

На правах рукописи

**БАРЧУКОВА АЛИНА СЕРГЕЕВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ СОХРАНЯЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ТЕХНИКИ ПРИМЕНЕНИЕМ ХЕЛАТНОГО КОМПЛЕКСА МЕДИ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Гайдар Сергей Михайлович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой материаловедения и  
технологии машиностроения ФГБОУ ВО  
«Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К.А.  
Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Денисов Вячеслав Александрович**  
доктор технических наук, заведующий  
отделом разработки технологий и  
мультифункциональных покрытий деталей  
сельскохозяйственной техники ФГБНУ  
ФНАЦ ВИМ

**Терентьев Вячеслав Викторович**  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой организации  
транспортных процессов и безопасности  
жизнедеятельности ФГБОУ ВО РГАТУ

Ведущая организация ФБГОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Защита состоится 17 апреля 2025 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета [www.timacad.ru](http://www.timacad.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 35.2.030.03,  
кандидат технических наук, доцент \_\_\_\_\_ Н.Н. Пуляев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Эффективность использования машинно-тракторного парка определяется, главным образом, правильной эксплуатацией техники. Одной из важнейших проблем, связанных с эксплуатацией техники в условиях сельскохозяйственного производства, является проблема ее качественного хранения.

Особенностью эксплуатации сельскохозяйственной техники является её сезонность использования и преобладающую часть времени хранение. Длительность хранения некоторых агрегатов в течение года достигает 95...98 %. Хранится техника, как правило, на открытых площадках. В этих условиях поверхности агрегатов в наибольшей степени подвергаются разрушительному воздействию атмосферных факторов.

Влияние коррозии на надежность техники отмечается в работах многих авторов. Исследованиями ученых установлено, что из-за атмосферной коррозии интенсивность изнашивания деталей сельскохозяйственных машин увеличивается в несколько раз, на 30 – 40 % снижается их прочность, наблюдается коррозионное растрескивание. Срок службы машин сокращается на 30...60 %. Резко возрастают расходы на техническое обслуживание и ремонт, производительность машинно-тракторного парка падает на 10...15 %. Происходят поломки и простои техники, недопустимые в период проведения полевых работ.

Особенно в тяжелых условиях эксплуатируются машины, контактирующие с агрохимическими продуктами. Остающиеся даже после очистки минеральные удобрения способствуют интенсивному разрушению деталей (до 1500 г/м<sup>2</sup>·год), что приводит к быстрому износу узлов и деталей.

Для минимизации негативного воздействия атмосферных факторов на сельскохозяйственную технику необходимо защищать её путем нанесения антикоррозионных составов при подготовке к хранению.

**Степень разработанности темы.** Вопросам защиты техники от коррозии уделяется внимание в работах многих отечественных ученых: Гайдара С.М.,

Низамова Р.К., Пучина Е. А., Митягина В. А., Прохоренкова В. Д., Петрашева А. И., Князевой Л.Г., Дорохова А.В. и др. В их научных публикациях изложены основные принципы системы обеспечения сохранности сельскохозяйственного машинно-тракторного парка (МТП) в нерабочий период, а также разработаны технологические и технические методы по осуществлению антикоррозионной защиты сельскохозяйственной техники.

Большой вклад в развитие теории коррозии и защиты металлов, а также в исследование и разработку ингибиторов внесли следующие авторы: Акимов Т.В., Колотыркин Я.М., Антропов Л.И., Томашов Н.Д., Розенфельд И.Л., Скорчеллетти В.В., Шехтер Ю.Н. и др., установившие важные для теории и практики зависимости.

Анализ существующего положения показывает, что, с одной стороны, промышленность не в состоянии полностью удовлетворить запросы сельского хозяйства в консервационных материалах, с другой - сами хозяйства не заинтересованы в приобретении этих материалов по причине трудоемкости или неэкономичности применения.

В связи с этим до настоящего времени в хозяйствах для наружной консервации тракторов, сельскохозяйственных машин и орудий обычно применяют битумные покрытия, рабочие и отработавшие масла и др. подручные материалы, которые не обеспечивают защиту в течение всего периода хранения или вообще не обладают защитным действием.

Учитывая большое значение проблемы повышения долговечности и улучшения сохранности техники, используемой в сельском хозяйстве, исследования, направленные на разработку удобрений, обладающих свойствами ингибиторов коррозии, представляют собой отдельное направление исследований. Такие удобрения не только выполняют свою основную функцию, но и образуют на поверхности металла защитную пленку, предотвращающую окисление. Это особенно актуально в сельском хозяйстве, где металлические конструкции часто подвергаются агрессивному воздействию окружающей среды. Современные разработки направлены на создание

универсальных составов, сочетающих в себе питательные свойства для растений и антикоррозионные характеристики. При этом важно учитывать экологическую безопасность таких материалов, чтобы минимизировать негативное воздействие на почву и растения. Таким образом, интеграция ингибиторов коррозии в состав удобрений является перспективным методом, способным повысить долговечность металлических конструкций и одновременно улучшить условия для сельскохозяйственного производства.

**Цель работы:** разработать эффективное удобрение, обладающее антикоррозионными свойствами, для применения в качестве консервационного материала при межсменном и кратковременном хранении сельскохозяйственной техники (СХТ).

**Объект исследования.** Процессы атмосферной коррозии металлов при воздействии агрохимических соединений в условиях сельскохозяйственного производства.

