

На правах рукописи



Умаров Александр Борисович

**ВЛИЯНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ
И ФОСФОГИПСА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ
И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОЗЁМА
ЮЖНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА**

**4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений**

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Ставрополь – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СтГАУ)

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор кафедры почвоведения
им. В. И. Тюльпанова
Цховребов Валерий Сергеевич

Официальные оппоненты: **Онищенко Людмила Михайловна**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени В. Т. Трубилина»,
профессор кафедры агрохимии
Занилов Амиран Хабилович
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник, руководитель
центра декарбонизации АПК и региональной
экономики ФГБОУ ВО «Кабардино-
Балкарский государственный университет
им. Х. М. Бербекова»

Ведущая организация: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «**Южный федеральный
университет**»

Защита диссертации состоится 1 июля 2025 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.036.01 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» по адресу: 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12, аудитория № 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» и на сайте <http://www.stgau.ru>

Автореферат разослан «__»_____2025 г. и размещен на сайте ВАК Министерства науки и высшего образования РФ: <http://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ: <http://www.stgau.ru>

Ученый секретарь
диссертационного совета

Безгина Юлия Александровна

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Почвы агроценозов претерпевают постоянное обеднение за счет выноса элементов питания, чаще всего безвозвратное, вместе с урожаем. Скорость такого выноса определяется массой самой растительности, которая имеет тенденцию к возрастанию в результате применения удобрений.

В 70-х годах прошлого столетия около 80 % пашни характеризовались как средне- и высокообеспеченные по содержанию подвижной серой. Это в немалой степени способствовало получению урожая зерновых высокого качества. В настоящее время около 80 % почв имеют низкую обеспеченность по этому элементу питания. Дефицит серы можно восполнить внесением ее вместе удобрениями. Необходимо отметить, что обособленной линейки серных удобрений не существует. Серу можно внести только с комплексными удобрениями, где она является не основным вносимым элементом, и её доза зависит от дозы основного элемента в удобрении. Это не может решить проблему дефицита серы для растений.

Актualityным становится решение данной проблемы с помощью различных горных пород или отходов промышленности. Они, как правило, имеют очень низкую стоимость (себестоимость), длительное последствие, просты в применении. Одним из таких отходов промышленности является фосфогипс. В фосфогипсе содержится более 20 % серы и около 1,5 % фосфора. По нашему мнению, внесение этого мелиоранта способно ликвидировать дефицит подвижной серы и отчасти фосфора в почве.

Степень разработанности темы. Анализ литературных источников свидетельствует о том, что применение фосфогипса на бедных по этому элементу питания почвах приводит к увеличению содержания подвижной серы, количества и качества получаемой продукции (см. Тишков Н. М., 2014; Куликова А. Х., 2019; Григулецкий В. Г. с соавт., 2021; Шеуджен А. Х., 2016; Мударисов Ф. А., 2019; Синявский И. В. с соавт., 2022; Аканова Н. И., 2022; Аканова Н. И. с соавт., 2022, 2023, 2024; Денисов К. Е., 2022; Цховребов В. С., 2021, 2022, 2023). Представленная диссертация во многом подтверждает мнения большинства ученых. Тем не менее есть свои особенности. Прежде всего это относится к качеству получаемой продукции.

Цель и задачи исследований. Целью исследований являлось определение эффективности применения фосфогипса как раздельно, так и совместно с азотными и фосфорными удобрениями и в сравнении с серосодержащими удобрениями на чернозёме южном в условиях Центрального Предкавказья в звене севооборота: горох → озимая пшеница → озимая пшеница.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить динамику содержания подвижных форм макро- и микроэлементов в 0–20 см слое почвы при внесении удобрений и фосфогипса.

2. Определить содержание макро- и микроэлементов в растениях озимой пшеницы.

3. Выявить изменения в численности микроорганизмов в почве по вариантам опыта.

4. Определить урожайность, качество и экономическую эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в результате применения серосодержащих удобрений и фосфогипса.

Научная новизна исследований: впервые в условиях Центрального Предкавказья изучалось влияние фосфогипса и совместного применения фосфогипса с удобрениями на показатели плодородия чернозема южного карбонатного среднесуглинистого малогумусного среднесуглинистого на лесовидных суглинках, состояние почвенной микробиоты, продуктивность гороха и озимой пшеницы как звена севооборота.

Теоретическая и практическая значимость состоит в том, что результаты эксперимента лягут в основу расчетов доз внесения удобрений совместно с фосфогипсом для ликвидации дефицита подвижной серы в почве. Выводы исследований могут использоваться в образовательном процессе при проведении лекций и лабораторных занятий по дисциплинам «Почвоведение», «Экология почв» и «Микробиология» для студентов по направлению «Агрономия» и «Экология и природопользование».

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение фосфогипса и серосодержащих удобрений увеличивает содержание подвижной серы в почве.

2. Увеличение содержания макро- и микроэлементов в почве, за исключением калия, а также элементов питания в растениях озимой пшеницы происходит в основном за счет внесения фосфогипса как отдельно, так и с аммофосом и аммиачной селитрой.

3. Применение фосфогипса как отдельно, так и совместно с удобрениями повышает численность почвенных микроорганизмов.

4. Урожайность озимой пшеницы сорта «Таня» и экономическая эффективность ее выращивания возрастает при применении фосфогипса и особенно фосфогипса совместно с аммофосом и аммиачной селитрой, но качество получаемой продукции остается неизменным.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований апробированы в СПК колхозе «Родина» Красногвардейского района на площади в 727 га. В результате апробации урожайность озимой пшеницы выросла от 24 до 32 %.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались ежегодно (2016–2021 гг.) на конференциях Ставропольского ГАУ, конференции «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах» (4–5 октября 2018 г.), Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета имени

И. Т. Трубилина (2019), Сборнике научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ (2018).

Объём и структура работы. Общий объём работы составляет 162 страницы текста, включает введение, семь глав, заключение, предложения производству, список литературы и приложение. Приведено 10 таблиц, 42 рисунка и 9 приложений. Список используемой литературы включает 158 источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе представлен обзор литературы, касающейся вопросов применения фосфогипса и серосодержащих удобрений в практике выращивания сельскохозяйственных культур. Приведены основные параметры изменения состава, свойств, агрохимических показателей почв, а также урожайности и качества сельскохозяйственных культур в результате внесения фосфогипса и удобрений.

2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Климат исследуемой территории континентальный, жаркий, неустойчивый. ГТК 0,7–0,9, среднегодовая температура 10,4 °С. Лето сухое и жаркое. Сумма активных температур 3200–3500 °С, среднегодовое количество осадков в пределах 472 мм, за вегетационный период выпадает 275 мм. На территории чернозема южного преобладает разнотравно-злаковая и бобово-разнотравно-злаковая ассоциация целинных трав. Почвообразующей породой является лессовидный суглинок.

Анализируя погодные условия, можно прийти к выводу, что температура воздуха по годам исследований в целом превосходила температурные показатели среднемноголетних наблюдений. При среднегодовых температурах, равных 10,5 °С, наибольшее их превышение было в 2015 году (+1,6 °С), а наименьшее в 2016 году – +0,8 °С.

По количеству выпадающих осадков можно отметить, что 2015 год был близок к климатической норме. В 2016 году выпало 792 мм осадков, что составило 147 % к среднемноголетним показателям. Аналогичные показатели были и в 2017 году. Таким образом, погодные условия для всех культур опыта (гороха в 2015 году и пшеницы 2016 и 2017 годов) можно считать благоприятными и относительно оптимальными для данной зоны.

