тимирязев // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. – 1872. – Т. 3. – С. 50-51.

174а.Тимирязев, К.А. Сочинения. Том 3 / К.А. Тимирязев. – М.: Госсельхозиздат, 1937. – 452 с.

175. Тищенко И.В. Внесение микроудобрений под рис / И.В. Тищенко, Н.Ф. Чевыкина // Бюл. ВИУА. – 1976. – № 29. – С. 79–81.

176. 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. – № 138. – С. 123-127.

177. Тищенко, Н.Н. Эколого-агрехимическая оценка влияния цинка на урожайность и качество лекарственного сырья пижмы обыкновенной / Н.Н. Тищенко, А.Х. Шойкина // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (21). – С. 40–45.

178. Тома, С.И. Микроэлементы и урожай / С.И. Тома, И.З. Рабинович, С.Г. Великсар. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 172 с.

179. Тонконоженко, Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар, 1973. – 111 с.

180. Трифонов, Д.Н. Как были открыты химические элементы / Д.Н. Трифонов. – М.: Просвещение, 1980. – 224 с.

181. Трубилин, И.Т. Эколого-экономическая оценка удобрений / И.Т. Трубилин, А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Л.И. Громова. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 100 с.

182. Удрис, Г.А. Биологическая роль цинка / Г.А. Удрис, Я.А. Нейланд. – Рига: Зинатне, 1981. – 180 с.

183. Уразгильдиева, К.Р. Состав соединений цинка в черноземе обыкновенном Ростовской области / К.Р. Уразгильдиева, Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Н.В. Громакова, Е.М. Антоненко / Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Сб. трудов VIII Межд. науч.-практ. конф. Ростов-на Дону, 2017. – С. 437-440.

184. Усанова, З.Н. Увеличение содержания полифруктанов в клубнях топинамбура под влиянием хелатных комплексов микроэлементов / З.И. Усанова, Т.И. Смирнова, Н.Н. Иванютина, М.Н. Павлов, О.А. Булюкина // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2017. – № 3. – С. 139-147.

185. Фанян, Г.Г. Влияние внекорневой обработки растений риса в фазе молочно-восковой спелости растворами солей макро- и микроудобрений на качество зерна / Г.Г. Фанян, В.С. Громов, И.Г. Пожидаев, П.Я. Адорит // Тр. Куб. СХИ. – 1976. – Вып. 132. – С. 35-36.

186. Федюшкин, Б.Ф. Минеральные удобрения с микроэлементами / Б.Ф. Федюшкин. – Л.: Химия, 1989. – 270 с.

187. Фигуровский, Н.А. Открытие элементов и происхождение их названий / Н.А. Фигуровский. – М.: Наука, 1970. – 208 с.

188. Фриден, Э. Биохимия меди / Э. Фриден // Молекулы и клетки. – М.: Мир, 1969. – Вып. 4. – С. 136–149.

189. Хализев А.А. Химические стимулянты (марганец, бор, цинк и мышьяк) / А.А. Хализев. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1934. – 134 с.

190. Хижняк, Р.М. Цинк в чернозёмах Белгородской области / Р.М. Хижняк // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 4. – С. 29-32.

191. Хлюпина, М.И. Влияние цинка на урожайность риса / М.И. Хлюпина, Р.Б. Столовицкий, Е.П. Алешин // Агрехимия. – 1985. – № 12. – С. 100-102.

192. Хурум, Х.Д. Микроэлементы в рисоводстве / Х.Д. Хурум. – М.: МГУ, 2005. – 171 с.

193. Чен, В.Р. Геномный анализ и специфичность экспрессии генов OSZIP1, OSZIP3 и OSZIP4 у двух сортов риса с различной эффективностью усвоения

цинка / И. Фен, И.Э. Чао, С.Э. Ян // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 3. – С. 441-452.

194. Чернавина, И.А. Физиология и биохимия микроэлементов / И.А. Чернавина. – М.: «Высшая школа», 1970. – 310 с.