**Предмет исследования.** Влияние на коррозионную стойкость металлов удобрения с антикоррозионными свойствами применяемые в качестве консервационных материалов.

**Методология и методы исследований.** При выполнении исследований были использованы основные положения теории коррозии металлов: электрохимическая теория, теория дифференциальной аэрации Эванса, теория пассивации, кинетика реакций в жидкой фазе, термодинамика гетерогенных электрохимических систем. Учтены научные основы технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. При проведении исследований было использовано современное лабораторное оборудование и стенды.

**Научная новизна работы:** заключается в разработке технологии консервации СХТ с использованием нового химического соединения, обладающего свойствами стимулятора роста растений.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Рецепт и технология получения высокоэффективного удобрения с антикоррозионными свойствами;

2. Механизм защитного действия нового органического соединения как стимулятора роста растений и ингибитора атмосферной коррозии;

3. Результаты лабораторных, полевых и натурных испытаний эффективности полученного вещества;

4. Рекомендации по применению полученного соединения в качестве стимулятора роста и защитного материала;

5. Результаты оценки технико-экономической эффективности полученных результатов.

**Практическая ценность:**

- разработаны рецептура и способ получения нового химического соединения (патент № 2786743 С1, патент № 2787029 С1; Приложения А и Б), применяемого в качестве стимулятора роста растений и защитного средства от коррозии;

- разработана технология выращивания картофеля в условиях п. Коренёво Люберецкого района Московской области на дерново-подзолистой супесчаной почве и апробирована в ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Отчет за 2022 г. № 123041900053-8, отчет за 2023 - 2024 гг. № И224110100049-0 (Приложения Д и Е);

- произведена консервация техники, применяемой в агротехнологиях при проведении полевых испытаний;

- получена золотая медаль за разработку технологии получения комплексного удобрения для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества растениеводческой продукции на XXIV Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень 2022»;

- основные положения, изложенные в диссертации, могут быть использованы органами управления АПК на различных уровнях. Результаты исследования будут использованы при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий по специальности 35.03.06 «Агроинженерия» (профиль подготовки «Технический сервис в агропромышленном комплексе»).

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, основана на анализе состояния и путей решения поставленной научной задачи повышения сохраняемости сельскохозяйственной техники и научно-техническом обосновании концепции создания антикоррозионных защитных материалов с учетом ее актуальности. При формировании научно-методологического подхода к решению поставленной задачи использованы методологические принципы, представленные в трудах известных ученых в области надежности СХТ. Достоверность полученных результатов основывается на логическом обосновании принципов и положений концепции, выносимой на защиту и корректно сформулированными задачами исследования.

Достоверность результатов также обеспечивалась большим объемом проведенных экспериментов, реализованных как в лабораторных, так и в полевых условиях, а также в ходе эксплуатационных испытаний. В работе применены современные стандартизированные методы исследования и измерительное оборудование.

Обработка результатов осуществлялась с использованием теории вероятностей и математической статистики. Полученные экспериментальные данные, выводы и практические рекомендации обоснованы результатами аналитических и экспериментальных исследований, полученных в рамках выполнения диссертационной работы.

**Апробация работы.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований представлены, обсуждены и одобрены на научных конференциях, совещаниях, семинарах, в том числе: международной научно-практической конференции «Современные технологии», Петрозаводск, 2023; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской школе молодых учёных «Актуальные проблемы развития научных исследований и инноваций в сельскохозяйственном производстве», Белгород, 2023; Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы современных

технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции», Курск, 2023; 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров «Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК», Курск, 2024.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в журналах, рецензируемых международной базой данных Scopus, 4 патента на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 152 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 24 таблицы и 41 рисунков, заключения, принятых сокращений, списка литературы, включающего 156 наименования, в том числе 20 на иностранном языке и 10 приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, дана её общая характеристика, сформулированы цель исследования, объект и предмет исследования, изложены научная новизна, практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования»** представлен анализ хранения сельскохозяйственной техники. Рассмотрены условия возникновения атмосферной коррозии, приводящие к коррозионным разрушениям, а также методы и средства, применяемые для защиты сельскохозяйственной техники (СХТ) от атмосферной коррозии. На основании результатов анализа литературных источников были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ условий хранения СХТ и влияния климатических и эксплуатационных факторов на её сохраняемость.
2. Выявить наиболее значимые факторы, влияющие на коррозионные разрушения металлических деталей и конструкций машин.



3. Научно обосновать концепцию создания высокоэффективных удобрений, обладающих антикоррозионными свойствами.

4. Выбрать доступное сырье и разработать технологию органического синтеза нового удобрения с антикоррозионными свойствами.

5. Исследовать полученное органическое соединение, применяемое в качестве удобрения и ингибитора коррозии.

6. Разработать рекомендации по применению полученного материала.

7. Провести технико-экономическую оценку полученных результатов.

**Во второй главе «Теоретические основы разработки хелатного комплекса меди»** рассмотрен механизм коррозионных разрушений металлов, вызванных воздействием агрохимических веществ, а также кинетика химических реакций при коррозионном растворении металлов.

Основной задачей химической кинетики является измерение и расчёт скоростей реакций, построение кинетических кривых. Постулат химической кинетики был сформулирован К. Гульдбергом и П. Вааге для гомогенных сред, когда все компоненты находятся в одинаковом агрегатном состоянии. Рассматриваемая окислительно-восстановительная реакция протекает на границе двух фаз: металл – окружающая среда, то есть является гетерогенным процессом. Межфазная граница представлена как фрактальная поверхность.