Объектом исследований являлся чернозём южный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссовидных суглинках. Опыт заложен в соответствии с общепринятой методикой, размещение вариантов рендомизированное, повторность трёхкратная по сле-

дующей схеме: 1. Контроль, 2. Сульфоаммофос – 150 кг/га ($N_{30} P_{30} S_{21}$), 3. Сульфоаммофос – 250 кг/га ($N_{50} P_{50} S_{35}$), 4. Фосфогипс – 3 т/га, 5. Фосфогипс – 6 т/га, 6. Фосфогипс – 12 т/га, 7. Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га (N42 P36), 8. Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га (N42 P36), 9. Фосфогипс – 12 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га (N42 P36), 10. Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га (N42 P36). Размер делянок 3×20 м, учетная площадь 2×18 м.

В первый год исследований высевался горох, во второй и третий год – озимая пшеница сорта «Таня». Таким образом, исследовалось звено севооборота: горох – озимая пшеница – озимая пшеница. В первый год схема опыта имела несколько другой вид: вместо 100 кг/га вносили под горох всего 20 кг/га селитры как стартовую дозу перед посевом.

Фосфогипс является продуктом химической флотации апатитового концентрата. Его получают путем орошения апатита серной кислотой. При этом полученная фосфорная кислота идет на приготовление фосфорных удобрений, а гипс – в отвал. Он содержит в среднем 20–22 % Са, 1,4 % Mg; 1,4–2,0 % P_2O_5 ; 20,2 % S; 0,17–0,20 % F; 0,1 % В; 1 % Mn; 0,01 % Cu; 0,05 % Zn; 0,03 % Co; 0,05 % Mo.

Фосфогипс вносили в два приёма. Вначале половину от применяемой дозы, затем лушение на глубину 12–14 см с последующей вспашкой. После этого вносили вторую половину дозы с последующим дискованием. Таким образом, добивались полной перемешиваемости фосфогипса с почвой. Сульфоаммофос и аммофос вносили при посеве, аммиачную селитру в весеннюю подкормку.

Применение аммофоса в дозе 70 кг/га при посеве и аммиачной селитры в дозе 100 кг/га в ранне-весеннюю подкормку является традиционным для хозяйства и соответствует агрохимическим расчётам.

Полевые и лабораторные исследования производились в течение вегетации гороха и озимой пшеницы. При проведении исследований применялись следующие методики: определение нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26951–86); определение подвижных форм фосфора – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91); содержание обменного калия – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91); определение подвижных форм серы – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26490–85); определение подвижного бора – атомно-абсорбционным методом; определение подвижных соединений марганца – по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50685–94); определение подвижных соединений цинка – по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50686–94); определение подвижных соединений меди и кобальта – по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50683–94); определение подвижного молибдена – атомно-абсорбционным методом; содержание гу-

муса – по И. В. Тюрину в модификации Симакова (ГОСТ 26213–91); определение рН водной суспензии – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423–85); влажность почвы – термовесовым методом (ГОСТ 5180–84); измерение температуры почвы – метеорологическим термометром testo 905–T1. Количество почвенных микроорганизмов определяли на твердых селективных питательных средах: аммонификаторов – на мясопептонном агаре (МПА); нитрификаторов и других микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); микромицетов – на среде Чапека – Докса; целлюлозолитиков – на среде Гетчинсона; аэробных азотфиксаторов – на среде Эшби.

Урожайность сельскохозяйственных культур определяли методом прямого комбайнирования. Математическая обработка результатов исследований проведена с использованием дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (2011).

3. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЧЕРНОЗЁМЕ ЮЖНОМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ФОСФОГИПСА

В первый год исследований высевался горох. Аммиачную селитру вносили перед посевом в стартовой дозе – 20 кг д. в/га.

Как показали результаты анализов (Таблица 1), количество нитратного азота при применении сульфаммофоса в дозах 150 и 250 кг/га возросло по сравнению с контролем незначительно (на 3,3–5,3 мг/кг соответственно), но достоверно. Внесение фосфогипса в чистом виде в дозе 3 т/га не оказало влияния на изучаемый показатель. Применение мелиоранта в дозе 6 и особенно 12 т/га повысило содержание нитратов почти в 2 раза.

Наибольшее содержание нитратного азота наблюдалось на вариантах совместного применения фосфогипса с аммофосом и аммиачной селитрой. Причем различия в дозе мелиоранта не имели столь существенного влияния на исследуемую величину (22,4–25,9 мг/кг). Следовательно, в первый год исследований на содержание этого элемента питания большее влияние оказывает применение аммиачной селитры, чем фосфогипса.

Отдельное применение аммофоса и аммиачной селитры обеспечило содержание нитратного азота на уровне 22,0 мг/кг, что всего на 2,9 мг/кг ниже, чем на варианте с применением удобрений и 12 т/га мелиоранта.

Исследования под озимой пшеницей, проведённые в 2016 году, показали аналогичную закономерность (Таблица 1). Применение фосфогипса и удобрений ещё в большей степени оказало влияние на содержание данного элемента питания по сравнению с 2015 годом.

Меньше всего нитратного азота было на контроле (9,0 мг/кг), незначительно увеличивалось при применении сульфаммофоса (на 3,4 и 4,6 мг/кг) и фосфогипса в различных дозах. При совместном внесении

мелиоранта и удобрений возрастание по сравнению с контролем составило 12,3–13,4 мг/кг. Отдельное внесение аммофоса и аммиачной селитры привело к повышению содержания нитратного азота по сравнению с контролем на 9,8 мг/кг. Следовательно, фосфогипс уже оказывает влияние на содержание изучаемого элемента питания как совместно с удобрениями, так и отдельно.

Различия в содержании нитратного азота в 2017 году по вариантам опыта аналогичны 2016 и 2015 годам.

Содержание подвижного фосфора под горохом на контроле составляло 19,6 мг/кг и увеличивалось при внесении сульфоаммофоса в дозах 150 и 250 кг/га на 6,2 и 7,0 мг/кг (Таблица 1). Применение фосфогипса привело к возрастанию содержания подвижного фосфора в зависимости от дозы внесения. Применение 12 т/га обеспечивало увеличение – до 28,3 мг/кг, что на 8,7 мг/кг выше, чем на контроле.

Значительное влияние на количество подвижного фосфора в почве оказало совместное применение фосфогипса с аммофосом и аммиачной селитрой. Так, при внесении 12 т/га мелиоранта совместно с аммофосом (70 кг/га) и аммиачной селитрой (20 кг/га) количество P_2O_5 составило 33,8 мг/кг, что выше контроля на 14,2 мг/кг. К тому же почвы по этому показателю перешли из разряда среднеобеспеченных в разряд с повышенной обеспеченностью.

В 2016 году содержание подвижного фосфора также наименьшим было на контроле и составляло 18,8 мг/кг (Таблица 1). Сходные с 2015 годом значения получены при применении сульфоаммофоса и фосфогипса, а также аммофоса с аммиачной селитрой. Наиболее высокие значения изучаемой величины обнаружены при совместном внесении фосфогипса, аммофоса и аммиачной селитры (от 13,5 до 17,0 мг/кг). Изменение в содержании подвижного фосфора в 2017 году в целом было аналогичным 2016 году (Таблица 1).

При исследовании содержания обменного калия как под горохом, так и под озимой пшеницей не было выявлено существенных различий между вариантами опыта (Таблица 1). Значения изучаемой величины находились в пределах 324–336 мг/кг, и почвы классифицируются как повышеннообеспеченные по этому показателю.