195. Чеснокова, Т.А. Влияние природы солей меди на ее миграционные свойства в системе почва-растение / Т.А. Чеснокова, Л.В. Шведова, А.С. Терехова, А.В. Невский // Экология и промышленность России. – 2010. – С. 34–36.

196. Чиков, В.И. Фотосинтез и транспорт ассимилятов / В.И. Чиков. – М.: Наука, 1987. – 192 с.

197. Чумаченко, И.Н. Применение микроэлементов при некорневых подкормках сельскохозяйственных культур / И.Н. Чумаченко, В.И. Панасин, А.Г. Андреев [и др.]. – Калининград: Россельхозиздат, 1985. – 13 с.

198. Чурсина, Е.В. Действие цинка, кадмия и свинца на продуктивность различных сортов яровой пшеницы в зависимости от уровня азотного питания при применении регулятора роста: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М: ВНИИА, 2012. – 24 с.

199. Шаврина, К.Ф. Влияние возрастающих доз мелиоранта на распределение цинка в системе почва-растение / К.Ф. Шаврина, С.Е. Витковская // Метеорологический вестник. – 2017. – Т. 9. – № 2. – С. 238–241.

200. Шальтенене, Е. Изменения фосфорно-углеводного обмена в растениях под действием меди и цинка: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Вильнюс, 1965. – 18 с.

201. Шарова, Н.Л. Применение микроэлементов в цветоводстве / Н.Л. Шарова, В.Г. Савва, К.И. Андон. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 114 с.

202. Шеуджен, А.Х. Агрохимия: учебник / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг»; 2023. – 612 с.

203. Шеуджен, А.Х. Агрохимический анализ почв / А.Х. Шеуджен, В.В. Дроздова, И.А. Булдыкова. – Краснодар: КубГАУ. – 2020. – 102 с.

204. Шеуджен, А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.

205. Шеуджен, А.Х. Агрохимия меди в рисовом агроценозе / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Я.Б. Петрик. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2021. – 144 с.

206. Шеуджен, А.Х. Агрохимия цинка в рисовом агроценозе / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, Я.Б. Петрик. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2019. – 164 с.

207. Шеуджен, А.Х. Азот и гумус: методы их определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Л.М. Онищенко, Х.Д. Хурум, В.В. Дроздова, М.А. Осипов. – Майкоп: «Полиграф - ЮГ», 2021. – 176 с.

208. Шеуджен, А.Х. Влияние микроудобрений на содержание и соотношение элементов минерального питания в растениях риса / А.Х. Шеуджен, Е.Р. Штуц, О.А. Досеева // Агрохимия. – 1993. – № 11. – С. 34–42.

209. Шеуджен, А.Х. Калий и методы его определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – М.: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 192 с.

210. Шеуджен А.Х. Медь и методы его определения // А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский, О.А. Гуторова, С.В. Есипенко. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2021. – 160 с.

211. Шеуджен, А.Х. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2015. – 664 с.

212. Шеуджен, А.Х. Микроудобрения в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.П. Алешин, Д.З. Долев. – Майкоп, 1994. 23 с.

213. Шеуджен, А.Х. Микроэлементы в системе удобрения рисового севооборота / А.Х. Шеуджен, Х.Д. Хурум. – Краснодар: «Просвещение–Юг», 2011. – 363 с.

214. Шеуджен, А.Х. Природно-ресурсный потенциал Северокавказского экономического региона Российской Федерации / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 42 с.

215. Шеуджен, А.Х. Рост, развитие и продуктивность риса в зависимости от обеспеченности его медью: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1985. – 24 с.

216. Шеуджен, А.Х. Способ повышение эффективности предпосевной обработки семян риса медью в условиях Краснодарского края / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Я.Б. Петрик, Г.Ф. Петрик, Х.Д. Хурум // Патент на изобретение. № 2733902. 08.09.2020.