Для гетерогенной среды получены качественные и количественные результаты, которые подлежат теоретическому анализу.

Стехиометрическое уравнение химической реакции имеет вид:



Согласно Гиббсу, уравнение термодинамики имеет вид:

$$dU = Tds - pdV + \mu_1 dN_1 + \mu_2 dN_2 + \mu_3 dN_3 + \mu_4 dN_4 \quad (2)$$

где  $\mu_k$ , ( $k = 1,2,3,4$ ) – химические потенциалы компонентов.

Производство энтропии  $d_i S$  имеет вид:

$$\frac{d_i S}{dt} = -\frac{1}{T} \sum_{k=1}^4 \mu_k \frac{dN_k}{dt} > 0 \quad (3)$$

Скорость увеличения Энтропии имеет вид:

$$\frac{d_i S}{dt} = \left(\frac{A}{T}\right) \frac{d\xi}{dt} > 0 \quad (4)$$

Получена аналитическая формула, имеющая вид:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{5(C-D)^3} \frac{1}{(D+E-[Fe(OH)_3])^5} - \frac{3}{4(C-D)^3} \frac{1}{(D+E-[Fe(OH)_3])^4} \\ & + \frac{2}{(C-D)^3} \frac{1}{(D+E-[Fe(OH)_3])^3} - \frac{5}{(C-D)^3} \frac{1}{(D+E-[Fe(OH)_3])^2} \\ & + \frac{7C+2D-9E-9[Fe(OH)_3]}{(C-D)^7 (C+E-[Fe(OH)_3])(D+E-[Fe(OH)_3])} \\ & - \frac{18}{(C-D)^8} \ln \left| \frac{D+E-[Fe(OH)_3]}{C+E-[Fe(OH)_3]} \right|. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, получена аналитическая формула неявной зависимости концентрации молекул гидроксида железа от времени  $[Fe(OH)_3](t)$ . Через концентрацию продукта и формулы получены зависимости реагентов от времени  $[F](t)$ ,  $[O_2](t)$ ,  $[H_2O](t)$ .

Научно-теоретические основы создания удобрений с антикоррозионными свойствами позволили определить, что и для растений, и для защиты сельскохозяйственной техники могут применяться одни и те же химические элементы в определённом соотношении.

В третьей главе «*Материалы, программа и методики исследования*», в соответствии с программой исследования, были проведены лабораторные и натурные исследования хелатного комплекса меди (рисунок 1).



Рисунок 1 – Программа экспериментальных исследований

В качестве вариантов опыта использовали разбавление исходной концентрации хелатного комплекса меди (мл) в дистиллированной воде по следующей схеме: 1 – контроль (вода); 2 – 1:1000; 3 – 1:500; 4 – 1:125.

Лабораторный опыт по определению эффективности хелатного комплекса меди в качестве стимулятора роста растений проводили в два этапа: первый этап заключался в определении оптимальной концентрации на примере семян томатов; второй этап – вегетационный опыт, в котором обработанные семена томата высевали в грунт. Натурные испытания хелатного комплекса меди проводили на сортах картофеля Вымпел, Гулливер и Матушка в 2022–2024 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» в п. Коренёво Люберецкого района Московской области. Закладка полевого опыта, учеты и наблюдения проведены в соответствии с требованиями методики полевого опыта и «Методики исследований по культуре картофеля» и «Методики проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле». Дисперсионный анализ полученных данных проводили по Б.А. Доспехову. Расчет эффективности выполнен по методике ВНИИПИ. Химический состав выращенных клубней картофеля в 2023г. определяли по стандартным методикам: содержание азота (N) – по ГОСТ 13496.4-2019; содержание бора (B) – по ОСТ 10.154-88; содержание меди (Cu) – по ГОСТ 30178-96.

Лабораторные эксперименты с хелатным комплексом меди в качестве консервационного материала проводили по ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7384:2001, ИСО 11845:1995). Водородный показатель определяли на портативном рН/мВ/°С-метре серии HI 8314F производства "HANNA Instruments". Электрохимические исследования проводили на потенциостате/гальваностате Autolab PGSTAT 302N с модулем FRA32M (Metrohm Autolab B.V., Нидерланды) с программным обеспечением Nova 2.1.5. Натурные испытания проводились на климатической испытательной станции (КИС) «Кон Зо», расположенной в Южном отделении Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического

центра (Тропического центра) в г. Хошимине. Также испытания проводились на примере стрелчатых лап в ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха».

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** представлены результаты проведенных экспериментальных исследований.

Исследования по определению эффективности хелатного комплекса меди на семенах томата сорта «Дачник» показали, что лучшие результаты, превышающие контрольные значения, наблюдались в вариантах с концентрациями 1:200 и 1:1000.