При применении серосодержащих удобрений и фосфогипса нас в большей степени интересует содержание подвижной серы. Почвы по этому показателю классифицируются как низкообеспеченные. Как показали исследования в 2015 году под горохом на контроле содержание серы было самым низким и составляло 3,5 мг/кг (Таблица 1). При внесении сульфоаммофоса наблюдалось возрастание изучаемой величины на 2,8–3,7 мг/кг и почвы переходили из низкообеспеченных в разряд среднеобеспеченных по этому элементу питания. Применение фосфогипса в первый год только в дозе 12 т/га способствовало повышению исследуемого показателя до средней обеспеченности.

Таблица 1 – Содержание нитратного азота, подвижных фосфора и калия в чернозёме южном по годам исследований в фазу цветения гороха и озимой пшеницы в зависимости от внесения фосфогипса и удобрений

№	Вариант опыта	2015 (горох)				2016 (озимая пшеница)				2017 (озимая пшеница)			
		NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	Контроль	9,2	19,6	331	3,5	9,0	18,8	320	4,3	6,6	20,9	329	3,3
2	Сульфоаммофос – 150 кг/га	12,5	25,8	324	6,3	12,4	23,4	329	6,4	9,6	27,9	323	7,4
3	Сульфоаммофос – 250 кг/га	14,5	26,6	330	7,2	13,6	23,9	327	6,7	11,6	28,1	326	8,7
4	Фосфогипс – 3 т/га	11,7	25,3	333	5,2	12,9	22,0	325	6,5	7,7	24,6	327	6,5
5	Фосфогипс – 6 т/га	14,8	27,5	327	5,9	14,4	24,1	323	7,6	8,2	25,7	328	7,6
6	Фосфогипс – 12 т/га	17,9	28,3	324	6,2	14,8	24,6	325	9,9	8,4	26,3	328	7,9
7	Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	22,4	29,4	337	7,0	21,3	32,3	328	11,9	17,5	30,1	327	8,9
8	Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	24,5	30,7	322	8,5	22,4	33,7	322	12,5	17,7	30,9	317	10,5
9	Фосфогипс – 12 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	25,9	33,8	325	8,7	21,9	35,8	324	13,9	19,6	31,1	321	12,9
10	Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	23,0	27,2	336	4,5	18,8	25,6	317	5,1	16,6	27,0	322	5,4
	НСР 05 мг/кг	1,4	2,2	11,2	1,3	1,8	2,0	10,8	1,2	2,1	2,5	9,6	1,4

При совместном применении фосфогипса и удобрений содержание серы было наиболее высоким и особенно на варианте с максимальным внесением мелиоранта в 12 т/га. Увеличение по сравнению с контролем составило 5,2 мг/кг. Отдельное применение аммофоса и аммиачной селитры не оказало существенного влияния на исследуемую величину.

Исследования, проведённые в 2016 году под озимой пшеницей, выявили аналогичную тенденцию в отношении сульфоаммофоса. При внесении фосфогипса в дозах 3; 6 и 12 т/га содержание подвижной серы увеличилось на 2,2; 3,3 и 5,6 мг/кг соответственно и почвы из разряда низкообеспеченных переходят в разряд среднеобеспеченных по этому элементу питания. Наибольшее увеличение в содержании серы наблюдалось при совместном внесении мелиоранта и удобрений и особенно на 9-м варианте при внесении фосфогипса – 12 т/га, аммофоса – 70 кг/га и аммиачной селитры – 100 кг/га и составило 13,9 мг/кг, что выше контроля в 3,2 раза. Это связано, прежде всего, с постепенным растворением мелиоранта, поступлением сульфатов в почвенный раствор и в ППК.

Как показали исследования, проведенные в 2017 году, изменения в содержании подвижной серы аналогичны 2016 году. Можно только отметить, что при внесении 150 кг/га сульфоаммофоса почва по обеспеченности этим элементом питания остаётся на низком уровне. Стоит обратить внимание и на тот факт, что разница между 7-м, 8-м и 9-м вариантами обусловлена дозой внесения фосфогипса. Следовательно, при совместном внесении фосфогипса и удобрений доза мелиоранта имеет решающее значение в содержании этого элемента питания.

Нами были произведены исследования по содержанию микроэлементов в почве в фазу цветения озимой пшеницы как в 2016, так и в 2017 году. Анализ лабораторных исследований указал на отсутствие различий по двум годам наблюдений. Поэтому мы приводим материал в среднем за 2016–2017 годы.

Как показали исследования, содержание бора в среднем за 2016–2017 годы на всех вариантах опыта классифицируется как высокое (Таблица 2). На большинстве вариантов содержание этого элемента питания не претерпевает существенных изменений, за исключением вариантов, где применялся фосфогипс в дозах 6 и 12 т/га как отдельно, так и совместно с удобрениями. Вероятно, это происходит за счет его относительно высокого содержания в мелиоранте (0,1 %).

В содержании подвижного марганца изменения были схожими с изменениями подвижного бора. В результате применения фосфогипса как отдельно, так и совместно с удобрениями почвы переходили из низкой в среднюю обеспеченность по этому микроэлементу. Следовательно, увеличение в содержании подвижного марганца определяется дозой внесения мелиоранта и не зависит от внесения удобрений. Это объясняется высоким валовым содержанием марганца в фосфогипсе (1 %).

Значимого влияния на содержание подвижной меди применение фосфогипса и удобрений не оказывает. Наблюдается только математически достоверное увеличение количества этого элемента на вариантах с отдельным применением фосфогипса в дозе 12 т/га и совместного внесения с удобрениями в дозах 6 и 12 т/га.

Обеспеченность почв подвижным цинком низкая и на контроле составляет 0,47 мг/кг. Применение сульфоаммофоса и аммофоса с аммиачной селитрой не оказало влияния на исследуемый показатель. Применение фосфогипса в дозах 3, 6 и 12 т/га привело к увеличению содержания цинка на 0,05; 0,10 и 0,11 мг/кг соответственно. Внесение фосфогипса в дозе 6 и 12 т/га совместно с удобрениями привело к увеличению искомого значения до показателей, соответствующих вариантам с отдельным внесением мелиоранта. Следовательно, увеличение содержания этого микроэлемента контролирует фосфогипс, в котором его количество составляет более 0,05 %.

Обеспеченность почв подвижным кобальтом низкая и на контроле составляет 0,051 мг/кг (Таблица 2).

Таблица 2 – Содержание подвижных форм микроэлементов по вариантам опыта в чернозёме южном в фазу цветения озимой пшеницы в среднем за 2016–2017 гг., мг/кг

№	№ варианта	B	Mn	Cu	Zn	Co	Mo
1	Контроль	2,33	9,84	0,14	0,47	0,051	0,053
2	Сульфоаммофос – 150 кг/га	2,37	9,79	0,15	0,48	0,055	0,052
3	Сульфоаммофос – 250 кг/га	2,36	9,84	0,14	0,49	0,057	0,055
4	Фосфогипс – 3 т/га	2,36	9,92	0,15	0,52	0,068	0,063
5	Фосфогипс – 6 т/га	2,43	10,7	0,15	0,57	0,070	0,077
6	Фосфогипс – 12 т/га	2,57	12,5	0,16	0,58	0,077	0,084
7	Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,38	10,7	0,15	0,54	0,065	0,066
8	Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,44	11,2	0,16	0,55	0,069	0,078
9	Фосфогипс – 12 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,59	12,8	0,17	0,58	0,079	0,088
10	Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,35	9,80	0,15	0,45	0,056	0,062
	НСП ₀₅ , мг/кг	0,08	0,12	0,013	0,031	0,0033	0,0024

Применение сульфоаммофоса и аммофоса с аммиачной селитрой не достоверно увеличивало исследуемый показатель. Внесение фосфогипса в дозе 3 т/га повышало содержание кобальта на 0,017 мг/кг выше контрольного. При внесении 6 и 12 т/га мелиоранта увеличение составило 0,019 и 0,26 мг/кг соответственно. Наиболее высокие показатели отмечены при внесении 12 т/га фосфогипса совместно с удобрениями (превышение 0,026 мг/кг). Увеличение исследуемого показателя также обусловлено внесением мелиоранта. При изучении содержания подвижного молибдена выявили закономерность, аналогичную подвижному кобальту и цинку.