217. Шеуджен, А.Х. Теория и практика применения микро- и ультрамикроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2016. – 380 с.

218. Шеуджен, А.Х. Фосфор и методы его определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 236 с.

219. Шеуджен, А.Х. Цинк и методы его определения // А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек, И.А. Лебедовский. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2019. – 220 с.

220. Шеуджен, А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.

221. Шеуджен, А.Х. Агробиогеохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2018. – 308 с.

222. Шеуджен, А.Х. Агрехимические средства оптимизации минерального питания растений и экономическая оценка эффективности их применения / А.Х. Шеуджен, А.И. Трубилин, С.В. Кизинек, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 132 с.

223. Шеуджен, А.Х. Агрехимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 248 с.

224. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.

225. Шеуджен, А.Х. Микроэлементы в питании и продуктивности риса в условиях Краснодарского края: автореф. дис.... докт. биол. наук. – М.: ВИУА, 1992. – 38 с.

226. Шеуджен, А.Х. Применение комплексонатов под рис / А.Х. Шеуджен, В.Т. Рымарь, О.А. Досеева, И.В. Подлесный, Ш.И. Литвак, А.Н. Аристархов // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 4. – С. 41–43.

227. Шеуджен, А.Х. Продуктивность риса при различном содержании в почве подвижных форм микроэлементов / А.Х. Шеуджен, Е.П. Алешин, О.А. Досеева // Докл. ВАСХНИЛ. – 1991. – № 10. – С. 2–4.

228. Шеуджен, А.Х. Рекомендации по применению микроудобрений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, С.В. Гаркуша, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек, Е.П. Максименко, К.Х. Хатков. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 20 с.

229. Шеуджен, А.Х. Цинк в жизни растений и применение цинковых удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Т.Н. Бондарева, А.В. Ларкин. – Краснодар: ВНИИ риса, 1996. – 29 с.

230. Школьник, М.Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии / М.Я. Школьник. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 512 с.

231. Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

232. Школьник, М.Я. Роль и значение бора и других микроэлементов в жизни растений / М.Я. Школьник. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – 222 с.

233. Шлык, А.А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении / А.А. Шдык. – Минск: Наука и техника, 1965. – 396 с.

234. Щукин, В.Б. Влияние некорневого внесения регуляторов роста и меди на структуру урожая и урожайность озимой пшеницы в условиях степной зоны южного Урала / В.Б. Щукин, Н.В. Ильясова, А.А. Громов // Известия Оренбургского ГАУ. – 2010. – № 1 (25). – С. 7–8.

235. Щукин, М.М. Ускоренное озоление растительного материала при определении НРК. – Бюл. ВНИИ риса. – 1985. – Вып. 54. – С. 38-39.

236. Эргашев, А. Влияние комплексонов железа и цинка на некоторые физиологические параметры хлопчатника / А. Эргашев, А. Абдуллаев, Б.Б. Джумаев // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. – 2008. – № 2. – С. 37–48.

237. Юлушев, И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП / И.Г. Юлушев. – М.: Академический проект, 2005. – 368 с.

238. Юферова, С.Г. О соединениях меди в растениях / С.Г. Юферова, Г.Н. Саенко, Е.А. Бойченко // Физиология растений. – 1969. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 8–12.

239. Ягодин, Б.А. Кольцо жизни / Б.А. Ягодин. – М.: НИЭиС, 2002. – 135 с.

240. Ягодин, Б.А. Микроэлементы в овощеводстве / Б.А. Ягодин. – М.: Колос, 1964. – 160 с.

241. Якушкина, Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко. – М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. – 463 с.

242. Balakrishnan, K. Influence of zinc on growth, dry matter production, nutrient uptake and yield certain rice varieties / K. Balakrishnan, S. Gopalakrishnan, N. Natarajaram // Madras agr. J. – 1985. – Vol. 72. – № 1. – P. 25–30.