При применении хелатного комплекса меди при выращивании картофеля по всем трем сортам наилучшим вариантом оказались листовые обработки в концентрации 1:500. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Валовая урожайность картофеля, т/га

Сорт	Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	± к контролю	
						т/га	%
Гулливер	1 Контроль (вода)	20,6	32,3	27,8	26,9	0	0
	2 (1:1000)	20,9	34,9	28,9	28,2	1,3	5,0
	3 (1:500)	25,8	36,2	31,7	31,2	4,3	16,1
	4 (1:125)	23,7	34,3	30,1	29,4	2,5	9,2
	Среднее по сорту	22,8	34,4	29,6	28,9	-	-
	НСР <sub>05</sub> по сорту, т/га	2,13	1,41	1,45	-	-	-
Вымпел	1 Контроль (вода)	19,8	34,5	29,4	27,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	22,2	36,4	32,2	30,3	2,4	8,5
	3 (1 к 500 воды)	24,9	38,3	33,6	32,3	4,4	15,6
	4 (1 к 125 воды)	21,7	38,0	34,0	31,2	3,3	11,9
	Среднее по сорту	22,2	36,8	32,3	30,4	-	-
	НСР <sub>05</sub> по сорту, т/га	1,82	1,51	1,80	-	-	-
Матушка	1 Контроль (вода)	15,9	25,6	18,1	19,9	0	0
	2 (1:1000)	17,5	26,7	18,8	21,0	1,1	5,7
	3 (1:500)	20	28	19,7	22,6	2,7	13,6
	4 (1:125)	16	28,9	19,8	21,6	1,7	8,6
	Среднее по сорту	17,4	27,3	19,1	21,3	-	-
	НСР <sub>05</sub> по сорту, т/га	1,66	1,25	0,71	-	-	-
Среднее по сорту		2,42	4,04	5,69		-	-
НСР <sub>05</sub> по сорту, т/га		1,32	1,36	1,28		-	-
Среднее по трем сортам	1 Контроль (вода)	18,8	30,8	25,1	24,9	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	20,2	32,7	26,6	26,5	1,6	6,5
	3 (1 к 500 воды)	23,6	34,2	28,3	28,7	3,8	15,3
	4 (1 к 125 воды)	20,5	33,7	28,0	27,4	2,5	10,0
	Среднее	20,8	32,8	27,0	26,9	-	-
	НСР <sub>05</sub> , общая, т/га	3,06	4,27	1,27	-	-	-

В среднем за три периода вегетации урожайность картофеля в вариантах с применением испытуемого препарата составила: на сорте Гулливер – 28,2 – 31,2 т/га, что оказалось выше урожайности в контроле на 1,3 – 4,3 т/га (5,0 – 16,1 %); на сорте Вымпел – 30,3 – 32,3 т/га, что оказалось выше, чем в контроле, на 2,4 – 4,4 т/га (8,5 – 15,6 %); на сорте Матушка – 21,0 – 22,6 т/га, что оказалось выше, чем в контроле, на 1,1 – 2,7 т/га (5,7 – 13,6 %). Прибавка урожайности по отношению к контролю оказалась значимой и достоверной.

Размер клубней по наибольшему поперечному диаметру, согласно стандарту, должен быть не менее 30 мм для округло-овальных клубней и 28 мм для удлиненных клубней. В среднем за три года масса не товарных клубней диаметром менее 30 мм в поперечном сечении по сравнению с общей массой клубней незначительна (рисунок 2).

В среднем за три года крупных клубней (более 60 мм) оказалось больше в вариантах сорта Вымпел (2,9...5,3 т/га). Если рассматривать массу клубней более 53 мм, то видно, что у сортов Вымпел (6,9 – 9,4 т/га) и Гулливер (8,0...10,8 т/га) их значительно больше, чем у сорта Матушка (2,9...4,6 т/га).