Таким образом, увеличение в содержании микроэлементов в чернозёме южном происходит в основном за счет внесения фосфогипса. Внесение удобрений не оказывает значительного или какого-либо влияния на исследуемые показатели.

4. СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА И УДОБРЕНИЙ

Отбор растительных образцов для анализа осуществляли в фазы выхода в трубку и цветения озимой пшеницы. Содержание азота в растениях озимой пшеницы в фазу выхода её в трубку более низкое на контроле и составило 4,65 мг/кг (Таблица 3). При внесении сульфоаммофоса в дозах 150 и 250 кг/га наблюдалось достоверное увеличение исследуемого показателя на 0,5 и 0,7 мг/кг соответственно, а применение фосфогипса в дозах 3; 6 и 12 т/га на 0,35; 0,65 и 0,88 мг/кг соответственно.

Наиболее существенное повышение содержания азота в листьях озимой пшеницы произошло при совместном внесении фосфогипса с аммофосом и аммиачной селитрой при максимальных значениях на 9-м варианте и составило 6,5 мг/кг, что на 1,85 мг/кг выше контрольного. В фазу цветения происходит общее снижение содержания азота, исчезает значительная разница между вариантами при сохранении ранее выявленной тенденции.

При определении содержания фосфора выявили аналогию с изменениями количества азота (Таблица 3). Также более значительный результат получен при совместном внесении мелиоранта и удобрений. Таким образом, на содержание фосфора в породе накладывается его содержание в удобрении, и получаемый эффект более значительный.

Как видно из приведённых данных, в содержании бора не было значительных различий между вариантами опыта.

Таблица 3 – Содержание азота и фосфора в озимой пшенице по фазам ее развития в среднем за 2016–2017 гг., %

№ п/п	Вариант опыта	Фаза выхода в трубку		Фаза цветения	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1	Контроль	4,65	0,47	3,23	0,33
2	Сульфоаммофос – 150 кг/га	5,15	0,52	3,34	0,34
3	Сульфоаммофос – 250 кг/га	5,35	0,54	3,39	0,35
4	Фосфогипс – 3 т/га	5,00	0,52	3,42	0,35
5	Фосфогипс – 6 т/га	5,30	0,54	3,41	0,36
6	Фосфогипс – 12 т/га	5,57	0,57	3,46	0,38
7	Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	6,16	0,59	3,60	0,36
8	Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	6,29	0,63	3,65	0,39
9	Фосфогипс – 12т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	6,50	0,68	3,60	0,41
10	Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	6,03	0,58	3,47	0,37
	НСР ₀₅ мг/кг	0,35	0,033	0,26	0,021

При определении содержания марганца установлено, что на контроле его количество составляет 42,4 мг/кг (Таблица 4). Внесение сульфоаммофоса не повлияло на данный показатель. При внесении фосфогипса в дозе 6 и 12 т/га наблюдали достоверное повышение содержания марганца на 3,4 и 7,1 мг/кг соответственно. При внесении фосфогипса совместно с аммофосом и аммиачной селитрой эффект был на уровне отдельного внесения мелиоранта.

Следовательно, увеличение содержания подвижного марганца контролируется только внесением фосфогипса и не зависит от дозы и вида удобрений. Это согласуется с данными почвенных исследований и количества этого микроэлемента в мелиоранте (1 %).

Исследования содержания меди указали на отсутствие достоверных различий между вариантами опыта (Таблица 4). Исключение составляет только вариант с внесением фосфогипса в дозе 12 т/га как отдельно, так и совместно с удобрениями. Следовательно, и в этом случае мелиорант оказывает определяющее влияние, но только в максимальной дозе.

Таблица 4 – Содержание микроэлементов в озимой пшенице в фазу цветения, мг/кг (в среднем за 2016–2017 гг.)

№	Вариант опыта	Фаза выхода в трубку					
		B	Mn	Cu	Zn	Co	Mo
1	Контроль	2,35	42,4	1,72	9,2	0,24	0,18
2	Сульфоаммофос – 150 кг/га	2,36	42,0	1,79	9,6	0,26	0,19
3	Сульфоаммофос – 250 кг/га	2,34	42,5	1,82	9,5	0,26	0,19
4	Фосфогипс – 3 т/га	2,35	43,2	1,81	9,6	0,25	0,20
5	Фосфогипс – 6 т/га	2,30	45,8	1,83	9,8	0,28	0,23
6	Фосфогипс – 12 т/га	2,43	49,5	1,85	9,8	0,30	0,27
7	Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,35	44,1	1,82	9,6	0,25	0,22
8	Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,37	45,5	1,83	9,8	0,28	0,24
9	Фосфогипс – 12 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,43	50,3	1,85	10,2	0,30	0,29
10	Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 100 кг/га	2,38	42,8	1,77	9,6	0,25	0,21

Аналогичная картина с медью наблюдается и в содержании цинка. Разница состоит лишь только в том, что достоверные отличия наблюдаются не только на варианте с применением 12, но и 6 т/га фосфогипса.

При исследовании содержания кобальта и молибдена в растениях озимой пшеницы обнаружена тенденция, свойственная для содержания цинка (Таблица 4). Только отдельное или совместное с удобрениями внесение фосфогипса в дозах 6 и 12 т/га приводит к достоверным изменениям в изучаемых показателях. Следовательно, и в повышении содержания кобальта и молибдена имеет значение применяемый мелиорант и не имеют влияния вносимые удобрения.

Необходимо отметить, что уровень содержания меди, цинка, кобальта и молибдена в растениях в этот период можно считать низким, но признаков голодания озимой пшеницы по этим микроэлементам, не обнаружено. Следовательно, классификация степени обеспеченности почв и уровня содержания элементов питания в растениях нуждаются в корректировке.

5. ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЧЕРНОЗЁМЕ ЮЖНОМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА И УДОБРЕНИЙ

В результате проведённых исследований выявлено, что численность аммонификаторов в 2016 году была наименьшей на контроле и составляла 78,8 млн КОЕ/г (Таблица 5). Применение сульфоаммофоса в дозе 150 и 250 кг/га увеличило исследуемый показатель на 41,3 и 53,0 млн КОЕ/г соответственно. Применение фосфогипса привело к аналогичному результату при незначительной разнице между различными дозами.

Наибольшее увеличение численности микроорганизмов, использующих органические формы азота, отмечено при совместном внесении фосфогипса с минеральными удобрениями и особенно в дозе 12 т/га (на 123,4 млн КОЕ/г, или в 2,5 раза). На варианте с применением аммофоса и аммиачной селитры эффект был на уровне сульфоаммофоса.

Анализ данных, полученных в 2017 году, свидетельствует о сохранении выявленных изменений между вариантами опыта в 2016 году (Таблица 5). Можно лишь отметить, что количество аммонификаторов было несколько ниже по сравнению с предыдущим годом.