243. Barnette, R.M. A response of chlorotic corn plants to the application of zinc sulfate to the soil / R.M. Barnette Y.D. Warner. // Soil Sci., 1935. – Vol. 39. – № 1. – P. 145–156.

244. Bown, J.E. Kinetics of zinc uptake by two rice cultivars / J.E. Bown // Plant and Soil, 1986. – Vol. 94. – № 1. – P. 99–107.

245. Forno, D.A. Zinc deficiency in rice. Soil factors associated with the deficiency / D.A. Forno, S. Yoshida, C. Asher // Plant and Soil. – 1975. – Vol. 42. – № 3. – P. 537–550.

246. Gizija Veni, V. Effect of variability of zinc on enhancement of zinc density in basmati rice drain grown in three different soils in India / Veni V. Gizija, S.P. Datta, R.K. Rattan, G.R. Maruthi, Ashish Rai // *J. PlantNutz.* – 2020. – Vol.43. – № 5. – P. 709-724.

247. Katyl, I.C. Zinc deficiency: A widespread nutritional disorder of rice in Agusam del Norte / I.C. Katyl, F.N. Ponnampereuma // *Philipp. Agr.* – 1974. – Vol. 58. – № 3-4. – P. 79-89.

248. Kitagishi, K. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis / K. Kitagishi, H. Obata // *Soil. sc. Plant Nutrit.* – 1986. – Vol. 32. – № 3. – P. 397–405.

249. Lundegardh, H. Über die Interferenzwirkung von Wasserstoffionen und Neutralsalzen auf Keimung und Wachstum V. Weizen / H. Lundegardh // *Bioch.* – 1924. – Zs. 149. – S. 207.

250. Maze, P Influences respective des elements de la solution minerale sur le developement du mais / P Maze // *Ann. Insr. Pastern.* – 1914. – V. 28. – P. 1-48.

251. Nene, V.L. Khaira disease of rice and its control / V.L. Nene // *News Letter.* – 1968. – Vol. 17. – № 1. – P. 1–7.

252. Popoff, W. Zellstimulation horschung / W. Popoff. – Berlin, 1924. – 168 s.

253. Ram, N. Effect of complexed zinc on the uptake of iron by rice in sand culture / N. Ram, K.V. Raman // *Oryza.* -1988. – Vol. 25. – № 1. P. 77–80.

254. Raulin, J. Sur les conditions chimiques de la vie des organismes inferieurs / J. Raulin // *C. R. Acad. Sci. Paris.* – 1870. – 70. – 634 c.

255. Roxas, M. The effect of some stimulante uponrice / M. Roxas // *Agric. and Forester Philipp.* – 1911. – № 1. – P. 89.

256. Sommer A.L. Further evidences on the essential nature of zinc for the growth of higher green plants / A.L. Sommer // *Plant Physiol.* – 1992. – Vol. 3 – № 2. – P. 217.

257. Voshida, S. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils / S. Voshida, A. Tanaka // *Soil Sc. Plant Nutr.* – 1969 – Vol. 15. – № 2. – P. 75–80.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Содержание подвижного цинка в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении цинкового удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб				
	до посева риса	всходы	кущение	выметывание	после уборки урожа
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	4,9	5,5	5,1	5,0	4,7
Фон + Zn ₂	4,9	5,7	5,3	5,1	4,8
Фон + Zn ₄	4,9	6,1	5,8	5,4	4,9
Фон + Zn ₆	4,9	6,6	6,2	5,8	5,3
Фон + Zn ₈	4,9	7,8	7,1	6,4	5,7
НСР ₀₅	–	0,3	0,4	0,1	0,1

Содержание подвижной меди в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении медного удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб				
	до посева риса	всходы	кущение	выметывание	после уборки урожа
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ - фон	0,38	0,42	0,40	0,28	0,32
Фон + Cu ₂	0,38	0,48	0,44	0,30	0,35
Фон + Cu ₃	0,38	0,54	0,48	0,36	0,38
Фон + Cu ₄	0,38	0,56	0,51	0,42	0,40
НСР ₀₅	-	0,07	0,05	0,04	0,04