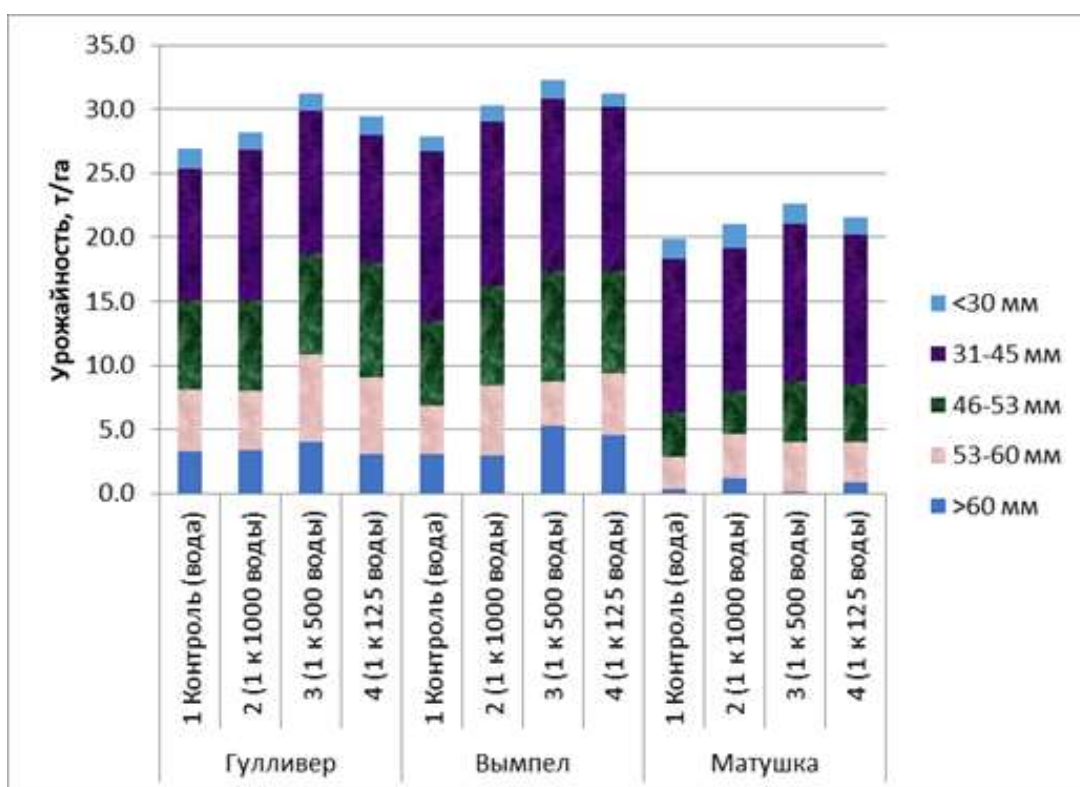


Рисунок 2 – Структура урожайности в среднем за три года (2022-2024), т/га

Поскольку хелатный комплекс меди содержит значительное количество азота (20 %), бора (6,89 %) и меди (0,27 %), в 2023 году проведены исследования по содержанию этих элементов в клубнях картофеля (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание химических элементов в выращенных клубнях картофеля (2023 г.)

Элемент	Вариант	Гулливер	Вымпел	Матушка	Среднее по трем сортам	±,	
						балл	(%)
Азот, %	1 Контроль (вода)	2,06	1,48	1,39	1,64	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	1,78	1,77	1,33	1,63	-0,02	-0,8
	3 (1 к 500 воды)	1,22	1,92	1,63	1,59	-0,05	-3,0
	4 (1 к 250 воды)	1,92	1,64	1,18	1,58	-0,06	-3,7
	Среднее по сорту	1,75	1,70	1,38	1,61	-	-
	НСР <sub>05</sub> Азот	0,32	0,16	0,16	-	-	-
Бор, мг/кг	1 Контроль (вода)	65,3	62,5	40,7	56,17	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	111,1	51,2	67,1	76,47	20,3	36,1
	3 (1 к 500 воды)	78,8	56,9	144,7	93,47	37,3	66,4
	4 (1 к 250 воды)	71,5	59,8	194,3	108,53	52,4	93,2
	Среднее по сорту	81,68	57,60	111,70	83,66	-	-
	НСР <sub>05</sub> Бор	17,65	4,19	61,12	-	-	-
Медь, мг/кг	1 Контроль (вода)	1,8	3,2	4,8	3,27	0	0
	2 (1 к 1000 воды)	3,6	3,0	2,7	3,10	-0,2	-5,2
	3 (1 к 500 воды)	1,8	5,3	3,4	3,50	0,2	7,0
	4 (1 к 250 воды)	2,7	3,8	6,6	4,37	1,1	33,5
	Среднее по сорту	2,48	3,83	4,38	3,56	-	-
	НСР <sub>05</sub> Медь	0,75	0,90	1,49	-	-	-

Получено, что применение препарата не повысило содержание азота в клубнях картофеля, то есть применение азота повлияло, в первую очередь, на рост надземной части растений. В среднем по трем сортам содержится 1,59 – 1,64 % азота, 3,10 – 4,37 мг/кг меди и 56,17 – 108,53 мг/кг бора. При потреблении 300 граммов картофеля в сутки содержание азота и меди остается в пределах ПДК, однако содержание бора несколько превышает ПДК.

Ускоренные коррозионные исследования показали, что на скорость коррозии (весовой показатель, г/м<sup>2</sup>·ч) в среде минеральных удобрений влияет концентрация водных растворов (рисунок 3). Наиболее агрессивным минеральным удобрением является аммиачная селитра (рисунок 4). Ее

коррозионная активность по отношению к контрольному образцу выше в 8,5 раза.

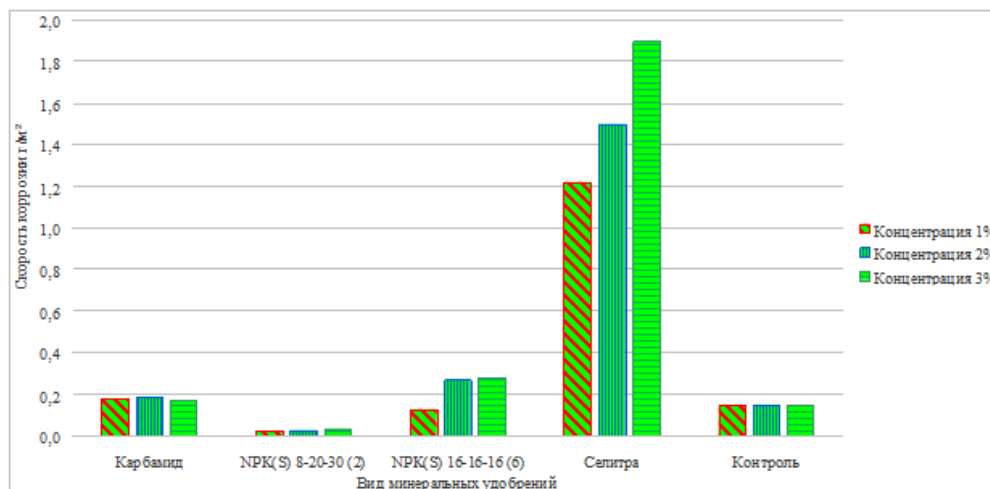


Рисунок 3 – Скорости коррозии Ст3 при различных концентрациях минеральных удобрений

Карбамид, по сравнению с другими минеральными удобрениями, содержит наибольшее количество азота в амидной форме и менее коррозионно-активен, чем аммиачная селитра.