В тесной метабиотической взаимосвязи с аммонификаторами находятся нитрификаторы. По этой причине изменения в численности микроорганизмов, преобразующих минеральные формы азота по вариантам опыта, аналогичны изменениям численности аммонификаторов (Таблица 5).

В численности аэробных азотфиксаторов рода *Azotobacter* картина несколько иная. Значительного изменения их количества по вариантам опыта не наблюдается (Таблица 5). Только внесение фосфогипса в дозе 12 т/га отдельно и совместно с удобрениями оказало существенное влияние на исследуемый показатель как в 2016, так и в 2017 году.

Численность грибов в 2016 году наименьшая на контроле (110,6 тыс. КОЕ/г). Применение сульфоаммофоса и аммофоса с аммиачной селитрой не привело к достоверному изменению исследуемой величины (Таблица 5). Внесение фосфогипса существенно увеличивало исследуемый показатель (на 36–48 тыс. КОЕ/г) при незначительной разнице между применяемыми дозами. При совместном внесении фосфогипса и особенно 12 т/га с удобрениями количество грибов возрастает в 1,7 раза с контролем. Следовательно, на численность микоты первостепенное влияние оказывает применение фосфогипса. Это подтверждается и исследованиями 2017 года.

Среди целлюлозоразрушающих микроорганизмов количественные изменения в целом аналогичны изменениям в грибной микрофлоре, но с некоторыми особенностями (Таблица 5), которые связаны с их большей численностью и разницей между вариантами исследований. На наш взгляд, возрастание количества целлюлозолитиков происходит за счёт оптимизации азотного, фосфорного питания и содержания подвижной серы.

Таблица 5 – Количество различных физиологических групп микроорганизмов в фазу цветения озимой пшеницы в 2016 и 2017 гг.

№ п/п	Вариант	Аммонифи- каторы, млн КОЕ/1г		Нитрифика- торы, млн КОЕ/1г		Грибы, тыс. КОЕ/1г		Целлюлозораз- рушающие, тыс. КОЕ/1г		Азотфика- торы, тыс. КОЕ/1г	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
1	Контроль	78,8	56,6	59,4	48,0	112	80	245	233	62,9	68
2	N ₃₀ P ₃₀ S ₂₁	120,1	90,3	66,4	52,4	120	86	259	251	66,4	72
3	N ₅₀ P ₅₀ S ₃₅	131,8	102,4	76,2	59,8	105	95	298	316	74,8	77
4	Фосфогипс – 3 т/га	137,0	109,6	92,2	69,3	154	122	324	332	62,9	82
5	Фосфогипс – 6 т/га	147,1	112,2	135,9	91,4	160	134	336	351	67,8	84
6	Фосфогипс – 12 т/га	150,0	121,1	149,0	111,6	163	157	364	387	77,5	96
7	Фосфогипс – 3 т/га + N ₄₂ P ₃₆	172,6	136,0	153,3	126,7	167	158	388	408	83,9	104
8	Фосфогипс – 6 т/га + N ₄₂ P ₃₆	191,3	144,8	176,2	140,4	174	162	478	488	88,9	114
9	Фосфогипс – 12 т/га + N ₄₂ P ₃₆	202,2	165,5	192,8	158,0	191	178	502	680	93,0	155
10	N ₄₂ P ₃₆	127,8	100,9	103,6	92,1	155	113	288	301	75,5	80
	НСР ₀₅	18,3	–	14,4	–	9,3	9,8	16,3	15,7	11,2	9,4

В 2017 году получены аналогичные 2016 году данные, но с увеличением количества исследуемой группы микроорганизмов по вариантам опыта в 1,5–2 раза. Виной тому значительно большее количество поступивших на почву растительных остатков с урожаем.

Таким образом, внесение сульфоаммофоса, аммофоса и аммиачной селитры способствует увеличению численности различных физиологических групп микроорганизмов, но не всегда достоверному. Наиболее высокие значения исследуемых показателей по сравнению с контролем были достигнуты в результате внесения фосфогипса и особенно совместного применения фосфогипса – 12 т/га, аммофоса – 70 кг/га и аммиачной селитры – 100 кг/га. Наиболее отзывчивы на внесение фосфогипса и минеральных удобрений микроорганизмы, преобразующие минеральные и органические соединения азота.

6. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В изучаемом звене севооборота горох является первой культурой и хорошим предшественником для озимой пшеницы. Учёт урожайности этой культуры показал, что наименьшей она была на контроле и составляла 2,54 т/га (Таблица 6). Применение сульфоаммофоса в дозе 150 кг/га достоверно увеличивало исследуемый показатель на 14,9 %, а в дозе 250 кг/га на 22,0 %.

Применение фосфогипса в дозе 3, 6 и 12 т/га в первый год действия увеличило урожай на 16,5; 25,2 и 29,9 % соответственно. Наиболее высокая прибавка урожая была получена от совместного внесения фосфогипса и удобрений. На варианте с применением 3; 6 и 12 т/га фосфогипса с удобрениями урожайность гороха возросла на 36,2; 41,7 и 46 % соответственно, а при внесении аммофоса и аммиачной селитры на 24,4 %.

Урожайность озимой пшеницы в 2016 году также наименьшей была на контроле – 5,36 т/га (Таблица 6), возрастала в результате применения сульфоаммофоса на 23,3 %. Применение более высокой дозы удобрения не оказало существенного влияния на урожайность культуры. Внесение фосфогипса в дозе 3; 6 и 12 т/га увеличило сбор зерна озимой пшеницы на 21,4; 27,2 и 34,1 % соответственно, а при совмещении с удобрениями на 34,5; 39,9 и 46,6 % соответственно. Данный результат оказался несколько нелогичным, так как раздельное применение мелиоранта не оказывает столь существенного влияния на продуктивность пшеницы, а его совместное применение с одинаковыми дозами минеральных удобрений в значительной степени повышает искомый показатель в зависимости от дозы фосфогипса.

Таблица 6 – Урожайность гороха и озимой пшеницы по годам исследований

№ п/п	Вариант	Горох			Озимая пшеница, 2016			Озимая пшеница, 2017		
		Урожай- ность, т/га	Прибавка т/га	%	Урожай- ность, т/га	Прибавка т/га	%	Урожай- ность, т/га	Прибавка т/га	%
1	Контроль	2,54	–	–	5,36	–	–	5,25	–	–
2	Сульфаммофос – 150 кг/га	2,92	0,38	14,9	6,61	1,25	23,3	5,95	0,70	13,3
3	Сульфаммофос – 250 кг/га	3,10	0,56	22,0	6,63	1,27	23,7	6,11	0,86	16,4
4	Фосфогипс – 3 т/га	2,96	0,42	16,5	6,52	1,16	21,4	5,83	0,58	11,0
5	Фосфогипс – 6 т/га	3,18	0,64	25,2	6,82	1,46	27,2	6,28	1,03	19,6
6	Фосфогипс – 12 т/га	3,30	0,76	29,9	7,19	1,83	34,1	6,55	1,30	24,8
7	Фосфогипс – 3 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 20 кг/га	3,46	0,92	36,2	7,21	1,85	34,5	7,22	1,97	37,5
8	Фосфогипс – 6 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 20 кг/га	3,60	1,06	41,7	7,50	2,14	39,9	7,44	2,19	41,7
9	Фосфогипс – 12 т/га + аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 20 кг/га	3,71	1,2	46,0	7,86	2,50	46,6	7,80	2,55	48,6
10	Аммофос – 70 кг/га + аммиачная селитра – 20 кг/га	3,16	0,62	24,4	7,18	1,82	33,9	6,75	1,5	28,6
	НСР ₀₅ т/га	0,14	–	–	–	0,15	–	–	0,21	–
	Sx %	4,0	–	–	–	3,1	–	–	3,3	–

При учёте урожайности озимой пшеницы в 2017 году выявлено, что наименьшей она была на контроле и составляла 5,25 т/га (Таблица 6). Внесение сульфаммофоса в различных дозах позволило увеличить данный показатель на 13,3 и 16,4 % при недостоверной разнице с контролем. Применение фосфогипса неожиданно дало почти сходный эффект с сульфаммофосом. Урожайность возрастала на 11–24 % при разнице между дозами внесения. Следовательно, эффективность мелиоранта имеет тенденцию к возрастанию и будет выражаться в длительности последующего действия, которая зависит от дозы.