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Содержание аммонийного азота в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении цинкового удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	13,7	20,4	19,2	12,7
Фон + Zn ₂	13,7	22,6	20,3	11,0
Фон + Zn ₄	13,7	24,7	23,0	12,9
Фон + Zn ₆	13,7	23,9	22,9	13,7
Фон + Zn ₈	13,7	21,8	22,5	13,2
НСР ₀₅	-	2,3	2,1	0,4

Содержание аммонийного азота в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении медного удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	12,6	26,5	21,7	11,8
Фон + Cu ₂	12,6	27,9	23,0	12,1
Фон + Cu ₃	12,6	28,6	24,4	12,6
Фон + Cu ₄	12,6	26,9	22,3	12,8
НСР ₀₅	-	1,1	1,2	0,2

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Содержание подвижного фосфора в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении цинкового удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	53,3	54,8	56,1	51,9
Фон + Zn ₂	53,3	54,8	56,0	51,2
Фон + Zn ₄	53,3	54,1	55,2	51,0
Фон + Zn ₆	53,3	53,0	54,3	52,2
Фон + Zn ₈	53,3	51,1	52,0	52,3
НСР ₀₅	-	0,4	0,5	0,4

Содержание подвижного фосфора в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении медного удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	52,8	54,9	57,1	51,7
Фон + Cu ₂	52,8	55,7	58,9	52,5
Фон + Cu ₃	52,8	56,0	58,6	51,8
Фон + Cu ₄	52,8	54,1	56,7	52,0
НСР ₀₅	-	0,4	0,8	0,3

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Содержание обменного калия в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении цинкового удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	190	216	209	182
Фон + Zn ₂	190	214	210	184
Фон + Zn ₄	190	216	208	182
Фон + Zn ₆	190	217	208	180
Фон + Zn ₈	190	218	209	180
НСР ₀₅	-	1,3	0,8	1,4

Содержание обменного калия в 0-20 см слое лугово-черноземной почвы при предпосевном внесении медного удобрения (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг

Вариант	Срок отбора почвенных проб			
	до посева риса	кущение	выметывание	после уборки урожая
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	220	234	222	210
Фон + Cu ₂	220	242	248	212
Фон + Cu ₃	220	245	240	211
Фон + Cu ₄	220	244	236	208
НСР ₀₅	-	5	6	1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Содержание цинка в растениях риса при предпосевной обработке семян риса одноименным удобрением (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса			
	кущение	выметывание	полная спелость зерна	
	листья	листья+стебли		зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	20,6	15,9	14,7	18,5
Фон + Zn, 0,5 %	22,5	17,7	16,8	19,7
Фон + Zn, 1,0 %	23,2	18,5	17,6	19,8
Фон + Zn, 1,5 %	24,1	18,8	17,8	20,1
НСР ₀₅	1,2	1,3	1,2	1,2

Содержание меди в растениях риса при предпосевной обработке семян риса одноименным удобрением (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса			
	кущение	выметывание	полная спелость зерна	
	листья	листья+стебли		зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	7,8	7,0	4,0	3,2
Фон + Cu, 0,05 %	8,2	7,3	4,3	3,4
Фон + Cu, 0,5 %	8,8	7,9	4,6	3,5
Фон + Cu, 1,0 %	9,1	8,1	4,8	3,6
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,3	0,1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 2

Содержание общего азота в растениях при предпосевной обработке семян риса цинком (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса				
	кущение		выметывание	полная спелость зерна	
	листья		листья+стебли		зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	2,47		1,5	0,74	1,21
Фон + Zn, 0,5 %	2,62		1,65	0,69	1,28
Фон + Zn, 1,0 %	2,62		1,66	0,7	1,29
Фон + Zn, 1,5 %	2,51		1,61	0,71	1,24
НСР ₀₅	0,03		0,08	0,01	0,02