Исследуемый хелатный комплекс меди показал наименьшую скорость коррозии, обеспечивая ярко выраженные ингибирующие свойства. В результате было достигнуто снижение скорости коррозии до  $0,0008 \text{ г/м}^2 \text{ ч}$  при концентрации 1 % раствора (рисунок 10). Это связано с образованием защитной пленки на поверхности стали, которая уменьшает скорость электрохимических реакций, вызывающих коррозию.

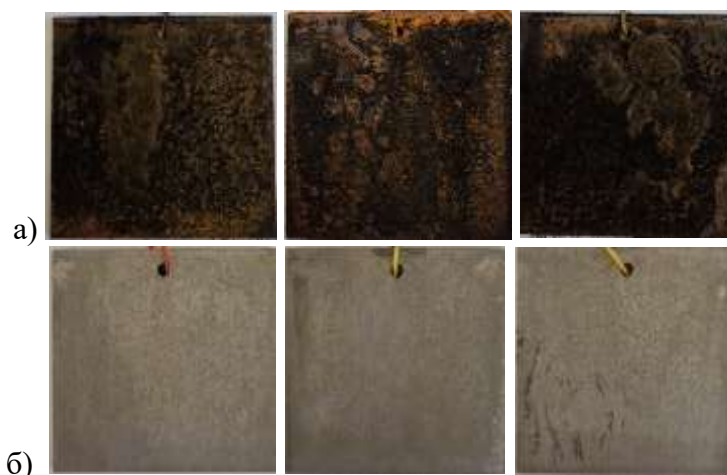


Рисунок 4 – Образец после испытания в 1% - ном растворе аммиачной селитры: а) без удаления продуктов коррозии; б) после удаления продуктов коррозии



Рисунок 5 - Опытный образец после испытания (без удаления продуктов коррозии)

Потенциостатическое исследование показало, что присутствие хелата меди в растворе ускоряет катодную и замедляет анодную реакцию, смещая потенциал коррозии в положительную сторону. Таким образом, данный хелат меди проявляет свойства ингибитора, который по характеру защитного действия относится к анодному типу. Ток коррозии практически не зависит от изменения концентрации хелата меди в интервале 0,5 – 3 %, что согласуется с ускоренными лабораторными опытами (рисунок 6).

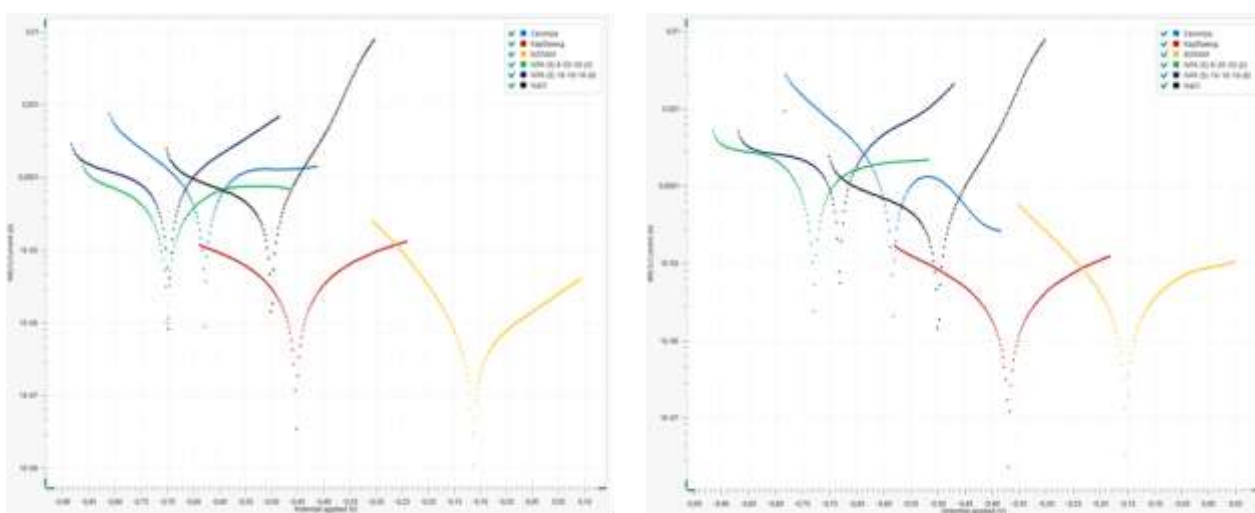


Рисунок 6 – Поляризационные кривые на стали Ст3 при концентрации растворов минеральных удобрений: а) 0.5 % б) 3%

Натурные испытания в условиях тропического климата исследуемых составов на образцах стали Ст3 в течение 6 месяцев показали, что на контрольных образцах сталь полностью подверглась коррозии (100 %); у опытных образцов, обработанных боратом, коррозия охватила 35 % площади; у образцов, обработанных хелатным комплексом меди, коррозионные поражения



заняли 10 % поверхности. Фотографии коррозионных поражений стали Ст3 после экспозиции в течение 6 месяцев представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Фотографии образцов стали Ст3 после экспозиции в течение 6 месяцев

Натурные испытания в ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» показали, что применение хелатного комплекса меди в качестве консервационного материала снижает скорость коррозии металлических изделий (рисунок 8). В результате визуального осмотра исследуемых образцов после кратковременного хранения было установлено, что они имеют меньшую площадь коррозии по сравнению с контрольными образцами.



Рисунок 8 – Фотографии после кратковременного хранения

**В пятой главе «Технология изготовления и ее экономическая эффективность»** на основании комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований были предложены рекомендации по повышению сохраняемости сельскохозяйственной техники. Они включают водоструйную очистку от загрязнений, смыв их водой и последующее ополаскивание раствором хелатного комплекса меди. Таким образом достигается двойной эффект, способствующий повышению сохраняемости техники. Экономическая эффективность применения хелата меди при консервации сельскохозяйственной техники на стадии мойки машин составляет 828 рублей на единицу техники. При этом экономия от сокращения числа оборудования составляет 42 325 рублей.

Применение хелатного комплекса меди в технологии выращивания картофеля позволяет получить условный чистый доход в варианте с трехкратной листовой обработкой 1:500 (0,6 л/га) по сорту картофеля Гулливер - 39...59 тыс. руб./га, по сорту Вымпел - 39...59 тыс. руб./га, по сорту Матушка - 17...26 тыс. руб./га

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ литературных данных по вопросам, связанным с хранением техники и коррозионно-механическим износом деталей и узлов машин, выявил необходимость разработки новых универсальных защитных составов.

2. Анализ факторов, влияющих на коррозионные разрушения, позволил определить, что наиболее значимыми являются влажность, температурные колебания и наличие агрессивных сред. Эти факторы в совокупности ускоряют процессы коррозии и механического износа, что приводит к снижению срока эксплуатации техники. Особенно остро данная проблема стоит для машин, вносящих удобрения, поскольку они регулярно подвергаются воздействию внешних факторов.

3. Научное обоснование концепции создания высокоэффективных удобрений базируется на принципах комплексного воздействия активных компонентов удобрений на металлические поверхности. Антикоррозионный

эффект может быть достигнут за счет введения в состав удобрений органических ингибиторов коррозии, таких как амины, карбоновые кислоты или их производные, которые образуют защитные пленки на поверхности металла. Эти соединения характеризуются высокой адсорбционной способностью и химической стабильностью, что делает их подходящими для использования в составе удобрений.

4. В качестве сырья для создания нового удобрения с антикоррозионными свойствами были выбраны моноэтаноламин, борная кислота и медный порошок. Технология органического синтеза включает несколько этапов: на первом этапе борную кислоту и моноэтаноламин нагревают до 150 °С, получая борат моноэтаноламина. На втором этапе после охлаждения добавляют медный порошок, который растворяется при перемешивании, образуя комплексное соединение меди с боратом моноэтаноламина.

5. В среднем по трем сортам картофеля применение хелатного комплекса меди в концентрации 1:500 (0,6 л/га) позволило получить прибавку валовой урожайности на 1,3...4,4 т/га (5,0...16,1%). Также получена прибавка товарной (более 30 мм в поперечном диаметре) урожайности на 0,8...4,7 т/га;

6. Химический анализ показал, что в клубнях картофеля, в среднем по трем сортам, содержится 1,59...1,64 % азота, меди 3,10...4,37 мг/кг, бора 56,17...108,53 мг/кг. При потреблении 300 граммов картофеля в сутки содержание азота и меди остается в пределах ПДК, однако содержание бора несколько превышает ПДК.

7. Ускоренные лабораторные испытания позволили определить защитные свойства исследуемого хелатного комплекса меди. В результате было достигнуто снижение скорости коррозии образца из стали Ст3 до 0,0008 г/м<sup>2</sup> ч при концентрации 1 % раствора, обеспечивая ярко выраженные ингибирующие свойства.

8. Потенциометрическое исследование с помощью потенциостата/гальваностата Autolab PGSTAT 302N показало, что присутствие в растворе хелата меди ускоряет катодную и замедляет анодную реакцию,

смещая потенциал коррозии в положительную сторону. Таким образом, данный хелат меди проявляет свойства ингибитора, который по характеру защитного действия относится к анодному типу. Оптимальная концентрация хелатного комплекса меди в растворе – 10 г/л.

9. Натурные испытания в условиях тропического климата после экспозиции в течение 6 месяцев позволили определить защитную эффективность хелатного комплекса меди. Площадь коррозионных поражений составила 10%, тогда как незащищенный образец был корродирован на 100%.

10. Натурные испытания в условиях умеренно-континентального климата также подтвердили высокую защитную эффективность хелатного комплекса меди при межсезонном и кратковременном хранении в закрытых неотапливаемых помещениях, а также на открытых площадках.

11. Экономическая эффективность применения хелата меди при консервации сельскохозяйственной техники на стадии мойки машин составляет 828 рублей на единицу техники. При этом экономия от сокращения числа оборудования составляет 42 325 рублей.

12. Применение хелата меди в технологии выращивания картофеля позволяет получить условный чистый доход в варианте с трехкратной листовой обработкой 1:500 (0,6 л/га) по сорту картофеля Гулливер - 39...59 тыс. руб./га, по сорту Вымпел - 39...59 тыс. руб./га, по сорту Матушка - 17...26 тыс. руб./га.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Барчукова А.С. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / Ерохин М.Н., Гайдар С.М., Скороходов Д.М., Ветрова С.М., Барчукова А.С. //Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 3. С. 72-78.

2. Барчукова А. С. Применение азотсодержащего удобрения в технологии выращивания картофеля / А. А. Манохина, С. М. Гайдар, А. С. Барчукова // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 1(114). – С. 76-92. – DOI 10.24412/2713-2641-2023-1114-76-91. – EDN LYLJKL.

3. Barchukova, A. Study of steel corrosion St3 rate in mineral fertilizer environment / A. Barchukova, S. Vetrova, E. Ilyushkova // AgroEcoInfo. – 2024. – Vol. 6, No. 66. – P. 5. – DOI 10.51419/202146605. – EDN SGZLTS.

4. Барчукова А.С. Исследование эффективности амидов жирных кислот в качестве ингибиторов атмосферной коррозии / С. М. Гайдар, А. М. Пикина, А. С. Барчукова [и др.] //

Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 10-15. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-10-15. – EDN DNGYMW.

**Публикации в изданиях, индексируемых в международных  
цитатно-аналитических базах данных:**

5. Effects of Complex Fertilizers on the Properties of Grey Forest Heavy Loamy Soil / S. Gaidar, A. Kazak, A. Barchukova, A. Kozlov // Scientifica. – 2024. – Vol. 2024. – P. 2763147. – DOI 10.1155/2024/2763147. – EDN WVLHFF.

6. Barchukova A. S. Increasing potato yield using foliar fertilization to boost growth / S. M. Gaidar, A. S. Barchukova, S. M. Vetrova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2023. – Vol. 67. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/20236703018. – EDN SMFLTK.

**Публикации в других изданиях:**

7. Барчукова А.С. Фрактальные характеристики профилограмм поверхности стали / С. М. Гайдар, А. Е. Павлов, А. М. Пикина [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 8. – С. 19-24. – DOI 10.31044/1684-2561-2023-0-8-19-24. – EDN АНQJGM.

8. Барчукова А.С. Изучение влияния нового комплексного удобрения на всхожесть семян и энергию прорастания растений томата / С. М. Гайдар, А. Н. Скороходова, А. М. Пикина, А. С. Барчукова // Владимирский земледелец. – 2023. – № 2(104). – С. 25-30. – DOI 10.24412/2225-2584-2023-2104-25-30. – EDN UIPEWU.

9. Барчукова А.С. Сравнительные испытания сталей в абразивной среде / С. М. Ветрова, А. С. Барчукова, С. О. Бубнова // Трибология - машиностроению: Труды XV Международной научно-технической конференции, Москва, 12–13 ноября 2024 года. – Москва: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2024. – С. 36-38. – EDN DKCNRU.

10. Барчукова, А. С. Повышение пищевой ценности картофеля за счет внекорневых обработок / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7, № 2. – EDN TCZXUK.

11. Барчукова А.С. Влияние внекорневой обработки на урожайность и химический состав картофеля / С. М. Гайдар, А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, Т. И. Балькова // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК : сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 14 марта 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 83-86. – EDN IDRMPI.

12. Барчукова А.С. Влияние хелатного удобрения на всхожесть семян томата / С. М. Гайдар, А. С. Барчукова, С. М. Ветрова // Наука и Образование. – 2023. – Т. 6, № 2. – EDN SBFNNK.

13. Барчукова, А. С. Действие нового комплексного удобрения на посевные качества семян яровой пшеницы / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова, С. М. Гайдар // Актуальные проблемы развития научных исследований и инноваций в сельскохозяйственном производстве : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых учёных, Белгород, 28–30 июня 2023 года. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью "КОНСТАНТА", 2023. – С. 23-27. – EDN VFRWJB.

14. Барчукова, А. С. Влияние азотсодержащего удобрения на всхожесть семян томата / А. С. Барчукова, С. М. Ветрова // Актуальные вопросы современных технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Материалы Всероссийской

(национальной) научно-практической конференции с международным участием, Курск, 31 марта 2023 года. Том Часть 1. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2023. – С. 16-20. – EDN JVNVKV.

15. Барчукова А. С. Определение коррозионной стойкости низколегированной стали / С. М. Ветрова, А. С. Барчукова // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : Сборник научных докладов XXII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 27–29 сентября 2023 года. – Тамбов: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве", 2023. – С. 196-198. – EDN DGUNHX.

#### **Патенты:**

16. Патент № 2787029 С1 Российская Федерация, МПК А01N 59/14, А01N 59/20, А01N 25/02. Способ получения состава для стимулирования роста сельскохозяйственных культур: № 2022112372: заявл. 06.05.2022: опубл. 28.12.2022 / С. М. Гайдар, В. Е. Коноплев, Т. И. Балькова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN DUDRSP.

17. Патент № 2786743 С1 Российская Федерация, МПК А01N 59/20, А01N 55/08, А01N 33/08. Состав для стимулирования роста сельскохозяйственных культур: № 2022112373: заявл. 06.05.2022: опубл. 26.12.2022 / С. М. Гайдар, В. Е. Коноплев, А. Г. Левшин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN ILJKML.

18. Патент № 2831292 С1 Российская Федерация, МПК С23F 11/14, С23F 11/16, С02F 5/14. Состав для ингибирования коррозии и солеобразования в системах оборотного водоохлаждения : № 2024104288 : заявл. 20.02.2024: опубл. 03.12.2024 / С. М. Гайдар, В. Е. Коноплев, А. М. Пикина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN OPDDUQ.

19. Патент на полезную модель № 224835 U1 Российская Федерация, МПК В05В 7/16. Устройство для нанесения консервационных консистентных смазок при низких температурах: № 2023127537: заявл. 26.10.2023: опубл. 05.04.2024 / С. М. Гайдар, А. М. Пикина, В. Е. Коноплев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN MIUOML.