Эффект от внесения аммофоса и аммиачной селитры был на уровне от внесения фосфогипса в дозе 12 т/га.

Наибольшее увеличение урожайности наблюдалось от совместного внесения фосфогипса и удобрений. Причем возрастание было пропорционально дозе внесения мелиоранта при максимальных значениях на 9-м варианте (увеличение на 48,6 % по сравнению с контролем). Таким образом, при раздельном применении различных доз фосфогипса значительной разницы в урожайности озимой пшеницы не наблюдается. При его совместном внесении с минеральными удобрениями отмечены различия между вариантами, в зависимости от дозы внесения мелиоранта. Полученное увеличение урожайности оказалось несколько неожиданным. По всей видимости, это происходит за счёт увеличения содержания в почве нитратного азота, подвижных фосфора и серы на этих вариантах опыта. Установленный эффект может быть обусловлен и за счёт увеличения в содержании микроэлементов, которыми богат данный мелиорант.

При анализе качества гороха выявили, что масса 1000 семян была наименьшей на контроле и составляла 220 г. По вариантам опыта происходило незначительное, но достоверное увеличение этого показателя. Аналогичная ситуация прослеживается и в содержании белка. На контроле данный показатель наименьший и составляет 25,5 %. При внесении удобрений и удобрений с фосфогипсом происходит увеличение содержания белка с в среднем на 0,8–1,6 %. При отдельном внесении фосфогипса достоверного увеличения изучаемого показателя не обнаружено. При анализе содержания крахмала не выявлено разницы между вариантами опыта.

Анализ качества зерна озимой пшеницы дал совершенно неожиданный результат (Таблица 7). Принято считать, что на почвах, бедных по содержанию подвижной серы, применение серосодержащих удобрений или внесение серы с другими веществами неизбежно должно привести к повышению качества зерна озимой пшеницы.

Таблица 7 – Качество зерна озимой пшеницы в 2016 и в 2017 годах

№	Вариант опыта	2016			2017		
		Нату- ра	Содер- жание бел- ка, %	Содер- жание клей- кови- ны, %	Нату- ра	Содер- жание бел- ка, %	Содер- жание клей- кови- ны, %
1	Контроль	730	13,9	22,1	743	13,3	20,0
2	N ₃₀ P ₃₀ S ₂₁	775	13,5	21,6	752	13,5	19,6
3	N ₅₀ P ₅₀ S ₃₅	763	13,6	21,9	757	13,4	19,8
4	Фосфогипс – 3 т/га	767	13,2	21,3	760	13,4	19,3
5	Фосфогипс – 6 т/га	770	13,7	21,9	758	13,5	19,7
6	Фосфогипс – 12 т/га	775	13,3	21,7	758	13,4	19,5
7	Фосфогипс – 3 т/га + N ₄₂ P ₃₆	770	13,4	21,6	754	13,4	20,2
8	Фосфогипс – 6 т/га + + N ₄₂ P ₃₆	770	13,3	21,9	751	13,5	19,9
9	Фосфогипс – 12 т/га + + N ₄₂ P ₃₆	770	13,7	22,0	753	13,5	19,6
10	N ₄₂ P ₃₆	757	13,7	22,0	754	13,4	19,8
	HCP ₀₅ т/га	12,3	0,5	0,8	11,4	0,4	0,7
	Sx %	2,4	2,1	3,0	2,8	2,2	3,1

Как показали исследования, этого явления не происходит (Цховребов В. С. и др., 2018). Применение изучаемых удобрений и фосфогипса как совместно, так и отдельно не повлияло на основные показатели качества получаемой продукции. Содержание белка по вариантам опыта в оба года исследований колебалось в пределах 13,2–13,9 %, а клейковины в пределах 21,3–22,1 %. Скорее всего это связано со спецификой высеваемого сорта пшеницы «Таня», который выведен как высокоурожайный, но направленный на получение продукции невысокого качества. Возможно, другой сорт, селекция которого направлена на получение урожая высокого качества, был бы отзывчив на внесение серосодержащих удобрений и имел бы другие показатели качества.

7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА И УДОБРЕНИЙ

При расчете экономической эффективности выращивания гороха (Таблица 8), учитывая трехлетний период исследований звена севообо-

рота, выявили, что на контроле при более низкой урожайности культуры более низкая прибыль (25897 руб/га) при уровне рентабельности 73,9 %.

Применение сульфоаммофоса в дозах 150 и 250 кг/га увеличило исследуемый показатель на 4011 и 5297 руб/га. Уровень рентабельности при этом изменяется слабо. Применение фосфогипса в различных дозах не повлияло значительным образом на исследуемые показатели в сравнении с сульфоаммофосом. Но уровень рентабельности снижается с увеличением дозы мелиоранта и на варианте с применением 12 т/га составляет 51,3 %, что на 22,6 % меньше, чем на контроле. В первый год действия фосфогипса на себестоимость продукции оказывает сильное влияние его цена и стоимость внесения.

Аналогичным образом изменяется себестоимость, прибыль и уровень рентабельности при применении различных доз фосфогипса совместно с удобрениями.

При выращивании озимой пшеницы во второй год последействия себестоимость продукции на контроле составила 5822 руб/га. И это не самый высокий показатель (Таблица 8). Себестоимость выше контрольного на вариантах с применением сульфоаммофоса 250 кг/га, фосфогипса 12 т/га и фосфогипса в различных дозах совместно с удобрениями. Но прибыль, полученная на всех вариантах, выше, чем на контроле. Следовательно, только на второй год начинает проявляться действие мелиоранта.

В 2017 году на третий год последействия прослеживается более активное действие фосфогипса (Таблица 8). Себестоимость продукции была или на уровне 2-го года, или ниже вариантов с применением фосфогипса. А внесение сульфоаммофоса в дозе 250 кг/га определило себестоимость продукции в 6458 руб/т, что на 341 руб/га выше, чем на варианте с применением 150 кг/га, и на 584 руб/т, чем на контроле.

Тем не менее наименьшая прибыль была получена на контроле и составила 47 911,3 руб/га. Увеличение данного показателя наименее значительно на вариантах с применением сульфоаммофоса. Применение фосфогипса в дозах 3; 6 и 12 т/га уже дало почти сходный результат с сульфоаммофосом. Превышение исследуемого показателя по сравнению с контролем составило 3400; 5651 и 1566 руб/га соответственно. В результате внесения фосфогипса с удобрениями наблюдается значительное увеличение прибыли. Наибольшим данный показатель был на вариантах с применением 3 и 6 т/га фосфогипса с удобрениями и выше контроля на 17 285,7 и 16 453,6 руб/га соответственно. На варианте внесения максимальной дозы мелиоранта (12 т/га) совместно с удобрениями при наиболее высокой урожайности прибыль была несколько ниже.