Содержание общего азота в растениях при предпосевной обработке семян медью (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса						
	кущение		выметывание		полная спелость		
	корни	листья	корни	листья+ стебли	корни	листья+ стебли	зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	1,6	2,72	0,82	1,51	0,72	0,61	1,21
Фон + Cu, 0,05 %	1,65	2,78	0,90	1,59	0,77	0,62	1,23
Фон + Cu, 0,5 %	1,69	2,95	0,94	1,64	0,80	0,64	1,31
Фон + Cu, 1,0 %	1,67	2,81	0,92	1,62	0,79	0,63	1,28
НСР ₀₅	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,01	0,02

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 2

Содержание общего фосфора в растениях при предпосевной обработке семян риса цинком (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса					
	кущение		выметывание	полная спелость зерна		
	листья		листья+стебли		зерно	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	0,61		0,57	0,22		0,63
Фон + Zn, 0,5 %	0,60		0,55	0,19		0,68
Фон + Zn, 1,0 %	0,56		0,55	0,18		0,69
Фон + Zn, 1,5 %	0,57		0,53	0,20		0,64
НСР ₀₅	0,02		0,02	0,01		0,04

Содержание общего фосфора в растениях при предпосевной обработке семян медью (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса						
	кущение		выметывание		полная спелость		
	корни	листья	корни	листья+стебли	корни	листья+стебли	зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	0,66	0,73	0,52	0,62	0,50	0,20	0,64
Фон + Cu, 0,05 %	0,68	0,77	0,57	0,67	0,55	0,23	0,68
Фон + Cu, 0,5 %	0,72	0,79	0,60	0,71	0,57	0,21	0,72
Фон + Cu, 1,0 %	0,69	0,78	0,59	0,69	0,56	0,22	0,69
НСР ₀₅	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,01	0,03

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 2

Содержание общего калия в растениях при предпосевной обработке семян риса цинком (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса					
	кущение		выметывание	полная спелость зерна		
	листья		листья+стебли		зерно	
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	2,25		2,12	1,96		0,33
Фон + Zn, 0,5 %	2,31		2,21	2,04		0,35
Фон + Zn, 1,0 %	2,33		2,21	2,01		0,35
Фон + Zn, 1,5 %	2,32		2,21	2,01		0,35
НСР ₀₅	0,04		0,06	0,04		0,01

Содержание общего калия в растениях при предпосевной обработке семян медью (среднее 2019-2021 гг.), мг/кг сухой массы

Вариант	Фаза вегетации риса						
	кущение		выметывание		полная спелость		
	корни	листья	корни	листья+ стебли	корни	листья+ стебли	зерно
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ -фон	1,38	2,53	0,66	2,24	0,51	2,1	0,32
Фон + Cu, 0,05 %	1,4	2,55	0,68	2,38	0,52	2,14	0,33
Фон + Cu, 0,5 %	1,44	2,61	0,7	2,4	0,57	2,16	0,37
Фон + Cu, 1,0 %	1,41	2,57	0,69	2,39	0,56	2,15	0,36
НСР ₀₅	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,01

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Урожайность зерна риса при предпосевной обработке семян цинком

Вариант	Урожайность по годам, т/га				Прибавка	
	2019	2020	2021	средняя	т/га	%
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	6,93	7,50	7,12	7,18	–	–
Фон + Zn, 0,5 %	7,31	7,97	7,50	7,59	0,41	5,71
Фон + Zn, 1,0 %	7,60	8,15	7,61	7,79	0,61	8,50
Фон + Zn, 1,5 %	7,38	7,99	7,53	7,63	0,45	6,27
НСР ₀₅	0,44	0,48	0,39	–	–	–