Таблица 8 – Экономическая эффективность производства гороха и озимой пшеницы в зависимости от применения фосфогипса и удобрений

№	Вариант	Горох, 2015				Озимая пшеница, 2016				Озимая пшеница, 2017			
		Уро- жай- ность, ц/га	Себе- стой- мость, руб/т	При- быль, руб/га	Уро- вень рента- бель- ности, %	Уро- жай- ность, ц/га	Себе- стой- мость, руб/т	При- быль, руб/га	Уро- вень рента- бель- ности, %	Уро- жай- ность, ц/га	Себе- стой- мость, руб/т	При- быль, руб/га	Уро- вень рента- бель- ности, %
1	Контроль	2,54	13 804	25 897	73,9	53,6	5822	43 835	140,5	5,25	5874	47 911	155,4
2	Сульфаммофос 150 кг/га	2,92	13758	29 908	74,4	66,1	5611	55 453	149,5	5,95	6117	52 856	145,2
3	Сульфаммофос 250 кг/га	3,10	13 938	31 194	72,2	66,3	6011	52 965	132,9	6,11	6458	52 190	132,3
4	Фосфогипс 3 т/га	2,96	13 527	31 001	77,4	65,2	5226	57 201	167,8	5,83	6198	51 311	142,0
5	Фосфогипс 6 т/га	3,18	13 936	32 004	72,2	68,2	5204	59 984	169,0	6,28	6471	53 562	131,8
6	Фосфогипс 12 т/га	3,30	15 860	26 863	51,3	71,9	6851	51 402	104,4	6,55	7446	49 477	101,4
7	Фосфогипс 3 т/га + аммо- фос 70 кг/га + аммиачная селитра 20 кг/га	3,46	12 902	38 398	86,0	72,1	5977	57 844	134,2	7,22	5970	65 197	151,3
8	Фосфогипс 6 т/га + аммо- фос 70 кг/га + аммиачная селитра 20 кг/га	3,60	13 585	37 495	76,7	75,0	6304	57 719	122,1	7,44	6348	64 365	136,3
9	Фосфогипс 12 т/га + ам- мофос 70 кг/га + аммиач- ная селитра 20 кг/га	3,71	15 342	32 121	56,4	78,6	7059	54 556	98,3	7,80	7107	61 561	111,0
10	Аммофос 70 кг/га + ам- миачная селитра 20 кг/га	3,16	12 600	36 024	90,5	71,8	5359	62 046	161,3	6,75	5651	63 102	165,4

Если рассматривать уровень рентабельности, то он наибольшим был в результате применения аммофоса и селитры (165,4 %). Увеличение дозы сульфоаммофоса с 150 до 250 кг/га не увеличивало рентабельность. Наиболее низкий уровень рентабельности получен на варианте применения фосфогипса в дозе 12 т/га совместно с удобрениями и составил 111,0 %. Но надо помнить, что основным экономическим показателем является не уровень рентабельности, а прибыль, которая на всех вариантах опыта была выше контроля. И на данном варианте она слабо отличалась от наиболее благоприятных по данному показателю.

По исследованиям многих учёных, последствие применения фосфогипса в высоких дозах (Цховребов В. С. и др., 2022; Хаджинов Н. И., 1983; Шеуджен А. Х., 2016) сохраняется в течение 10–15 и более лет. Учитывая данный факт можно предположить, что в перспективе на 5, 10 и 15 лет неизбежно возрастёт прибыль и уровень рентабельности от применения фосфогипса как отдельно, так и совместно с удобрениями, и особенно на 9-м варианте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В звене севооборота «горох – озимая пшеница – озимая пшеница» в сезоне 2015–2016–2017 гг. применяли сульфоаммофос в дозах 150 и 250 кг/га, а также фосфогипс в дозах 3; 6 и 12 т/га как отдельно, так и совместно с удобрениями (аммофосом при посеве в дозе 70 кг/га и аммиачной селитрой в весеннюю подкормку в дозе 100 кг/га). Применение фосфогипса и удобрений в разной степени повлияло на исследуемые показатели, такие как содержание макро- и микроэлементов питания в почве и в растениях, количество различных физиологических групп микроорганизмов, урожайность сельскохозяйственных культур и их качество.

Количество нитратного азота в фазу цветения гороха и пшеницы наименее низким было на контроле (5–9 мг/кг), незначительно возрастало в результате применения сульфоаммофоса на 3–6, фосфогипса – на 3–8, аммофоса и селитры – на 10–13, фосфогипса с удобрениями – на 14–16 мг/кг.

Внесение азотных и фосфорных удобрений привело к увеличению содержания обменного фосфора на 5–7 мг/кг. В первый год действие фосфогипса было слабым и особой разницы между дозами его внесения не наблюдается. Во второй и третий год разница составляла от 4 до 6 мг/кг. Совместное применение мелиоранта с аммофосом и аммиачной селитрой выявило разницу с контролем в зависимости от дозы внесения от 10 до 15 мг/кг с максимальными значениями при внесении 12 т/га мелиоранта, где почвы по этому показателю перешли из разряда среднеобеспеченных в разряд с повышенной обеспеченностью.

Содержание подвижного калия не имело значительных различий между вариантами опыта. Содержание подвижной серы в результате применения сульфоаммофоса и фосфогипса возрастало в среднем на 2–5 мг/кг, при совместном внесении фосфогипса с аммофосом и аммиачной селитрой увеличивалось с возрастанием дозы мелиоранта на 7–9 мг/кг, и почвы переходили из разряда низкообеспеченных в средне- и повышенообеспеченные.

Содержание подвижного бора в среднем за 2016–2017 гг. на всех вариантах опыта классифицируется как высокое и не претерпевает существенных изменений между вариантами опыта, кроме вариантов, где применялся фосфогипс в дозах 6 и 12 т/га как отдельно, так и совместно с удобрениями. Разница с контролем – в пределах 0,11–0,26 мг/кг. В содержании подвижного марганца и меди изменения были схожими с изменениями подвижного бора, но почвы в результате применения фосфогипса по марганцу из разряда низкообеспеченных переходили в разряд среднеобеспеченных, а по меди оставались низкообеспеченными.

Применение сульфоаммофоса и аммофоса с аммиачной селитрой не оказало влияния на содержание подвижного цинка. Применение фосфогипса отдельно и вместе с удобрениями в дозах 3, 6 и 12 т/га одинаково привело к увеличению показателя в среднем на 0,05; 0,10 и 0,11 мг/кг соответственно.

Применение сульфоаммофоса и аммофоса с аммиачной селитрой не влияет на содержание подвижного кобальта. Внесение фосфогипса 3; 6 и 12 т/га отдельно и с удобрениями привело к возрастанию величины в среднем на 0,017; 0,019 и 0,026 мг/кг соответственно. Различия в содержании подвижного молибдена аналогичны подвижному кобальту. Таким образом, достоверное и иногда существенное увеличение в содержании микроэлементов в черноземе южном происходит за счет внесения фосфогипса.

Наиболее существенное повышение содержания азота и фосфора в листьях озимой пшеницы в фазы выхода в трубку и цветения произошло при совместном внесении фосфогипса с аммофосом и аммиачной селитрой.

На содержание бора в фазу выхода в трубку озимой пшеницы не влияет внесение удобрений и фосфогипса, и его можно считать оптимальным. Содержание марганца с 42,4 мг/кг на контроле возрастает при внесении 6 и 12 т/га фосфогипса до 45,8 и 49,5 мг/кг, а совместно с удобрениями – до 45,6 и 50,3 мг/кг соответственно. Содержание меди имеет достоверные различия с контролем только на варианте с внесением фосфогипса в дозе 12 т/га как отдельно, так и совместно с удобрениями, а цинка и на варианте внесения 6 т/га мелиоранта. Изменения содержания кобальта и молибдена в растениях озимой пшеницы аналогичны изменениям содержания цинка.

Наибольшее увеличение численности микроорганизмов в черноземе южном в фазу цветения пшеницы в 2016 году отмечено при совместном внесении фосфогипса с минеральными удобрениями, и особенно фосфогипса – 12 т/га с аммофосом и аммиачной селитрой: аммонификаторов – до 202,2 млн КОЕ/г, или в 2,5 раза по сравнению с контролем; микроорганизмов, преобразующих минеральные формы азота, – в 3,3 раза; аэробных азотфиксаторов (*Azotobacter*) – в 1,5 раза; микромицетов – в 1,7 раза; целлюлозолитиков – в 2,1 раза. Применение сульфоаммофоса не повлияло значительным образом на исследуемый показатель. Результаты 2017 года аналогичны 2016 году.

Применение удобрений и фосфогипса как отдельно, так и совместно с удобрениями достоверно увеличивает урожайность культур: гороха при урожайности на контроле в 2,54 т/га на вариантах 2 – на 0,38; 3 – 0,56; 4 – 0,42; 5 – 0,64; 6 – 0,76; 7 – 0,92; 8 – 1,06; 9 – 1,2; 10 – на 0,62 т/га; пшеницы первого года при урожайности на контроле в 5,36 т/га на вариантах 2 – на 1,25; 3 – на 1,27; 4 – на 1,16; 5 – 1,46; 6 – 1,83; 7 – 1,85; 8 – 2,14; 9 – 2,50; 10 – на 1,82 т/га; пшеницы второго года при урожайности на контроле 5,25 т/га на вариантах 2 – 0,70; 3 – 0,86; 4 – 0,58; 5 – 1,03; 6 – 1,30; 7 – 1,97; 8 – 2,19; 9 – 2,55; 10 – на 1,5 т/га.

Применение серосодержащих удобрений и фосфогипса незначительно повлияло на качество гороха и не повлияло на качество зерна озимой пшеницы экстенсивного сорта «Таня», которое тестировалось 4-м классом.

Применение фосфогипса как отдельно, так и совместно с удобрениями в первый год исследований приводит к увеличению себестоимости гороха и увеличению прибыли при снижении уровня рентабельности, который был наиболее высоким в результате внесения аммофоса и аммиачной селитры. Во второй год последствия при сборе зерна озимой пшеницы наблюдалась аналогичная тенденция, но со снижением себестоимости и увеличением прибыли. В третий год последствия по сравнению со вторым годом продолжается снижение себестоимости зерна озимой пшеницы в результате внесения фосфогипса. При наиболее низкой себестоимости продукции на контроле 5874 руб/т самой высокой она была на 9-м варианте применения мелиоранта 12 т/га с удобрениями (7107,5 руб/т), а наиболее низкой – на 10-м варианте в результате применения аммофоса и селитры (5651,6 руб/т). Прибыль на контроле 47 911,3 руб/га и уже более всего возросла на 7-м и 8-м вариантах (до 65 197 и 64 346,9 руб/га соответственно). При сохранении мелиоративного эффекта в течение 10–15 лет, как это подтверждается исследованиями кафедры и других ученых (Цховребов В. С. и др., 2022; Хаджинов Н. И., 1983; Шеуджен А. Х., 2016), можно ожидать увеличения прибыли и рентабельности выращиваемой продукции от применения фосфогипса. Экономическая эффективность от внесения

сульфоаммофоса в различных дозах была выше контроля, но оставалась наименьшей среди других вариантов.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения высоких и устойчивых урожаев озимой пшеницы на чернозёмах южных применять фосфогипс в дозах 3; 6 и, в долгосрочной перспективе, 12 т/га как отдельно, так и совместно с аммофосом – 70 кг/га и аммиачной селитрой – 100 кг/га. Применение серосодержащего удобрения – сульфоаммофоса – при выращивании озимой пшеницы сорта «Таня» мало эффективно, так как не влияет на качество получаемой продукции и незначительно увеличивает урожайность и экономическую эффективность её возделывания.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК
Министерства науки и высшего образования РФ*

1. Влияние фосфогипса и серосодержащих удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе / В. С. Цховребов, **А. Б. Умаров**, А. М. Никифорова, Д. В. Калугин // Агрохимический вестник. – 2018. – № 4. – С. 21–23. (**К1**)

2. Влияние фосфогипса и удобрений на содержание элементов питания в черноземе южном и урожайность озимой пшеницы / В. С. Цховребов, **А. Б. Умаров**, В. И. Фаизова [и др.] // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 15–17. (**К1**)

3. Изменение численности микроорганизмов чернозёма южного при внесении фосфогипса и серосодержащих удобрений / **А. Б. Умаров**, В. С. Цховребов, В. И. Фаизова [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2019. – № 2(34). – С. 74–78. (**К2**)

*Публикации в материалах конференций
и других научно-практических изданиях*

3. **Умаров, А. Б.** Влияние серосодержащих удобрений и фосфогипса на агрохимические и микробиологические показатели чернозёма южного и урожайность звена севооборота : монография / **А. Б. Умаров**, В. С. Цховребов. – Ставрополь, 2025. – 160 с.

4. Влияние внесения фосфогипса и серосодержащих удобрений на урожайность озимой пшеницы в повторных посевах на черноземе южном / В. С. Цховребов, **А. Б. Умаров**, В. И. Фаизова, А. М. Никифорова // Энтузиасты аграрной науки : сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина и 80-летию члена-корреспондента РАН Кудеярова

Валерия Николаевича, Краснодар, 05–06 сентября 2019 года / ответственный за выпуск А.Х. Шеуджен. – Выпуск 21. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2019. – С. 215–218.

5. Влияние внесения фосфогипса и серосодержащих удобрений на содержание элементов питания на черноземе южном / **А. Б. Умаров**, В. С. Цховребов, А. М. Никифорова, Д. В. Калугин // Энтузиасты аграрной науки : Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина и 80-летию члена-корреспондента РАН Кудеярова Валерия Николаевича, Краснодар, 05–06 сентября 2019 года / Ответственный за выпуск А. Х. Шеуджен. Выпуск 21. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2019. – С. 325–328.

6. **Умаров, А. Б.** Применение фосфогипса и серосодержащих удобрений под озимой пшеницей на черноземе южном / А. Б. Умаров, В. С. Цховребов // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ, Ставрополь, 04–05 октября 2018 года. – Ставрополь : Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2018. – С. 111–114.

7. Цховребов, В. С. Агроэкологические последствия подтопления черноземов выщелоченных Ставропольской возвышенности / В. С. Цховребов, **А. Б. Умаров**, А. М. Никифорова // Актуальные вопросы экологии и природопользования : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 11–12 октября 2017 года. – Ставрополь : Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2017. – С. 344–347.

8. Influence of the adoption of phosphogips and seros-containing fertilizers on the microbial population of south chernozem / V. Tskhovrebov, **A. Umarov**, V. Faizova, V. Lysenko // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года. Vol. 17. – EDP Sciences : EDP Sciences, 2020. – P. 00229.

Подписано в печать 22.04.2025. Формат 60х84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Гарнитура «Times». Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 220.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС»,
г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15. Тел. (8652) 35-06-94