Урожайность риса при предпосевной обработке семян медью

Вариант	Урожайность по годам, т/га					Прибавка	
	2019	2020	2021	2022	средняя	т/га	%
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	7,01	6,40	6,76	7,03	6,80	–	–
Фон + Cu, 0,05 %	7,23	6,62	6,90	7,48	7,06	0,26	3,82
Фон + Cu, 0,5 %	7,65	6,81	7,47	7,75	7,42	0,62	9,12
Фон + Cu, 1,0 %	7,34	6,72	7,29	7,53	7,22	0,42	6,18
НСР ₀₅	0,28	0,31	0,35	0,47	–	–	–

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 3

Урожайность риса при внесении цинкового удобрения в почву

Вариант	Урожайность, т/га					Прибавка	
	2019	2020	2021	2022	средняя	т/га	%
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	7,20	7,10	6,85	6,59	6,94	–	–
Фон + Zn ₂	7,46	7,36	7,11	6,84	7,19	0,25	3,60
Фон + Zn ₄	7,69	7,58	7,33	8,01	7,65	0,71	10,23
Фон + Zn ₆	7,60	7,51	7,30	8,04	7,61	0,67	9,65
Фон + Zn ₈	7,52	7,39	7,22	7,01	7,28	0,34	4,90
НСР ₀₅	0,30	0,28	0,36	0,40	–	–	–

Урожайность риса при внесении медного удобрения в почву

Вариант	Урожайность по годам, т/га				Прибавка	
	2019	2020	2021	средняя	т/га	%
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – фон	7,04	6,52	7,30	6,95	–	–
Фон + Cu ₂	7,40	6,80	7,65	7,28	0,33	4,75
Фон + Cu ₃	7,58	7,14	7,94	7,55	0,60	8,63
Фон + Cu ₄	7,51	6,99	7,73	7,41	0,46	6,62
НСР ₀₅	0,42	0,30	0,36	–	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2726553

**Способ подготовки семян риса к предпосевной обработке
цинком в условиях Краснодарского края**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Шеуджен Асхад Хазретович (RU), Бондарева Татьяна Николаевна (RU), Гуторова Оксана Александровна (RU), Петрик Ярослав Богданович (RU), Петрик Галина Федоровна (RU), Хурум Хазрет Довлетович (RU)*

Заявка № 2019123237

Приоритет изобретения 19 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 14 июля 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 19 июля 2039 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2733902

**Способ повышения эффективности предпосевной обработки
семян риса медью в условиях Краснодарского края**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Шеуджен Асхад Хазретович (RU), Бондарева Татьяна Николаевна (RU), Гуторова Оксана Александровна (RU), Петрик Ярослав Богданович (RU), Петрик Галина Федоровна (RU), Хурум Хазрет Довлетович (RU)*

Заявка № 2019138099

Приоритет изобретения 25 ноября 2019 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 08 октября 2020 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 25 ноября 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2795835

**Способ предпосевного внесения в почву под семена риса
медных удобрений в условиях Кубани**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Кубанский государственный аграрный университет имени
И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Шеуджен Асхад Хазретович (RU), Бондарева Татьяна
Николаевна (RU), Гуторова Оксана Александровна (RU),
Петрик Галина Федоровна (RU), Хурум Хазрет Довлетович
(RU), Петрик Ярослав Богданович (RU)*

Заявка № **2022112557**
Приоритет изобретения **05 мая 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **12 мая 2023 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **05 мая 2042 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности
Ю.С. Зубов



Ю.С. Зубов



ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2793364**Способ предпосевного внесения в почву под семена риса
цинковых удобрений в условиях Кубани**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Шеуджен Асхад Хазретович (RU), Бондарева Татьяна Николаевна (RU), Гуторова Оксана Александровна (RU), Петрик Галина Федоровна (RU), Хурум Хазрет Довлетович (RU), Петрик Ярослав Богданович (RU)*

Заявка № 2022112555

Приоритет изобретения 05 мая 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 31 марта 2023 г.Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 05 мая 2042 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов