

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ**



МАТЕРИАЛЫ

Международной конференции

**«Современное состояние и стратегия развития
Географической сети опытов с удобрениями»**

**«Current Status and Development Strategy of the
Geographic Network of Fertilizer Experiments»**

27-28 ноября 2024г.



**Москва
2024**

УДК 631.8

ББК 40.4

Составители:

О.В. Рухович д.б.н.

М.В. Беличенко к.б.н.

О.И. Иванова

Под редакцией С.И. Шкуркина

«Современное состояние и стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями». Материалы Международной научной конференции / Под редакцией С.И. Шкуркина. - М.: ВНИИА, 2024. – 282 с.

ISBN 978-5-9238-0278-8

DOI 10.26178/7361.2024.20.46.001

Сборник подготовлен и издан при поддержке «ГК Союзагрохим»

В сборнике опубликованы материалы докладов участников Международной научной конференции «Современное состояние и стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями», проходившей в ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» 28-29 ноября 2024 года. В них представлены разработки в области агрохимической науки, охватывающие основные сельскохозяйственные районы Российской Федерации.

Тезисы докладов напечатаны в авторской редакции.

ISBN 978-5-9238-0278-8

DOI 10.26178/7361.2024.20.46.001

УДК 631.8

ББК 40.4

**© ФГБНУ «ВНИИ агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова», 2024**

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М. Thielicke, F. Eulenstein, L. Müller</i> EILHARD ALFRED MITSCHERLICH - A ROLE MODEL FOR AGRICULTURAL RESEARCH	6
<i>Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова</i> ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ	8
<i>Е.К. Барнашова, А.С. Симагина, А.Д. Симагин, К.А. Тараски, Е.А. Вертикова</i> ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ, ИМПРЕГНИРОВАННЫХ СОЛЯМИ МЕДИ, ДЛЯ УСИЛЕНИЯ РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ	17
<i>В.Б. Борисова, Г.Е. Мерзлая</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТОМ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ СЕРПОВИДНОЙ В ЯКУТИИ.....	22
<i>Т.Ю. Бортник, А.Ю. Карпова, К.С. Клековкин, В.А. Иудин</i> ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ЗВЕНА СЕВООБОРОТА И ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-СРЕДНЕПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ.....	30
<i>О.В. Броварова</i> ОРГАНИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.....	43
<i>М.А. Варквасова, Х.З. Бишенов, Ж.О. Канукова</i> АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СПОСОБСТВУЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ЗЕМЕЛЬ	54
<i>Д. М. Воронин, А.Н. Бурунов</i> ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК МИКРОЭЛЕМЕНТНЫМ УДОБРЕНИЕМ МЕГАМИКС-ПРОФИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	60
<i>О.В. Гладышева, В.А. Свирина</i> КОМПЛЕКСНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ.....	68
<i>В.Г. Григулецкий</i> АКАДЕМИК Э.А. МИТЧЕРЛИХ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ.....	79
<i>Д.В. Дубинин, В.В. Мамаев</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДКОРМОК ЖКУ ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ.....	94
<i>Н.Е. Завьялова</i> АККУМУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ И НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ	100

О.В. Илюшкина ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ	111
В.Н. Ковшова ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ПЛОДОРОДИЕ ВЫРАБОТАННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ	120
С. А. Колбин, Л. В. Гарафутдинова, В. К. Каличкин ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ.....	132
М.Е. Ламмас, А.С. Пономарева РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ КУКУРУЗЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ	145
О. А. Минакова АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДОБРЕНИЙ В ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОМ СЕВООБОРОТЕ ЦЧР	160
Можаренко М.Н., Аканова Н.И., Холommeва Л.Н. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОГИПСА, КАК КОМПЛЕКСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ И ХИМИЧЕСКОГО МЕЛИОРАНТА В АГРОЦЕНОЗАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	170
Е.В. Навольнева, А.С. Пойменов, И.В. Логвинов, Д.И. Каторгин ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НАВОЗА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ.....	176
С.М. Надежкин, М.Ю. Маркарова, С.А. Тюлейкин, Е.В. Кашинова УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ТОМАТА И КАРТОФЕЛЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В ОВОЩНОМ СЕВООБОРОТЕ	186
В.В. Окорков О ПИТАНИИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР МИНЕРАЛЬНЫМ АЗОТОМ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ОПОЛЬЯ	194
В.В. Пронько ИЗУЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В СТЕПНОМ ПОВОЛЖЬЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ	210
В.Ю. Скороходов, Н.А. Максютков, Д.В. Митрофанов, Н.А. Зенкова, С.Б. Воронаев, Е.Н. Скороходова РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ СТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА	220
Троц В.Б., Аканова Н.И., Троц Н.М., Стромский А.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТО-СОЛЕВОГО ШЛАМА В КАЧЕСТВЕ КОМПЛЕКСНОГО КАЛИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ ПРИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ	227

Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННУЮ МИКРОФЛОРУ В ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ.....	236
А.М. Турлакова ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ	240
О.Г. Чуян, Л.Н. Караулова, О.А.Митрохина ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ НА РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ РЕЛЬЕФА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ.....	248
Н.Н. Шаповалова ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ В ОПЫТЕ ГЕОСЕТИ	257
Д.Г. Шишков, В.Р. Олехов, Д.Р. Сафиуллина БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ И СООТНОШЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	270

**EILHARD ALFRED MITSCHERLICH - A ROLE MODEL FOR
AGRICULTURAL RESEARCH**

Matthias Thielicke, Frank Eulenstein, Lothar Müller

Mitscherlich Akademie für Bodenfruchtbarkeit GmbH (MITAK)

Theodor-Fontane-Straße 10

14641 Nauen (Ribbeck)

thielicke@mitak.org

Eilhard Alfred Mitscherlich can be considered to be a role model for agricultural research. As professor on the university of Königsberg (Kaliningrad) he headed the Faculty of Agricultural Science from 1906 onwards. At this time it was special that an university had its own specialized faculty for agricultural science. In Germany at the time there was also an agricultural faculty in Halle (on the Saale river) in mid-Germany and Weihenstephan in southern Germany.

To develop the until today prominent scientific basis of Mitscherlich's Law of Diminishing returns, he used more than one million of pot experiments. He used practically every type of soil, analysed the nutrient status, used single nutrients or nutrients in combination to produce a robust data basis. The latter was the key for the meaningful correlation between different growing factors and plant yields. With this knowledge, he established the first effective farm-specific fertiliser advice – a method, which every agricultural business uses this technology today.

Beneath the described relevance in his persistent work in agricultural science, Mitscherlich was also a role model when it came to prioritising human and professional matters over political events. Even during the fighting in the First World War, Mitscherlich maintained excellent contact with his Russian and American colleagues.

In 1945 when the situation in Königsberg became problematic, Mitscherlich started to leave together with his scientists and colleagues the university and went to the west. In the region around Vietnitz (around 35 kilometres northwest of Berlin) his trek was overtaken by the Red Army. Coincidentally the chief officer of the military unit was one of Mitscherlich's former doctoral students, who finished his doctorate degree in 1932. This chief officer recognised his doctoral supervisor and put the whole trek under his personal administration. As a result of this Mitscherlich's new place to work became Paulinenaue – not far away from Vietniz.

In Paulinenaue he headed the Institute for yield increases and continued his work until his death in 1956. In the last decade of his life he made great progress in scientific principles of fenland management and melioration.

The Mitscherlich Academy for Soil Fertility (MITAK) is a research alliance of scientists from Germany, Russia, Kazakhstan, Brazil and other countries. The work of recent years in hydrophysical soil analysis is being continued, as is the cultivation of mycorrhizal fungi. Systematic research on humic substances to promote microbial processes (especially for industrial biogas production) has been added as a new field of work. MITAK is open to all scientists for new co-operations in these areas. The homepage is in German, Russian and English language available via www.mitak.org

**ЭЙЛЬХАРД АЛЬФРЕД МИЧЕРЛИХ - ОБРАЗЕЦ ДЛЯ
ПОДРАЖАНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Маттиас Тиликке, Франк Эйленштайн, Лотар Мюллер

Академия плодородия почвы Мичерлиха GmbH (MITAK)

Theodor-Fontane-Straße 10

14641 Nauen (Ribbeck)

thielicke@mitak.org

Эйльхарда Альфреда Мичерлиха можно считать образцом для подражания в области сельскохозяйственных исследований. Будучи профессором университета Кенигсберга (Калининград), он возглавлял факультет сельскохозяйственных наук с 1906 года. В этот период было редкостью, чтобы в университете существовал отдельный факультет, посвящённый исключительно сельскому хозяйству. В Германии в то же время был сельскохозяйственный факультет в Галле (на реке Заале) в центральной Германии и Вайенштефене на юге Германии.

Для разработки известной до сегодняшнего дня научной основы закона убывающей доходности Мичерлиха, он использовал более миллиона экспериментов в вегетационных сосудах. Он использовал практически все типы почв, анализировал состояние питательных веществ, использовал отдельные питательные вещества и их сочетание для создания надёжной базы данных. Последнее было ключом к значимой корреляции между различными факторами роста и урожайностью растений. Обладая этими знаниями, Митчерлих разработал первую эффективную схему удобрения для конкретных ферм — метод, который сегодня использует каждое сельскохозяйственное предприятие.

Помимо значимости полученных результатов в области сельскохозяйственной науки, Митчерлих также был образцом для подражания в упорной работе, когда дело касалось приоритета человеческих и

профессиональных вопросов над политическими событиями. Даже во время боевых действий в Первой мировой войне Митчерлих поддерживал прекрасные контакты со своими русскими и американскими коллегами.

В 1945 году, когда ситуация в Кенигсберге стала напряженной, Митчерлих покинул университет вместе со своими коллегами и отправился на запад. В районе Вьетница (примерно в 35 километрах к северо-западу от Берлина) их догнала Красная армия. По совпадению, начальником военного подразделения был один из бывших докторантов Митчерлиха, который получил докторскую степень в 1932 году. Этот начальник взял своего научного руководителя и его коллег под свое личное управление. В результате новым местом работы Митчерлиха стал Паулиненуэ — недалеко от Вьетница.

В Паулиненуэ он возглавил Институт повышения урожайности и продолжал работу до своей смерти в 1956 году. В последнее десятилетие жизни он добился большого прогресса в научных принципах управления болотами и мелиорации.

Академия почвенного плодородия Э.А. Митчерлиха (MITAK) — это исследовательский альянс ученых из Германии, России, Казахстана, Бразилии и других стран. Продолжается работа по гидрофизическому анализу почвы, а также выращивание микоризных грибов. Новой областью работы стали систематические исследования гуминовых веществ, применяемых для улучшения микробиологических процессов (особенно для промышленного производства биогаза). MITAK открыт для всех ученых для сотрудничества в этих областях.

Домашняя страница на немецком, русском и английском языках доступна через www.mitak.org

УДК 631.45:631.8

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В
ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ**

Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

E-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

Аннотация. Представлены данные длительного стационарного полевого опыта по изучению влияния минеральных удобрений и соломы на

содержание и качественный состав органического вещества в лугово-черноземной почве.

Ключевые слова: гумус; мортмасса; лугово-черноземная почва; удобрения.

Роль органического вещества почв в комплексе факторов, определяющих эффективное их плодородие а, следовательно, и продуктивность сельскохозяйственных культур является ведущей. Органическое вещество основной источник элементов минерального питания для растений, оно формирует и поддерживает основные режимы, свойства и функции почвы [1, 2].

Проблема рационального использования органического вещества приобрела большое научно-практическое значение в связи со значительными его потерями в пахотных почвах. К числу основных факторов, контролирующих степень дегумификации почв, относят тип землепользования, структуру севооборотов, систему обработки почвы, систему удобрений и др. [3-5].

Оптимизация содержания органического вещества в почвах является одной из важнейших задач земледелия, решение которой создает необходимые предпосылки для роста его продуктивности и устойчивости.

Исследования по оценке влияния длительного применения удобрений на состояние органического вещества в лугово-черноземной почве проводили на опытном полигоне лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омского АНЦ» в южной лесостепной зоне Западной Сибири в длительном стационарном опыте на основе шестипольного зернотравяного севооборота, со следующим чередованием культур: люцерна 3-х лет использования–яровая пшеница–яровая пшеница–овес.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь элементарной делянки – 200 м² (10х20), учетной – 36 м² (1.8х20). Повторность опыта четырехкратная. Изучали следующие факторы (таблица 1): применение минеральных удобрений (фактор А) – без удобрений; N₁₀P₁₇; N₁₅P₃₅ (кг д.в./га севооборотной площади); использование соломы (фактор В) – без соломы; внесение соломы после уборки зерновых культур в количестве, соответствующем урожаю (1,68-2,20 т/га).

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесиловатая среднегумусовая тяжелосуглинистая. Исходное содержание в слое 0-20 см гумуса 6,4-6,6% (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия 105–128 и 350–420 мг/кг почвы (по Чирикову). Сумма обменных катионов

составляла 32,1 ммоль/100 г почвы, в составе катионов доля Ca^{2+} – 89%, Mg^{2+} – 11%, Na^+ менее 1%, pH – 6,6-6,7.

Таблица 1 – Система применения удобрений в зернотравяном севообороте

Культура	Система удобрений		
	без удобрений	$\text{N}_{10}\text{P}_{17}$	$\text{N}_{15}\text{P}_{35}$
Люцерна	-	P_{30}	P_{60}
	солома	P_{30} + солома	P_{60} + солома
Яровая пшеница	-	-	-
	солома	солома	солома
Яровая пшеница	-	$\text{N}_{30}\text{P}_{40}$	$\text{N}_{60}\text{P}_{40}$
	солома	$\text{N}_{30}\text{P}_{40}$ + солома	$\text{N}_{60}\text{P}_{40}$ + солома
Овес	-	N_{30}	$\text{N}_{30}\text{P}_{40}$
	солома	N_{30} + солома	$\text{N}_{30}\text{P}_{40}$ + солома

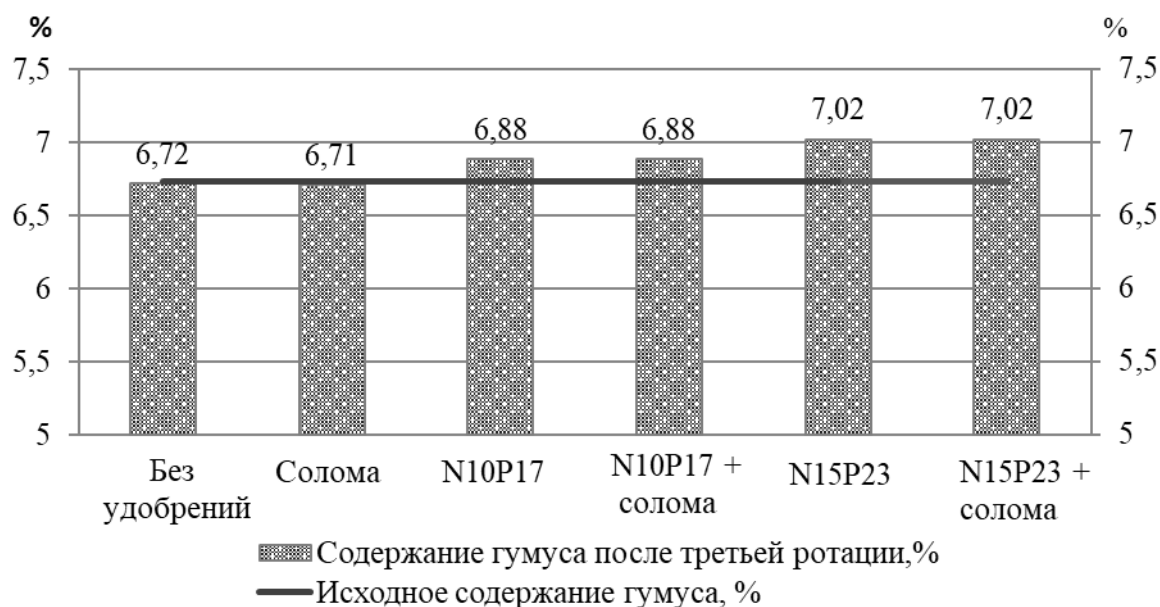
В качестве минеральных удобрений использовали аммиачную селитру и аммофос. Удобрения вносили весной до посева локально сеялкой на глубину 6-8 см. Солому зерновых культур измельчали при уборке и оставляли в поле в количестве, соответствующем ее урожаю с последующей заделкой весной.

В опыте высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур: яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum*) сорта Омская 36, озимую пшеницу (*Triticum aestivum*) сорта Прииртышская, овес (*Avena sativa*) сорта Иртыш 22, люцерну (*Medicago sativa*) сорта Флора 8. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания культур – общепринятая для зоны.

Отбор почвенных образцов проводили перед посевом яровой пшеницы после люцерны. В них определяли: общий углерод – по Тюрину в модификации Никитина, запасы мортмассы – путем отмывки негумифицированного органического вещества водой на сите с диаметром ячеек 0.25 мм. Углерод мортмассы – методом Тюрина в модификации Янишевского. Валовое содержание азота в мортмассе по Пиневиц, содержание микроэлементов определяли после сухого озоления при температуре $525 \pm 25^\circ\text{C}$ с последующим растворением сухого остатка золы в растворе HNO_3 (1:1) в течении часа на водяной бане при температуре $+100^\circ\text{C}$, объем экстракта 50 мл, масса навески 2 г. Конечное определение элементов проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Varian 140.

Результаты исследований обработаны дисперсионным и корреляционным методами статистического анализа с использованием программы Statist.

В результате проведенного анализа почвенных образцов установлено, что в севообороте, где 50% площади занимают многолетние бобовые травы (люцерна), в варианте без применения удобрений исходное содержание гумуса было на уровне 6,73% и за три ротации севооборота существенно не изменилось – 6,72 (рисунок 1).



HCP_{05} минеральных удобрений - 0,09, HCP_{05} соломы - $F_{ф} < F_{т}$, HCP_{05} частных средних - 0,13

Рисунок 1 – Изменение содержания гумуса в почве при применении минеральных удобрений и соломы

Уравновешенный баланс органического вещества в почве обеспечивался, за счет возделывания в севообороте люцерны, обладающей способностью фиксировать атмосферный азот воздуха и накапливать большое количество корневых и пожнивных остатков, пополняющих фонд органического вещества. [6].

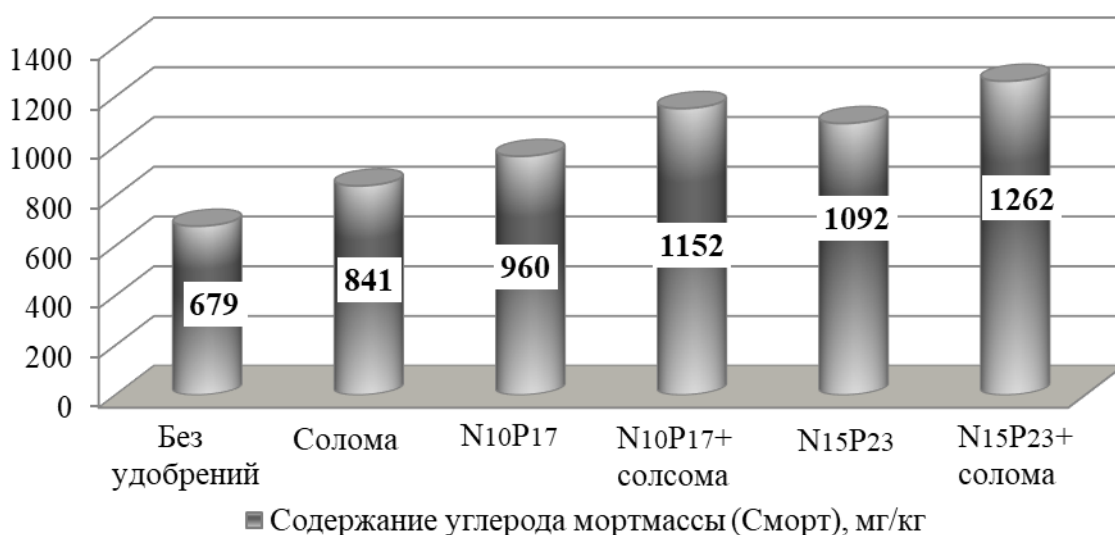
Систематическое внесение минеральных удобрений в севообороте повысило содержание гумуса, соответственно на 0,16 – 0,30%. Новообразование гумуса на минеральных фонах обусловлено большим поступлением органического вещества в почву в сравнении с вариантом без удобрений.

Применение соломы не оказывало существенного влияния на

содержание гумуса в почве.

Ежегодное поступление в почву растительных остатков формирует в ней фонд легкоминерализуемых соединений, в том числе и в виде мортмассы (свежих и полуразложившихся растительных и животных остатков).

Ведущим фактором, влияющим на содержание углерода мортмассы в почве, являлись минеральные удобрения. На фонах $N_{10}P_{17}$ и $N_{15}P_{23}$ содержание углерода мортмассы на 41 и 61% превышало вариант без удобрений. Ежегодное внесение соломы (доза 1,68-2,20 т/га) обеспечивало положительную тенденцию увеличения углерода мортмассы в почве. Наибольшее количество данного показателя отмечено в варианте совместного применения минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23}$ + солома) – 1262 мг/кг, на 86% превышая неудобренный фон (рисунок 2).



НСР₀₅ минеральных удобрений 316; НСР₀₅ соломы - $F_{ф} < F_{т}$;
НСР₀₅ частных средних - 446

Рисунок 2 – Содержание углерода мортмассы (С_{морт}) в почве в зависимости от применения удобрений, мг/кг

Лабильное почвенное органическое вещество имеет высокую скорость разложения и короткое время пребывания в почве [7-9]. В связи с этим, оно играет роль ближайшего резерва макро и микроэлементного питания растений, во многом определяя содержание и динамику их подвижных форм в почве [10].

Основным источником азотного питания растений в агроценозах Сибири служит азот почвы. Существенная часть почвенного азота входит в

состав гумусовых веществ. Ближайший резерв для минерализации составляют органические вещества, входящие в состав легкомигрируемой лабильной фракции. Длительное применение удобрений оказывает стабилизирующее влияние на азотный фонд почв – возрастает содержание общего и легкодоступных органических соединений азота, а также количество подвижных минеральных форм [11].

Исследованиями установлено, что содержание общего азота в почве варьировало от 0,29 до 0,31%, значительно не изменяясь в зависимости от изучаемых факторов (таблица 2).

Таблица 2 – Запасы общего азота ($N_{\text{общ}}$) и азота мортмассы ($N_{\text{мортм}}$) в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы.

Вариант	$N_{\text{общ}}$ т/га	$N_{\text{мортм}}$ кг/га	Прирост $N_{\text{мортм}}$		%, от $N_{\text{общ}}$
			кг/га	%	
Без удобрений	6,38	143,8	-	-	23
Солома	6,60	162,2	18,4	13	25
$N_{10}P_{17}$	6,82	188,1	44,3	31	28
$N_{10}P_{17}$ + солома	6,82	203,8	60,0	42	30
$N_{15}P_{23}$	6,82	198,4	54,6	38	29
$N_{15}P_{23}$ + солома	6,82	233,6	89,8	62	34
$НСР_{05}$ минеральных удобрений;	$F_{\text{ф}} < F_{\text{т}}$	12,9			
$НСР_{05}$ соломы	$F_{\text{ф}} < F_{\text{т}}$	15,8			
$НСР_{05}$ частных средних	$F_{\text{ф}} < F_{\text{т}}$	22,4			

Количеством мортмассы в почве определялась дифференциация вариантов по запасам азота мортмассы (при содержании валового азота в мортмассе от 1,58 до 1,73%). За счет внесения минеральных удобрений запасы азота мортмассы возросли на 31% и 38%, в сравнении с вариантом без удобрений. Применение соломы обеспечивало положительную тенденцию увеличения данного показателя. Наибольшее количество – 233,6 кг/га отмечено при органоминеральной системе удобрений $N_{15}P_{23}$ + солома. Доля азота мортмассы в составе общего азота почвы составляла 23% при внесении минеральных удобрений она возрастала до 34%, что свидетельствует о положительном их влиянии на увеличение содержания азота мортмассы в органическом веществе почвы.

Анализ содержания микроэлементов в мортмассе по вариантам опыта показал определенные различия. Так, в контрольном варианте обнаруживалось на 12-29% больше Cu, на 4-42% больше Zn, чем в вариантах с внесением соломы и минеральных удобрений (таблица 3).

Содержание Mn, Ni и Co не зависело от вариантов опыта и варьировало незначительно – от 385,17 до 413,29 мг/кг Mn, от 35,14 до 41,81 мг/кг Ni и от 4,58 до 5,89 мг/кг Co. Оценка вклада микроэлементов мортмассы в общий фонд микроэлементов почвы показала, что ЛОВ мортмассы в зависимости от вариантов опыта содержит Cu 0,3-0,4%; Zn – 0,3-0,5%, Mn – 0,4-0,5%, Ni – 0,4-0,5% и Co – 0,2%.

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в лабильной фракции ОВП в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы, мг/кг

Вариант	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль	14,67	46,38	399,14	35,14	5,61
Солома	12,32	44,01	408,43	39,03	5,88
N ₁₀ P ₁₇	12,28	32,74	385,17	41,81	4,58
N ₁₀ P ₁₇ +солома	13,12	43,04	413,29	38,60	5,41
N ₁₅ P ₃₅	11,29	41,67	400,71	38,57	5,35
N ₁₅ P ₃₅ +солома	11,64	39,77	411,12	37,45	5,89

Следует отметить, что питание растений Cu обеспечивается на 18-42% из мортмассы, Zn – на 21-28%, Ni – на 13-19%, тогда как доля Mn и Co мортмассы в общем запасе доступных для растений соединений составила не более 6% (рисунок 3)

Полученные результаты позволили сделать вывод, что лабильная фракция органического вещества почв является резервом минерального питания растений. Доля микроэлементов в мортмассе от общего микроэлементного фонда почвы не более 0,5%. Выявлено, что из общего запаса в почве доступных для растений элементов 13-42% Cu, 21-28% Zn и 13-19% Ni составляют их запасы в лабильной фракции. При внесении минеральных удобрений и соломы отмечалась тенденция увеличения содержания микроэлементов в мортмассе.

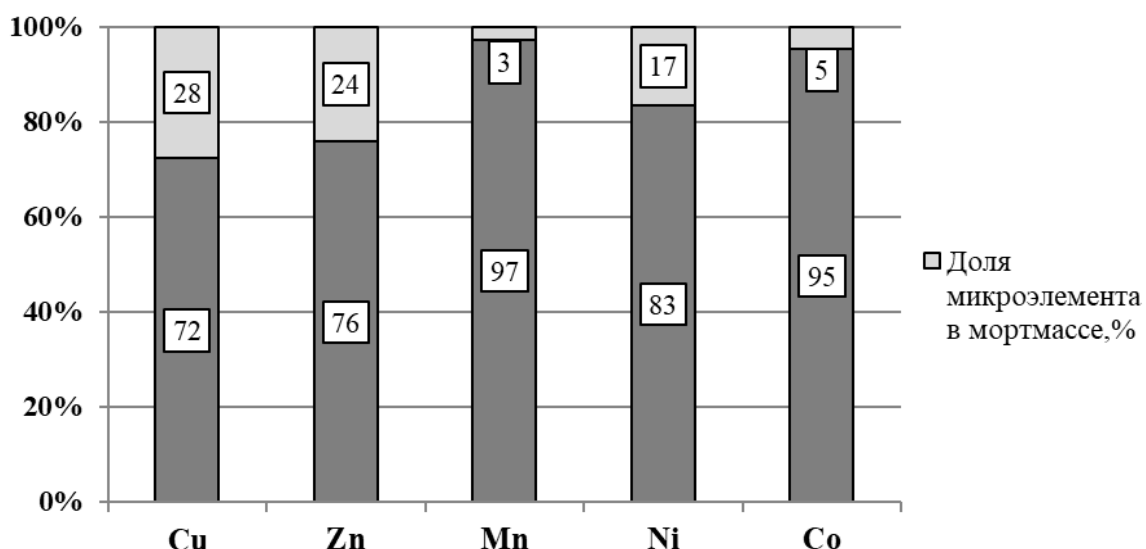


Рисунок 3 – Доля содержания микроэлементов в мортмассе от общего запаса доступных для растений микроэлементов в почве (в среднем по опыту).

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что систематическое применение минеральных удобрений и соломы в зернотравяном севообороте способствует увеличению содержания лабильного органического вещества в почве, обеспечивая сохранение ее плодородия и дополнительное поступление легкоминерализуемого органического азота и микроэлементов.

Список литературы

1. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 220 с.
2. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
3. Титлянова А.А., Наумов А.В. Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. №11. С. 1357-1362.
4. Чупрова В. В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 90. С. 96-115.
5. Храмцов И.Ф., Чекусов М.С., Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений

на черноземных почвах Западной Сибири // Плодородие. 2021. № 3(120). С. 104-107

6. Мингалев С. К., Лаптев В. Р. Влияние многолетних бобовых трав и способов их использования на урожайность культур севооборота //Аграрный вестник Урала, 2013. № 6. С. 4–5.

7. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 810-818.

8. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шепелев А.Г. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2014. № 4. С. 473–479

9. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д. и др. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении удобрений / // Земледелие. – 2020. – № 2. – С. 7-9.

10. Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П. Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации–иммобилизации микроэлементов в почве // Почвовед. и агрохим. 2013. № 1. С. 256–265.

11. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Издательство ИИЦ ГНУ СибНСХБ Россельхозакадемии, 2013. – 790 с.

DYNAMICS OF ORGANIC MATTER CONTENT IN MEADOW-CHERNOZEM SOIL WITH PROLONGED USE OF FERTILIZERS

N.F. Balabanova, N.A. Voronkova

Annotation. The data of a long-term stationary field experiment on the study of the effect of mineral fertilizers on the content, reserves and chemical composition of organic matter in the meadow-chernozem soil are presented.

Keywords: humus; mortmass; meadow-chernozem soil4 mineral fertilizers.

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ
УГЛЕЙ, ИМПРЕГНИРОВАННЫХ СОЛЯМИ МЕДИ, ДЛЯ УСИЛЕНИЯ
РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА НА РАННИХ
СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ**

***Е.К. Барнашова¹, А.С. Симагина¹, А.Д. Симагин¹, К.А. Тараскин²,
Е.А. Вертикова¹***

*1 - Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А.
Тимирязева*

*E-mail: k.barnashova@gmail.com, klepikova.anastasi@yandex.ru,
alexander.d.simagin@yandex.ru vertikova@yandex.ru*

*2 - Научно-исследовательский институт прикладной акустики
E-mail: kant1958@yandex.ru*

Аннотация. Проведена работа по возможности улучшения всхожести семян льна в период воздействия неблагоприятных климатических условий. Для этого, в процессе осуществления посева семенного материала, в почву вносили активированный уголь, импрегнированный соединениями меди. Данный способ значительно улучшал всхожесть семян льна-долгунца и ускорял ростовые процессы на ранних стадиях развития растений.

Ключевые слова. Лен-долгунец, почва, микроудобрения, уголь, соли меди

Активированный уголь — это продукт, в котором образовались поры в результате процесса воздействия очень высоких температур. Воздействие высоких температур значительно увеличивает площадь поверхности угля и способствует поглощению различных веществ в получившихся воздушных карманах. Активированный уголь является натуральным продуктом и при этом отличается высокой пористостью. За счет пор происходит очищение почвы от различных вредных веществ, отпугиваются некоторые насекомые, личинки которых обитают в почве. Также пористая структура предотвращает появление плесени и неприятных запахов на поверхности и в толще почвы.

При неблагоприятных погодных условиях в весенний период при малом количестве осадков и при пересыхании поверхностного слоя почвы, наблюдается ухудшение всхожести семян сельскохозяйственных культур, что приводит к уменьшению наличия планового количества растений на заданную единицу площади посевов. Это, в свою очередь, приводит к нерациональному использованию полевых ресурсов и снижению урожая. Противодействие

неблагоприятным условиям во время периода всходов может проводиться путём повышения активности прорастающих культур или при обработке почвы различными методами [1].

Лён - ценнейшая техническая и масличная культура одновременно. Значение льна в современном сельском хозяйстве Российской Федерации существенно возрастает, поскольку на эту культуру сегодня возлагаются большие надежды, как на основной сырьевой источник для пороховой промышленности [2]. Поэтому площади под посевами льна-долгунца в нашей стране ежегодно увеличиваются [2,3].

Семена льна при попадании в почву, выделяют большое количество слизи, которое не всегда сказывается благополучно на дальнейшей всхожести. Ослизненные семена слипаются, что значительно замедляет и осложняет их всхожесть [4]. В естественных ценозах выделяемая слизь оказывает положительное воздействие на распространение семян льна на дальние территории, например, посредством налипания на шерсть животных [5]. Также в естественных ценозах слизь является влагоудерживающим компонентом, помогает сохранять влагу и питательные вещества вокруг семени, что повышает конкурентную способность диких видов льна [6,7,8].

В исследованиях неоднократно были предложены методики предпосевной обработки семян льна, направленные на снижение слипаемости, снижение или предотвращение слизевыделения при попадании семян льна в почву [5, 6, 7]. Также было выявлено, что предпосевная обработка семян различных растений, в зависимости от способа обработки, может иметь значительную роль в выделении и накоплении в тканях различных веществ [8,9,10]. Однако, при всё более возрастающих площадях посевов, всё более затруднительно вести предпосевную обработку семенного материала. Зачастую, предпосевная обработка семян связана с напылением веществ на поверхность семян, иногда и с увлажнением с последующим напылением, что в больших масштабах сельскохозяйственного производства может быть достаточно сложным. Нами был предложен способ внесения активированного угля, импрегнированного солями меди, непосредственно в почву во время посева семян.

Методика подготовки импрегнированного угля. Отбирают навеску активированного угля марки АД-2, в количестве $100,0 \pm 0,15$ г. В плоскодонной колбе, к 30 мл деионизированной воды добавляют 1,8 г карбоната меди. Выдерживают при периодическом перемешивании до полного растворения навески медной соли.

Активированный уголь размещают на поддоне ровным слоем. С помощью пульверизатора наносят раствор медной соли, периодически перемешивая уголь. Далее уголь высушивают на поддоне при комнатной температуре. Поддон переносят в термощкаф и выдерживают при температуре $65,0 \pm 0,5$ °C в течение 2 ч. Полученный импрегнированный солями меди уголь размалывают на лабораторной мельнице и затем рассеивают на ситах, отбирая фракцию 250 – 300 мк, используемую в дальнейшей работе.

Лён-долгунец сорта «Томский-18» высевался на делянках полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», г. Москва. Делянка каждой повторности занимала площадь 1 м². Подготовка почвы, высева семян и уход за посевами осуществлялся по стандартным методикам, рекомендованным для возделывания льна-долгунца в Средней полосе [11], с учётом местных особенностей почв и климата [12]. Способ посева семян – узкорядный, с междурядьями 7,5 см. Глубина заделки 4 - 5 см.

Посев осуществляли в первой декаде мая 2024 года. Этот месяц в районе Москвы характеризовался крайне засушливой погодой. Норма суммы осадков для региона в мае: 61 мм. Количество выпавших месячных осадков в мае 2024 г. – 23 мм. Эта сумма составляет ~ 38% от нормы.

Для улучшения всхожести семян льна и улучшения ростовых процессов на ранних стадиях развития растений, при посеве добавляли активный уголь в почву. Проводилось два варианта добавок в почву в трехкратной повторности: 1 - активный уголь, содержащий импрегнирующую добавку солей меди, 2 - активный уголь, 3 - контрольный опыт без различных добавок. Уголь вносился одновременно с посадкой семян льна в борозды, ручным способом, равномерно по всей площади опытных делянок. Расход угля составлял – 2475 г на 1 м² посевов.

Контроль за всхожестью семян льна-долгунца производился на 14 день после посева. Подсчитывалось количество взошедших растений на единицу площади. За результат эксперимента представляются данные статистической обработки всех опытов. Результаты, полученные при проведении полевых экспериментов на посевах льна, представлены в таблице 1.

По результатам проведённых исследований было установлено, что внесение активного угля при посеве семян льна-долгунца с добавкой солей меди приводит к увеличению всхожести растений на 26,1% по сравнению с контрольным опытом. Использование угля без добавок приводит к увеличению всхожести растений на 5,3% по сравнению с контрольным опытом.

Таблица 1 – Показатели всхожести растений льна

Номер опыта	Количество внесённых семян, штук/м ²	Добавка в почву	Количество взошедших растений, штук/м ²
1 (контрольный)	2030	-	1177
2	2030	активный уголь не содержащий добавок	1285
3	2030	активный уголь, содержащий добавку солей меди	1708

Таким образом, нами был найден способ увеличения всхожести семян льна-долгунца даже при неблагоприятных погодно-климатических условиях. Увеличение всхожести при внесении в почву угля, импрегнированного солями меди, по сравнению со контрольным опытом и внесением обычного активного угля, вероятно связано с тем, что соли меди являются микроудобрением для растений. В данном случае, соли меди находятся в порах активного угля, что с одной стороны делает их легко доступными для диффузии в почву и соприкосновения с корневой структурой растения, с другой стороны, нахождение в порах позволяет солям меди постепенно выходить в почву, и расходоваться растением постепенно, по мере необходимости. В этом заключается приоритет внесения микроудобрений на активном угле перед обычными методами внесения удобрений непосредственно в почву. При стандартных способах внесения удобрений, при выпадении осадков, высоких подземных водах, быстром распространении в глубокие слои почвы, происходит интенсивное вымывание элементов, и растение при большом количестве внесённых удобрений зачастую все равно испытывает недостаток в каких-либо элементах. Внесение же удобрений на активном угле способствует снижению дозы вносимых химических веществ, быструю и своевременную доступность необходимых для роста и развития элементов, которые поступают в почву постепенно, обеспечивая необходимый уровень жизни растения.

В связи с ослизненностью семян льна во время периода наклевывания и всходов, применение активного угля без добавления и с добавлением солей микроэлементов еще более оправдано. Дружность всходов семян льна была

очевидно выше при использовании активного угля и угля с солями меди по сравнению с контрольным опытом.

Список литературы

1. Стрижакова Е.Р. Влияние активированного угля на свойства почвы при биологической очистке от органических загрязнителей (на примере 3,4-дихлоранилина) // Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Москва, 2004.
2. Лён в пороховой промышленности. 3-е изд., доп. и перераб. Под ред. И.Н. Торгуна. М.: ЦНИИХМ, 2021, 392 с. [Lye n v porokhovo j promyshlennosti. 3-e izd., dop. I pererab. Pod red. I.N. Torguna. M.: TSNI IKHM, 2021, 392 s. (In Russ.)].
3. Апашева Л.М., Смурова Л.А., Касаикина О.Т., Лобанов А.В., Овчаренко Е.Н., Борулева Е.А., Савранский В.В. Способ повышения всхожести семян и стрессоустойчивости сеянцев хвойных пород. Патент РФ № 2790449, 2023
4. Сергеев С.Н., Тараскин К.А. и др. Разработка метода химической активации светонезависимых окислительных процессов в стадии проращивания семенного материала // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 6. С. 31-35.
5. Трефилов Р.А. Касаткин В.В. и др. Технология экологической предпосевной обработки семян льна // Наука Удмуртии. 2018. № 4 (86). С. 103-105].
6. Jie Zhang, Junling Guo, Bin Dang, Wengang Zhang, Wancai Zheng and Xijuan Yang, Enhancement of Polyphenols and Antioxidant Activity in Germinated Black Highland Barley by Ultrasonication // Molecules 2023, 28, 3679. <https://doi.org/10.3390/molecules28093679>
7. M.I. Budnik, S.N. Sergeev, K.A. Taraskin. A new scientific and methodological approach to the ecological processing of flax seeds, which increases germination and prevents the adhesion of seed material // RUSSIAN JOURNAL OF BIOLOGICAL PHYSICS AND CHEMISTRY. Volume 8. № 3. 2023. С. 347–353
8. Пороховинова Е.А., Павлов А.В., Брач Н.Б., Морван Н. Углеводный состав слизи из семян льна и его связь с морфологическими признаками. Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 161-171. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.161.rus
9. Xu, L.; Wang, P.; Ali, B.; Yang, N.; Chen, Y.S.; Wu, F.F.; Xu, X.M. Changes of the phenolic compounds and antioxidant activities in germinated adlay seeds. J. Sci. Food Agric. 2017. № 97. С. 4227–4234

10. Khang, D.T.; Dung, T.N.; Elzaawely, A.A.; Xuan, T.D. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. *Foods*. 2016. № 5. С. 27
11. Степанова Н.В. Возделывание льна масличного на семена и волокно. Минск: Издательский дом “Белорусская наука”. 2021. 136 с
12. Чекмарев П.А. и др. Зональноадаптивные технологии производства льна-долгунца. - М., ФГБНУ «Росин-формагротех». 2011. 184 с

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF ACTIVATED CARBONS IMPREGNATED WITH COPPER SALTS TO ENHANCE THE GROWTH PROCESSES OF FLAX IN THE EARLY STAGES OF DEVELOPMENT

***E.K. Barnashova, A.S. Simagina, A.D. Simagin, K.A. Taraskin,
E.A. Vertikova***

Abstract. the experience was carried out to improve the germination of flax seeds during the period of exposure to adverse climatic conditions. To do this, in the process of sowing seed material, activated carbon impregnated with copper compounds was introduced into the soil. This method significantly improved the germination of flax seeds and accelerated growth processes in the early stages of plant development.

Key words: Flax, soil, micronutrients, coal, copper salts

УДК 631.8:633.313

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТОМ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ СЕРПОВИДНОЙ В ЯКУТИИ

В.Б. Борисова¹, Г.Е. Мерзлая²

¹*Якутский НИИ сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова,*

e-mail: agronii@mail.ru

²*ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова*

E-mail: lab.organic@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований в полевом опыте, заложенном на научном стационаре Якутского НИИСХ им. М.Г. Сафронова, по влиянию минеральных удобрений и рассматривается влияние минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях и препарата на основе местных штаммов клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* на урожайность и химический состав сена люцерны серповидной сорта Якутская желтая.

Показано, что в условиях Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве – в вариантах с $P_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{30}$ и биопрепаратом люцерны серповидной сорта Якутская желтая способна формировать в течение 4 лет высокоценную вегетативную массу и обеспечивать урожайность сена 6,5-7 т/га с выходом сырого протеина более чем 0,9-1 т/га. При этом сено люцерны серповидной по всем показателям зоотехнического анализа, содержанию фосфора, калия, кальция соответствует нормам кормления сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: удобрения; биопрепарат; мерзлотная таежная палевая почва; люцерна серповидная; урожайность; качество сена.

Исследование приемов возделывания кормовых культур, в частности высокоценной по питательности люцерны серповидной – *Medicago falcata* L., отличающейся повышенной зимостойкостью, солевыносливостью и засухоустойчивостью, имеет большое значение для регионов с мерзлотными почвами, где симбиотический аппарат растений развивается замедленными темпами. Использование местных штаммов клубеньковых бактерий при возделывании сельскохозяйственных культур обогащает почву биологическим азотом, повышает урожайность и качество растительной продукции [1-3]. Важно учитывать, что одним из полезных качеств люцерны является ее биологическая особенность произрастать в симбиозе с азотфиксирующими клубеньковыми микроорганизмами почвы, образующими на ее корнях клубеньки [4,6]. В результате их жизнедеятельности накапливаются доступные и необходимые для произрастания люцерны и других сельскохозяйственных культур азотные соединения.

Цель исследований – изучить влияние минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях и биопрепарата клубеньковых бактерий на урожайность и качество сена люцерны серповидной в условиях Центральной Якутии.

Методика. Исследования проводились в полевом опыте, заложенном на научном стационаре Якутского НИИСХ имени М.Г. Сафронова. Перед закладкой опыта почва в пахотном слое содержала гумуса – 2,74%, подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) (по Эгнеру-Риму) соответственно 170 и 282 мг/кг, общего азота 0,35%, нитратного азота 1,4 мг/кг, имела pH_{kcl} 7,6.

Объектами исследования были люцерна желтая, биопрепарат клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti*, минеральные азотные, фосфорные и калийные удобрения. Биопрепарат создан и депонирован у сорта

люцерны Якутская желтая в 1999 г. в ЯНИИСХ. Учеты и наблюдения выполняли согласно общепринятым методикам и рекомендациям [5]. Учет урожая люцерны проводили укосным методом, математическую обработку опытных данных – методом дисперсионного анализа. Определение агрохимического состава растений и почвы проведено в лаборатории ЯНИИСХ. Симбиотический потенциал люцерны определяли по [4]. Почвенные образцы отбирали по всем вариантам полевого опыта перед его закладкой в 2018 г., а также в годы проведения исследований.

Общая площадь опытной деланки 39,8 м², учетная площадь 25 м². Размещение вариантов последовательное со смещением. Повторность вариантов четырехкратная. Способ посева люцерны серповидной – широкорядный с расстоянием между рядами 30 см. Норма высева семян люцерны серповидной 6 кг/га. Минеральные удобрения согласно схеме опыта внесены в 2018 г. перед посевом люцерны. Доза биопрепарата составляла 200 г в расчете на гектарную норму семян (по рекомендациям ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии и Якутского НИИСХ). Посев люцерны серповидной в полевом опыте проведён 21 мая 2018 года.

Результаты и их обсуждение. В результате исследований в 2019-2022 гг. было установлено, что изменения фосфатного и калийного режимов почвы по вариантам опыта на молодом травостое люцерны серповидной (на второй год ее жизни) в зависимости от исследуемых факторов – минеральных удобрений разной интенсивности и инокуляции семян, в том числе их совместного использования, не носили четкого характера. Однако в последующем периоде наблюдений отмечалось повышение содержания подвижного Р₂О₅ в почве в сравнении с неудобренным контролем по всем видам исследуемых удобрений в 2020 г. (третий год жизни люцерны) и уменьшение его содержания - в 2022 г. (пятый год жизни люцерны).

Содержание нитратного азота в почве при внесении минеральных удобрений и биопрепарата под люцерну серповидную мало отличалось от контроля во все сроки определения. В то же время наметилась тенденция увеличения нитратного азота в почве по всем исследуемым вариантам удобрений на травостое люцерны серповидной второго (2020 г.) и пятого (2022 г.) годов жизни.

На основании трехлетних данных анализа почвенных проб (2019, 2020, 2022 гг.) можно утверждать, что минеральные удобрения и инокуляция семян люцерны серповидной явились положительным фактором в сохранении плодородия мерзлотной таежной палевой почвы.

Таблица 1 – Влияние минеральных удобрений и местных штаммов клубеньковых бактерий на агрохимические свойства почвы за 2019-2022 гг.

Варианты опыта	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	1,2	196,8	268,3
P ₆₀ K ₆₀	1,2	197,9	264,4
P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀	1,4	187,4	267,8
P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀	1,4	194,6	268,7
P ₆₀ K ₆₀ +N ₉₀	1,4	190,1	271,8
N ₆₀ K ₆₀	1,2	205,2	266,8
N ₆₀ K ₆₀ +P ₃₀	1,4	193,9	269,2
N ₆₀ K ₆₀ +P ₉₀	1,5	186,7	267,8
N ₆₀ P ₆₀	1,2	210,2	255,0
N ₆₀ P ₆₀ +K ₃₀	1,6	188,3	266,7
N ₆₀ P ₆₀ +K ₉₀	1,5	186,1	274,1
БП	1,3	192,9	262,4
БП+ P ₆₀ K ₆₀	1,7	181,7	273,9
БП+ N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	1,6	185,7	265,2
БП+ N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,6	179,0	266,98
НСР ₀₅	0,2	37,3	14,4

Исследования показали (таблица 2), что минеральные удобрения и инокуляция семян биопрепаратом клубеньковых бактерий оказали влияние на урожайность сена люцерны серповидной сорта Якутская желтая. Внесение азотных минеральных удобрений в возрастающих дозах (N₃₀, N₆₀, N₉₀) на фоне P₆₀K₆₀ при возделывании люцерны серповидной на мерзлотной почве было малоэффективным в первые годы опыта на травостое второго и третьего годов жизни. Однако в 2022 г. ее урожайность повысилась при получении достоверных прибавок урожая по отношению к контролю без удобрений.

Применение на травостое люцерны фосфорно-калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ оказало на уровне тенденции положительное влияние на её урожайность. При этом в среднем за 3 года исследований сбор сена составил 6,6 т/га, а прибавка к контролю - 20%.

При анализе влияния на урожайность люцерны серповидной калийных минеральных удобрений отмечено их достоверное воздействие в низкой дозе

- К₃₀. При этом увеличение дозы калия в 3 раза не приводило к росту урожайности сена люцерны.

Таблица 2 – Урожайность сена люцерны серповидной в годы исследований

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	в среднем	2019 г.	2020 г.	2022 г.	в среднем
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5	-	-	-	-
P ₆₀ K ₆₀ (фон)	11,0	4,2	4,7	6,6	2,3	0,3	0,9	1,1
N ₃₀ +P ₆₀ K ₆₀	9,6	4,1	5,8	6,5	0,9	0,2	2,0	1,0
N ₆₀ +P ₆₀ K ₆₀	8,8	3,6	5,0	5,8	0,1	-	1,2	0,3
N ₉₀ +P ₆₀ K ₆₀	8,8	3,9	6,0	6,2	0,1	-	2,2	0,7
N ₆₀ K ₆₀ (фон)	8,7	4,3	4,1	5,7	-	0,4	0,3	0,2
N ₆₀ K ₆₀ +P ₃₀	7,0	4,2	4,7	5,3	-	0,3	0,9	-
N ₆₀ K ₆₀ +P ₉₀	7,8	3,7	5,5	5,6	-	-	1,7	0,1
N ₆₀ P ₆₀ (фон)	8,8	4,0	3,1	5,3	0,1	0,1	-	-
N ₆₀ P ₆₀ +K ₃₀	12,4	4,3	5,1	7,3	3,7	0,4	1,3	1,8
N ₆₀ P ₆₀ +K ₉₀	9,1	4,2	3,9	5,7	0,4	0,3	0,1	0,2
БП	10,9	4,3	4,4	6,5	2,2	0,4	0,6	1,0
БП+P ₆₀ K ₆₀	7,6	4,2	4,3	5,4	-	0,3	0,5	-
БП+ N ₃₀ +P ₆₀ K ₆₀	6,6	4,9	5,0	5,5	-	1,0	1,2	-
БП+ N ₆₀ +P ₆₀ K ₆₀	6,7	4,1	4,8	5,2	-	0,2	1,0	-
НСР ₀₅					F _ф <F ₀₅	0,7	0,5	1,8

Влияние на рост урожайности люцерны инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых находилось на уровне тенденции. В этом случае было получено в среднем за 3 года исследований 6,5 т/га люцернового сена, что на 1 т/га, или на 18,2%, выше контроля без удобрений. В то же время от совместного применения препарата с полным минеральным удобрением при минимальной дозе азота (в варианте Биопрепарат+N₃₀P₆₀K₆₀) на травостое люцерны серповидной третьего и пятого годов пользования достигались достоверные прибавки урожая сена по отношению к контролю, составившие соответственно 1,0 и 1,2 т/га, или 15,6 и 31,6%. В среднем за 3 года опыта инокуляция семян люцерны серповидной биопрепаратом в сочетании с минеральными удобрениями (N₆₀P₆₀K₃₀) не давала эффекта.

На основании результатов по продуктивности люцерны серповидной и содержанию азота в сене определена биологическая азотфиксация, которая в среднем за годы исследований составила в фосфорно-калийном варианте P₆₀K₆₀ - 50 кг/га, в варианте с использованием биопрепарата - 55 кг/га и в варианте полного минерального удобрения N₆₀P₆₀K₃₀ - 81 кг/га.

Исследованиями установлены определенные зависимости качества сухой массы люцерны серповидной от применяемых средств химизации (таблица 3).

Таблица 3 – Химический состав сена люцерны серповидной (в среднем за 3 года), %

Вариант опыта	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Калий	Фосфор	Кальций
Контроль	14,83	30,10	2,72	6,03	1,60	0,31	1,81
P ₆₀ K ₆₀	14,10	29,21	2,84	5,93	1,76	0,33	1,89
P ₆₀ K ₆₀ +N ₃₀	14,57	28,99	2,91	6,06	1,72	0,33	1,98
P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀	14,57	30,35	2,67	5,71	1,61	0,32	1,78
P ₆₀ K ₆₀ +N ₉₀	14,45	30,86	2,58	5,83	1,56	0,32	1,68
N ₆₀ K ₆₀	14,96	29,87	2,81	5,99	1,74	0,32	1,84
N ₆₀ K ₆₀ +P ₃₀	12,91	29,76	2,67	5,76	1,82	0,33	1,80
N ₆₀ K ₆₀ +P ₉₀	15,02	29,67	2,76	6,10	1,63	0,32	1,89
N ₆₀ P ₆₀	11,91	29,68	2,55	5,61	1,82	0,32	1,76
N ₆₀ P ₆₀ +K ₃₀	15,50	30,19	2,61	6,13	1,57	0,32	1,88
N ₆₀ P ₆₀ +K ₉₀	13,60	30,51	2,59	5,98	1,49	0,32	1,77
БП	14,30	29,85	2,75	5,85	1,66	0,31	1,85
БП+ P ₆₀ K ₆₀	16,23	30,55	2,62	6,75	1,43	0,32	1,84
БП+ N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	15,52	29,79	2,78	6,31	1,58	0,32	1,90
БП+ N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16,22	30,85	2,60	6,71	1,31	0,32	1,78
НСР ₀₅	1,91	1,40	0,38	0,48	0,21	0,02	0,21

При внесении азотных минеральных удобрений в возрастающих дозах от 30 до 90 кг/га N содержание сырого протеина в сухой массе люцерны серповидной несколько уменьшалось - с 14,83% на контроле до 14,45-14,57%. Более заметным это снижение было при внесении калийных удобрений в высокой дозе (90 кг/га K₂O) - до 13,6%. Однако рост дозы фосфора минеральных удобрений до 90 кг/га P₂O₅, наоборот, привел к повышению содержания сырого протеина в люцерне до 15,02%.

В варианте N₆₀P₆₀K₃₀, где была достигнута максимальная в опыте урожайность люцерны серповидной - 7,3 т/га, в сене содержалось 15,5% сырого протеина, что свидетельствует о достаточной протеиновой обеспеченности. Высокое содержание сырого протеина в люцерновом сене на уровне 16,2% (в среднем за 3 года полевого опыта) отмечалось в вариантах совместного применения биопрепарата с N₆₀K₆₀, P₆₀K₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ при значении на контроле 14,8%.

Содержание сырой клетчатки в сене люцерны серповидной имело тенденцию к повышению с ростом доз азотных, а также калийных минеральных удобрений. Относительно большее содержание сырой клетчатки в сене - 31,43% - обнаруживалось у люцерны серповидной в варианте совместного применения биопрепаратов для инокуляции с минеральными удобрениями (БП+N₆₀P₃₀K₆₀).

Минеральные удобрения и инокуляция семян практически не влияли на содержание фосфора в люцерне. В среднем за 3 года исследований в люцерновом сене содержание фосфора на контроле составляло 0,31%, в вариантах опыта оно колебалось незначительно - от 0,31 до 0,33%.

Содержание калия в сене люцерны в среднем за годы исследований на контроле равнялось 1,60%, а в вариантах опыта варьировало от 1,31 до 1,82%. При этом более высокое значение содержания калия в сене наблюдалось в вариантах N₆₀P₆₀ и N₆₀P₃₀K₆₀.

Мало различались варианты опыта по содержанию кальция в сене люцерны. Если на контроле в среднем за годы опыта люцерна содержала 1,81% кальция, то в вариантах с использованием удобрений и биопрепарата – от 1,68 до 1,9%.

Следует учитывать, что в зоотехнической практике при оценке корма большое значение придается содержанию в нем важнейших питательных веществ в расчете на кормовую единицу. Так, на 1 кг кормовых единиц сбалансированного суточного рациона дойным коровам нужно около 110 г переваримого протеина, 7 г кальция, 4,5 г фосфора. При недостатке отдельных ингредиентов в основном корме предусматриваются соответствующие добавки [1]. Согласно данным проведенного полевого опыта, в люцерновом сене варианта с наибольшей продуктивностью N₆₀P₆₀K₃₀ в расчете на 1 кормовую единицу приходилось 155 г переваримого протеина, 31 г кальция, 25,3 г калия, 5,3 г фосфора, то есть полученный корм вполне соответствовал зоотехническим нормам кормления скота. В целом, исходя из экспериментальных данных полевого опыта в условиях мерзлотной таежной палевой почвы в Центральной Якутии можно заключить, что сено люцерны серповидной Якутской желтой в вариантах с внесением минеральных удобрений, а также биопрепарата для инокуляции семян по содержанию сырого протеина, клетчатки, золы, жира, углеводов, а также фосфора, калия и кальция вполне соответствовало отечественным нормам, принятым в рационах сельскохозяйственных животных.

Заключение. В экстремальных климатических условиях Якутии на мерзлотной таежной палевой почве важнейшим приемом повышения

урожайности и питательной ценности люцерны серповидной сорта Якутская желтая является применение минеральных удобрений при оптимизации их сочетаний и доз. По данным исследований в полевом опыте, максимальную урожайность сена люцерны Якутской желтой (7,3 т/га) обеспечивало внесение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, что на 32,7% выше контроля. При этом сено люцерны характеризовалось высоким качеством и содержало 15,5% сырого протеина, 0,32% фосфора и 1,5% кальция. Эффективным было также применение биопрепарата при инокуляции семян люцерны местными штаммами клубеньковых бактерий Якутский 1 и Якутский 2. Его использование в дозе 200 г на гектарную норму семян повышало урожайность люцерны Якутской желтой с 5,5 т/га на контроле до 6,5 т/га, или на 18,2%, при высокой обеспеченности сена сырым протеином – 14,3%, фосфором – 0,31% и кальцием – 1,8%.

Список литературы

1. Баканов В.Н., Овсищер Б.Р., Бондарева Н.И. Химический состав трав культурных пастбищ и пути их эффективного использования // Животноводство. – 1976. – Т. 15. - №3. – С. 36-39.
2. Кидин В.В. Система удобрения. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 534с.
3. Кутузова А.А. Значение биологического азота в луговодстве Нечерноземной зоны // Кормопроизводство. – М.: Колос, 1974. – С. 78-87.
4. Посыпанов Г.С. Основные направления исследований по симбиотической азотфиксации // Известия ТСХА. – 1988. – Вып. – С. 101-103.
5. Программа и методика исследований в географической сети полевых опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии. – М.: ВИУА, 1990. – 141 с.
6. Трепачев Е.П. О некоторых аспектах симбиотической фиксации азота бобовыми культурами // Агрохимия. – 1976. - № 1. – С. 138-147.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF FERTILIZERS AND INOCULATION OF SEEDS WITH BIOPREPARATION OF NODULE BACTERIA IN CULTIVATION OF SICKLE ALFALFA IN YAKUTIA

¹D. V.B. Borisova, ²G.E. Merzlaya

Abstract. Results of research in the field experiment, laid down at the scientific plot of the M.G. Safronov Yakut Scientific-Research Institute for

Agriculture on the effect of mineral fertilizers and a preparation based on local strains of nodule bacteria of the genus *Rhizobium* on the yield and chemical composition of alfalfa sickle hay of the Yakut yellow variety are presented. It was found that in extreme soil and climatic conditions of northern latitudes, when optimizing fertilizer systems – in variants with P60K60, N60P60K30 and a biological preparation, sickle alfalfa is able to form a high-value vegetative mass over 4 years and provide a hay yield of 6.5-7 t/ha with a crude protein yield of more than 0.9-1 t/ha. At the same time, sickle alfalfa hay meets the norms of feeding farm animals according to all indicators of zootechnical analysis and the content of phosphorus, potassium, and calcium.

Keywords: fertilizers; biological product; permafrost soil; yellow or sickle-shaped alfalfa; yield; hay quality.

УДК 631.8

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ
УДОБРЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ЗВЕНА
СЕВООБОРОТА И ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-
СРЕДНЕПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ**

Т.Ю. Бортник, А.Ю. Карпова, К.С. Клековкин, В.А. Иудин

ФГБОУ ВО Удмуртский государственный аграрный университет

E-mail: agrohim@udsau.ru

Аннотация. Представлено обобщение исследований в длительном полевом опыте Географической сети опытов РФ по изучению эффективности различных систем удобрения, который был заложен в Удмуртской Республике в 1979 г. Систематическое применение органических и минеральных удобрений на фоне известкования и без него в течение 40 лет привело к существенному изменению агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Выявлено подкисление почвы при использовании минеральных удобрений без известкования. Внесение извести по полной гидролитической кислотности способствовало поддержанию оптимального состояния физико-химических свойств почвы. Установлено накопление подвижных форм фосфора и калия в почве при использовании минеральных и органоминеральных систем удобрения. Проявилось последствие изучаемых систем удобрения, которое выразилось в получении достоверных прибавок урожайности зерна ячменя и зеленой массы клевера лугового. В прямом действии получены существенные прибавки урожайности зеленой массы викоовсяной смеси и клубней

картофеля в пределах 33,3-84,3 %; и 36,8-87,2 % по отношению к контролю соответственно.

Ключевые слова: длительный опыт, системы удобрения, дерново-подзолистые почвы, агрохимические показатели, урожайность, последствие, севооборот

В течение более чем 30 последних лет вынос элементов питания преобладает над поступлением их в почву [8], поэтому в настоящее время на значительных площадях пахотных земель выражено снижение показателей плодородия почв [7, 11]. Ограничивается также потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур, даже высокопродуктивных интенсивных сортов. По данным В.Г. Сычева, А.Н. Налиухина, на 1 га пашни должно приходиться $N_{62}P_{22}K_{34,5}$; фактически к 2030 г. необходимо утроить применение минеральных удобрений [8]. Возможными альтернативными путями формирования положительного баланса элементов питания в настоящее время является применение нетрадиционных органических удобрений (соломы, сидератов), а также биопрепаратов, содержащих штаммы азотфиксирующих бактерий [12, 4, 9].

Исследования в длительных полевых опытах с удобрениями дают большую информацию об эффективности агрохимикатов, причем в конкретных почвенно-климатических условиях [2, 14, 5]. В условиях Нечерноземной зоны, где самое широкое распространение имеют дерново-подзолистые почвы, отличающиеся низким плодородием, в частности кислой реакцией и низким содержанием подвижных форм элементов питания, важно выявить закономерности формирования определенного уровня плодородия под влиянием систематического применения органических, минеральных удобрений, а также известкования [16, 13-15]. Уровень продуктивности сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется как применением удобрений, так и показателями плодородия почв.

В 1979 г. в Южном агроклиматическом районе Удмуртской Республики под руководством И.П. Дерюгина и А.С. Башкова на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве был заложен длительный полевой опыт в рамках Геосети опытов России. В настоящее время данный опыт продолжается по теме «Влияние систематического внесения различных доз удобрений, их сочетаний и соотношений на продуктивность 4-хпольного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы» [6]. Исследования проводятся в севообороте: занятый пар (однолетние травы) – озимые зерновые – пропашные – ячмень. В схеме опыта было 17 вариантов различных

сочетаний агрохимикатов, в данной статье рассматриваются наиболее яркие варианты (см. таблицы 1-3). Общая площадь делянки 120 м²; учётная площадь – 95 м². Повторность четырехкратная, расположение вариантов в повторениях рендомизированное. Технология возделывания культур типичная для условий Удмуртской Республики и для Вятско-Камской земледельческой провинции в целом. Доза полуперепревшего навоза КРС 40 т/га; навоз вносили под пропашные культуры, в большинстве случаев возделывали картофель. Согласно схеме опыта проводили систематическое известкование, один раз в восемь лет по полной гидролитической кислотности. Дозы минеральных удобрений определяли по зональным рекомендациям в зависимости от требований культур. В таблицах 1-3 указаны соотношения элементов питания, которые выдерживались все годы проведения исследований. В среднем за 1979-2019 гг. ежегодные дозы составили N₆₃P₆₄K₆₄. Учеты, наблюдения и анализы проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа с использованием прикладных программ *Exel*.

Исходные агрохимические показатели пахотного слоя почвы опытного участка представлены в таблице 1; почва перед закладкой опыта была слабокислой, со средним содержанием подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову.

Удмуртская Республика расположена в восточной части Русской равнины, в междуречье рек Камы и Вятки. Согласно почвенно-географическому районированию территории России, Удмуртия является частью территории Вятско-Камской провинции Южно-таежной подзоны дерново-подзолистых почв. На долю дерново-подзолистых почв в Удмуртской Республике приходится 76,1 % пахотных земель. Данная местность характеризуется следующими агрометеорологическими показателями: средняя многолетняя годовая температура воздуха составляет 1,5°C; продолжительность вегетационного периода с температурой более 5 и 10 °C – 164 и 123 дня соответственно; длительность безморозного периода – 120 и 125 дней; сумма активных температур (более 10 °C) – 1900-2000 °C; средняя многолетняя сумма осадков за год – 475-500 мм, за вегетационный период – 250-270 мм. Средняя высота снежного покрова – 45-55 см; гидротермический коэффициент – 1,1; приход ФАР за вегетационный период с температурой выше 10°C – 2,0-2,5 млрд. ккал/га [3].

В данной статье представлены результаты исследований 2019-2021 гг., когда изучалось последствие 40-летнего использования систем удобрения на продуктивность звена севооборота: ячмень – клевер I и II года пользования.

В эти годы удобрения не вносили. В 2022 г. внесение удобрений, согласно схеме, было возобновлено, и восстановлен исходный севооборот: занятый пар (викоовсяная смесь – 2022 г.) – озимая тритикале (2023 г.) – картофель (2024 г.). Осенью 2021 г. деланки опыта были известкованы по полной гидролитической кислотности; в 2024 г. весной под картофель внесли полуперепревший навоз КРС в дозе 40 т/га.

Агрометеорологические условия довольно сильно различались по годам; 2019 год отличался относительно низкими температурами вегетационного периода и высоким увлажнением. В 2020 г. в первую половину вегетации выпадало недостаточно осадков при относительно низких температурах, а июль отличался высокими температурами и интенсивным увлажнением. Вегетационный период 2021 г., был жарким и сухим. В 2022 г. в первой половине вегетационного периода было превышение среднемноголетних показателей температур и выпадения осадков. Вегетационный период 2023 г. отличался резким недостатком влаги и относительно высокими температурами. Агрометеорологические условия вегетационного периода 2024 г. сложились относительно благоприятно.

Результаты исследований. В таблице 1 представлены агрохимические показатели почвы в 2019 г. после 40-летнего применения систем удобрения в сравнении с исходными показателями.

Содержание органического вещества (гумуса) в почве свидетельствует об устойчивости агроэкосистем [10]. В наших исследованиях без применения удобрений выражено снижение содержания гумуса в 2019 г. почти вдвое. Систематическое известкование способствовало достоверному повышению этого показателя на 0,84 % относительно контроля. Здесь поступление органического вещества можно связать только с увеличением количества пожнивно-корневых остатков. Органическая система удобрения (вариант 7) на фоне известкования способствовала увеличению содержания гумуса относительно контроля, но по сравнению с исходным содержанием этот показатель к 2019 г. снизился. Следовательно, внесение 40 т/га навоза один раз в севооборот недостаточно для воспроизводства содержания гумуса. По отношению к исходным данным в условиях 2019 г. только в вариантах 3-6 (минеральная и органоминеральная системы удобрения на фоне известки) выявлено достоверное увеличение содержания гумуса; почву в этих вариантах следует отнести к среднегумусированным. В то же время при использовании только известкования и органической системы удобрения на фоне известки (варианты 2 и 7) почвы являются слабогумусированными.

Таблица 1 – Изменение агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы за 40 лет использования систем удобрения (Удмуртская Республика, Южный агроклиматический район, 1979 и 2019 гг.)

Варианты	рН _{КСl}	S	Нг	V %	Органическое вещество, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
		ммоль/100 г почвы				мг/кг	
Исходные данные перед закладкой (1979 г.)							
	5,25	10,8	2,75	79,7	2,15	69	91
2019 г.							
1. Без удобрений (к)	5,15	11,0	1,80	85,9	1,06	86	90
2. Известь по 1Н _г	5,79	13,2	1,18	86,3	1,90	145	93
3. Известь + N ₁ P ₁ K ₁	5,19	13,1	2,24	85,6	2,73	188	151
4. N ₁ P ₁ K ₁	4,84	12,2	2,96	80,3	2,40	164	135
5. Известь + навоз 40 т/га + N ₁ P ₁ K ₁	5,28	11,4	2,32	83,2	2,85	214	122
6. Известь + навоз 40 т/га + N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	5,23	12,6	2,52	83,4	2,83	236	201
7. Известь + навоз 40 т/га	5,50	12,2	1,46	89,0	1,78	156	111
8. Известь + N _{0,5} P _{0,5} K _{0,5}	5,23	10,7	2,60	80,4	2,23	123	119
НСР ₀₅	0,37	2,1	0,6	н.р.	0,37	58	49

Содержание подвижного фосфора по сравнению с исходным состоянием сильно различается по вариантам в зависимости от используемых систем удобрения. На контрольном варианте без удобрений содержание подвижного фосфора осталось на уровне средней обеспеченности, хотя имело тенденцию к повышению. Таким образом, почва при 40-летней эксплуатации без внесения фосфорных удобрений поддерживала уровень обеспеченности, вероятно, за счёт перехода фосфора из менее доступных форм в подвижные. По сравнению с контролем в 2019 г. выражено заметное достоверное увеличение содержания фосфора при использовании только известкования (вариант 2), которое

составило 59 мг/кг. Обеспеченность почвы при этом соответствует повышенному уровню. Этот факт можно объяснить переходом фосфора в подвижное состояние при нейтрализации почвенной кислотности. Применение органической системы удобрения на фоне извести способствовало увеличению содержания подвижного фосфора на 70 мг/кг. Наиболее высокое накопление подвижного фосфора выявлено при использовании минеральной и органоминеральных систем удобрения на фоне извести (варианты 3, 5 и 6); обеспеченность почвы подвижным фосфором в этих вариантах очень высокая.

Содержание подвижного калия в 2019 г. довольно сильно различалось по вариантам. При этом в контроле без удобрений этот показатель остался на прежнем уровне. Достоверное повышение относительно контроля выявлено только при использовании минеральной и органоминеральной систем удобрения на фоне извести (варианты 3 и 6). В этих вариантах содержание подвижного калия следует отнести к повышенной и высокой обеспеченности соответственно.

Физико-химические показатели также изменились в зависимости от используемых систем удобрения. Без систематического известкования показатель pH_{KCl} значительно снизился как по отношению к исходному состоянию почвы, так и к контрольному варианту; почва в этом варианте среднекислая, тогда как во всех остальных вариантах её следует отнести к слабокислым. Данный факт согласуется и с гидролитической кислотностью и степенью насыщенности почв основаниями. Сумма обменных оснований достоверно выше при систематическом известковании. Значение систематического применения извести показано в полученных данных; почва при этом активно противостоит подкислению и сохраняет высокую насыщенность основаниями.

Продуктивность культур. На опытном участке ячмень в 2019 г. возделывался по второму году, а клевер луговой в 2020 и 2021 гг. – по третьему и четвёртому году последствий систем удобрения (таблица 2).

Существенные прибавки урожайности зерна (49,6-79,6 % к урожайности на контроле) получены в вариантах с использованием минеральной и органоминеральной систем удобрения на фоне извести. В остальных вариантах получены прибавки урожайности зерна на уровне положительной тенденции. Последствие извести, внесённой в 2009 г., несущественно. Последствие органической системы удобрения в сочетании с известью также не проявилось. Не выявлено и достоверное повышение урожайности зерна по последствию полного минерального удобрения без известкования.

Таким образом, известкование является фактором, наиболее значимым для повышения эффективности систем удобрения.

Таблица 2 – Последствие длительного применения систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур в звене севооборота, т/га (Удмуртская Республика, Южный агроклиматический район, 2019-2021 гг.)

Вариант	Ячмень, зерно	Клевер 1 г.п., зеленая масса	Клевер 2 г.п., зеленая масса
1. Без удобрений (к)	1,13	30,7	2,63
2. Известь	1,22	35,4	2,95
3. Известь + N ₁ P ₁ K ₁	1,69	39,6	4,25
4. N ₁ P ₁ K ₁	1,51	35,7	3,46
5. Известь + навоз 40 т/га + N ₁ P ₁ K ₁	2,01	41,5	4,23
6. Известь + навоз 40 т/га + N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	2,03	39,4	4,41
7. Известь + навоз 40 т/га	1,37	35,4	3,80
8. Известь + N _{0,5} P _{0,5} K _{0,5}	1,25	35,2	3,49
НСР ₀₅	0,46	4,3	0,87

Растения клевера образовали довольно мощную розетку под покровом ячменя в 2019 г., хорошо перезимовали и в относительно благоприятных условиях вегетационного периода 2020 г. сформировали высокую урожайность зелёной массы в пределах 30,7-41,5 т/га. Существенные прибавки урожайности зелёной массы клевера (15,2 -35,1 % к урожайности на контроле) получены во всех вариантах систем удобрений, в том числе выражено и последствие извести, где получена прибавка урожайности 15,3 %. Органическая система удобрения на фоне извести в последствии способствовала получению такой же прибавки урожайности зелёной массы по отношению к контролю. Однако последствие навоза относительно фона известкования статистически не доказано. Выражено достоверное последствие минеральных удобрений в 4 и 5 вариантах. Таким образом, возделывание клевера 1 года пользования при благоприятных условиях вегетационного периода 2020 г. позволило получить высокую урожайность зелёной массы и максимальную отдачу от последствия систем удобрения.

В 2021 г. перезимовка растений клевера была хуже, чем в 2020 г. Были выражены местами даже выпадения растений, особенно на вариантах, где не проводилось известкование. Агрометеорологические условия вегетационного

периода 2021 г. не способствовали хорошему отрастанию растений; проявилась также засорённость участков относительно равномерно по всему опыту. В связи с этим масса растений была значительно меньше. Наблюдался большой разброс урожайных данных по участкам. Однако можно отметить, что последствие минеральной и органоминеральных систем удобрения (варианты 3, 5 и 6) проявилось в получении достоверных прибавок урожайности по отношению к контролю 60,8-67,7 %. Органическая система удобрения в сочетании с известкованием также способствовала получению достоверной прибавки урожайности относительно контроля 44,5 %. Однако последствие только известкования и органического удобрения статистически не доказано.

Выявлена прямая тесная связь урожайности ячменя с содержанием органического вещества в почве, а также с содержанием подвижных форм фосфора и калия; $r = 0,81$; $0,85$ и $0,63$ соответственно; урожайность зелёной массы клевера лугового также находится в прямой тесной зависимости от содержания гумуса и подвижного фосфора ($r = 0,89$ и $0,84$) и в прямой средней корреляционной связи с содержанием подвижного калия ($r = 0,59$). Таким образом, продуктивность сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется уровнем основных показателей плодородия дерново-среднеподзолистой почвы, которые были сформированы в результате 40-летнего использования систем удобрения.

В 2019 г., 2020 г., и в 2021 г., были проведены анализы проб зерна ячменя и растений клевера на содержание элементов питания и некоторых показателей качества. Содержание сухого вещества в зерне ячменя и в растениях клевера по вариантам опыта изменялось в пределах ошибки ($F_{\phi} < F_{05}$), однако выражена явная тенденция повышения данного показателя при использовании органоминеральной системы удобрения с полными и полуторными дозами NPK (варианты 5 и 6). Содержание азота, фосфора, калия и сырого протеина в растительных пробах имело явно выраженную тенденцию зависимости от использования удобрений. Существенное увеличение этих показателей выражено при использовании минеральной системы удобрения на фоне систематического известкования и без него (варианты 3 и 4). Вынос питательных веществ растениями из почвы определяется уровнем урожайности, однако и содержание элементов питания также имеет значение. В наших исследованиях получена высокая отзывчивость ячменя и клевера на последствие систем удобрения. Так, при использовании органоминеральной системы удобрения на фоне известки с полными и полуторными дозами NPK

(варианты 5 и 6) нормативный вынос азота, фосфора и калия с урожаем ячменя и клевера почти вдвое превышал аналогичные показатели на контрольном варианте без удобрений. В целом получена высокая отзывчивость клевера на последствие систем удобрения.

В 2022 г. исходный севооборот был возобновлен с внесением всех агрохимикатов, предусмотренных в схеме опыта. Результаты учёта урожайных данных представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние длительного применения систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур в звене севооборота, т/га (Удмуртская Республика, Южный агроклиматический район, 2022-2024 гг.)

Вариант	Викоовсяная смесь, зеленая масса (2022)	Озимая тритикале, зерно (2023)	Картофель, клубни (2024)
1. Без удобрений (к)	15,9	0,81	11,7
2. Известь	17,9	0,75	16,0
3. Известь + N ₁ P ₁ K ₁	26,5	1,43	20,3
4. N ₁ P ₁ K ₁	24,4	1,32	19,5
5. Известь + навоз 40 т/га + N ₁ P ₁ K ₁	29,3	1,30	21,1
6. Известь + навоз 40 т/га + N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	29,1	1,64	21,5
7. Известь + навоз 40 т/га	17,2	0,77	18,4
8. Известь + N _{0,5} P _{0,5} K _{0,5}	21,2	1,17	17,7
НСР ₀₅	2,8	0,43	3,6

Уровень урожайности зелёной массы викоовсяной смеси в условиях 2022 г. получен высокий, в пределах 15,9-29,3 т/га. Практически во всех вариантах получены существенные прибавки урожайности, кроме варианта с использованием только извести. Применение агрохимикатов на фоне известкования привело к повышению эффективности их действия. Так, прибавка от применения полного минерального удобрения составила 8,5 т/га, а на фоне извести эти же удобрения способствовали получению дополнительно 10,6 т/га. Применение полных доз NPK привело к повышению урожайности на 8,6-12,1 т/га по отношению к фону. Однако увеличение доз NPK в 1,5 раза (вариант 6) не способствовало достоверному повышению урожайности по сравнению с одинарными дозами (по отношению к варианту

5). Органические удобрения, внесённые в 2015 г., не проявили своего последствия.

Уровень урожайности зерна озимой тритикале в условиях 2023 г. получен низкий. Это обусловлено неблагоприятными агрометеорологическими условиями вегетационного периода, особенно недостаточной влагообеспеченностью. В связи с этим достоверные прибавки урожайности получены лишь при использовании органоминеральных систем удобрения на фоне известкования, причём с одинарными и полуторными дозами NPK – в пределах 0,49-0,83 т/га. То есть половинные дозы NPK в условиях 2023 г. не способствовали получению существенных прибавок урожайности. От применения извести и навоза не получено увеличения урожайности. Основную роль в формировании урожайности зерна сыграли минеральные удобрения.

При оценке урожайности картофеля в 2024 г. следует отметить, что агрометеорологические условия вегетационного периода сложились относительно благоприятно. Общеизвестно, что картофель – культура весьма требовательная к питанию и хорошо отзываящаяся на удобрения. В наших исследованиях достоверные прибавки урожайности клубней получены при использовании всех изучаемых систем удобрения – в пределах 4,3-10,2 т/га. Выявлена высокая эффективность минеральных удобрений в дозах по 80 кг д.в./га каждого элемента. Увеличение дозы в 1,5 раза не привело к существенному возрастанию урожайности. Использование навоза в дозе 40 т/га позволило получить увеличение урожайности лишь на уровне тенденции. Наиболее высокие прибавки урожайности клубней получены при использовании минеральных и органоминеральных систем удобрения, причём разница в действии между ними статистически не доказана.

Заключение.

1. Длительное использование систем удобрения в течение 40 лет оказало существенное влияние на агрохимические показатели дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Выявлено подкисление при применении минеральной системы удобрения без известкования. Почва по сравнению с исходным состоянием перешла в группу среднекислых почв. Систематическое внесение извести способствовало поддержанию оптимального состояния физико-химических показателей почвы. Выявлено накопление подвижных форм фосфора и калия в почве до повышенной и высокой обеспеченности при систематическом использовании минеральных и органоминеральных систем удобрения на фоне известкования и без него.

2. Установлено последствие минеральных и органоминеральных систем удобрения на фоне известкования, которое выразилось в получении существенных прибавок урожайности зерна ячменя – 49,6-79,6 %; зеленой массы клевера – 15,2-67,7 % по отношению к контролю без удобрений.

3. В благоприятных условиях 2022 и 2024 гг. выявлена высокая эффективность минеральных и органоминеральных систем удобрения. Прибавки урожайности зеленой массы викоовсяной смеси в 2022 г. составили 33,3-84,3 % от применения сочетания органических и минеральных удобрений на фоне известки по отношению к контролю. Существенное увеличение урожайности картофеля в условиях 2024 г. составило 36,8-87,2 %.

Список литературы

1. Биологизированная технология возделывания сортов картофеля в Московской области / М. В. Загоруйко, Ю. Н. Синих, П. Н. Балабко [и др.] // Плодородие. – 2024. – № 4(139). – С. 72-74.

2. Лукин, С.М. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы / С.М. Лукин, Е.И. Золкина, Е.В. Марчук // Плодородие. – 2021. - № 3. – С. 93-98

3. Макаров, В. И. Актуальные агроклиматические ресурсы Удмуртии / В. И. Макаров // Реализация принципов земледелия в условиях современного сельскохозяйственного производства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 85-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора кафедры земледелия и землеустройства Владимира Михайловича Холзакова, Ижевск, 23–24 марта 2017 года. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 176-179. – EDN YTVRBT.

4. Плодородие почвы и продуктивность картофеля на основе сидератов, минеральных удобрений и биологически активных препаратов / Н. А. Тимошина, Е. В. Князева, Л. С. Федотова, С. В. Жевора // Плодородие. – 2023. – № 2 (131). – С. 8-13.

5. Продуктивность картофеля при длительном применении систем удобрения в Среднем Предуралье / Т. Ю. Бортник, В. И. Макаров, А. Ю. Карпова, А. С. Башков // Материалы Международной научной конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ "ВНИИ агрохимии" и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями : Тезисы докладов, Москва, 01–02 декабря 2021 года / Под редакцией С.И. Шкуркина. – Москва:

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. – С. 52-61.

6. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. Издание второе – М.: ВНИИА, 2005. – 196 с.

7. Сычев, В.Г. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений / В.Г. Сычев, С.А. Шафран // Плодородие. – 2019. – №2. – С. 22-25.

8. Сычев, В. Г. Потребность в минеральных удобрениях с учётом роста урожаев и воспроизводства плодородия почв России / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин // Плодородие. – 2024. – № 4(139). – С. 5-10.

9. Тиранова, Л. В. Влияние биологических факторов на продуктивность и плодородие дерново-подзолистой почвы в усовершенствованном севообороте / Л. В. Тиранова // Плодородие. – 2024. – № 3(138). – С. 83-86.

10. Титова, В.И. Особенности системы применения удобрений в современных условиях / В.И. Титова // Агрохимический вестник, 2016, № 1. – С. 2-7.

11. Титова, В. И. Динамика показателей плодородия дерново-подзолистых почв в зависимости от их гранулометрического состава / В. И. Титова, И. А. Борисычев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 6 (396). – С. 603-607.

12. Устойчивое возделывание картофеля в условиях изменения климата / И. Г. Козлов, М. А. Петрова, И. И. Бочарников, Н. Ф. Денискина // Плодородие. – 2023. – № 4 (133). – С. 33-36.

13. Чеботарев, Н. Т. Роль севооборота и удобрений в воспроизводстве плодородия и продуктивности дерново-подзолистых почв республики Коми / Н. Т. Чеботарев, О. В. Броварова // Агрохимический вестник. – 2021. – № 4. – С. 9-13.

14. Чухина, О. В. Продуктивность культур и плодородие дерново-подзолистых почв Северо-Запада Нечерноземья при разной насыщенности посевов удобрениями: специальность 06.01.04 "Агрохимия": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Чухина Ольга Васильевна. – Москва, 2022. – 48 с.

15. Vasbieva, M. T. Effect of Long-Term Use of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilizers on the Contents of Phosphorus Compounds in Soddy-Podzolic Soil of the Urals / M. T. Vasbieva, N. E. Zavyalova, D. G. Shishkov // Eurasian Soil Science. – 2024. – Vol. 57, No. 8. – P. 1362-1368.

16. Influence of the Fertilization System on Fertility Indicators of Sod-Podzolic Heavy Loamy Soil in the Pre-Urals / V. R. Yamaltdinova, N. E. Zavyalova, D. S. Fomin, M. T. Vasbieva // Russian Agricultural Sciences. – 2020. – Vol. 46, No. 2. – P. 153-156.

THE INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZATION SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY OF CROPS OF THE CROP ROTATION LINK AND FERTILITY INDICES OF SOD-MEDIUM PODZOLIC MEDIUM LOAMY SOIL

T.Y. Bortnik, A.Y. Karpova, K.S. Klekovkin, V.A. Iudin

Abstract. The article presents a summary of the research in the long-term field experiment of the Russian Federation Geographical Experimental Network on studying the effectiveness of various fertilization systems, which was established in the Udmurt Republic in 1979. Systematic application of organic and mineral fertilizers with and without liming over 40 years has led to significant changes in the agrochemical parameters of sod-medium podzolic medium loamy soil. Soil acidification was detected when using mineral fertilizers without liming. The application of lime at full hydrolytic acidity maintains the optimal state of the physical and chemical properties of the soil. The accumulation of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil has been established when using mineral and organomineral fertilization systems. The aftereffect of the studied fertilization systems was manifested, which was expressed in obtaining reliable increases in the yield of barley grain and green mass of red clover. In direct action, significant increases in the yield of green mass of the vetch-oat mixture and potato tubers were obtained within the range of 33.3-84.3%; and 36.8-87.2% in relation to the control, respectively.

Key words: long-term experiment, fertilization systems, sod-podzolic soils, agrochemical indicators, productivity, aftereffect, crop rotation

**ОРГАНИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ КАК ФАКТОР
ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ
ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

О.В. Броварова

Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: olbrov@mail.ru

Аннотация. В результате научных исследований, в условиях Республики Коми изучено влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (1978–2019 гг). Проведенная оценка по применению различных доз удобрений показала, что комплексное длительное применение удобрений положительно повлияло на содержание гумуса в почве и составило 2,5–2,8 %. Наблюдалось увеличение средних значений обменной кислотности почвы (pH_{KCl}) до 5,3–5,9 и снижало гидролитическую кислотность до 2,8–3,4 ммоль/100 г почвы. При совместном применении органических и минеральных удобрений позволило увеличить содержание подвижного фосфора за 7 ротаций до 320–387 мг/кг почвы.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, агрохимические показатели, органические и минеральные удобрения.

Введение. Повышение продуктивности агроценозов Европейского Северо-Востока требует неотложного решения вопросов сохранения и повышения плодородия почв, сокращения материальных и энергетических затрат на производство сельскохозяйственной продукции. Для Республики Коми (РК) характерны прохладное и короткое лето, поздние весенние и ранние осенние заморозки, что ослабляет рост растений и снижает потребление питательных веществ [1]. На пахотных угодьях РК представлены в основном дерново-подзолистые почвы, для которых характерно очень низкое естественное плодородие [2].

В связи с недостаточными ресурсами органических удобрений и высокой стоимостью минеральных, в повышении плодородия почв возрастает роль севооборотов с высокой насыщенностью однолетними и многолетними травами, позволяющими без значительных затрат повышать продуктивность культур при высоком качестве сельскохозяйственной продукции [3–7]. Основным элементом системы земледелия являются севообороты, что представляет основу для проведения всех агрономических мероприятий, в

частности, систем обработки почвы, систем удобрения, систем борьбы с эрозией почвы, защиты посевов от сорняков, болезней и вредителей.

Стационарные опыты являются главным источником информации при изучении фундаментальных проблем земледелия, а их результаты составляют основу стабильного эффективного земледелия. Наиболее полно изучить возможность применения таких севооборотов и оценить влияние вносимых доз удобрений на их продуктивность и качество продукции, рациональное использование материальных ресурсов и возмещение в почву элементов питания и органического вещества позволяют длительные полевые опыты [8–11].

Полевые культуры, выращиваемые на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах без внесения удобрений, характеризуются пониженным содержанием азота и зольных элементов (Ca, Mg, P), что связано с низким плодородием этих почв. При достаточном обеспечении основными элементами питания в почве и в культурах повышается концентрация этих элементов. что длительное систематическое внесение органических и минеральных удобрений не только сохраняет общий запас гумуса, но и увеличивает его содержание в почве. Закрепление почвой органического вещества органических удобрений и разлагающихся растительных остатков происходит более эффективно при совместном внесении органических и минеральных удобрений. Под влиянием удобрений, особенно органических в сочетании с минеральными, в составе органического вещества почвы повышается содержание гуминовых кислот и расширяется соотношение фракции гуминовых кислот к фульвокислотам, уменьшается содержание наиболее подвижной, легко вымываемой фракции органического вещества [12]. Изменение содержания гумуса в зависимости от внесенных органических и минеральных удобрений в многолетних опытах показывает положительное влияние при длительном внесении минеральных удобрений на сохранение и даже некоторое накопление гумуса в почве [13–15]. При этом, большинство исследователей отмечают, что минеральные удобрения при длительном применении без навоза и других органических удобрений приводят к стабилизации содержания гумуса на более низком, чем в естественных, незатронутых антропогенным воздействием условиях, уровне [16, 17].

Исследования на дерново-подзолистой почве показали, что совместное внесение органических (80 т/га под картофель) и минеральных удобрений (NPK₆₀) повышало агрохимические свойства почвы, качество органического вещества и продуктивность севооборота. Одним из важных факторов стабилизации гумусного состояния дерново-подзолистых почв является

известкование, роль которого возрастает при систематическом внесении в севообороте физиологически кислых минеральных удобрений [18].

Сельскохозяйственное использование дерново-подзолистых почв оказывает значительное воздействие на содержание и состав обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе. Особенно ощутимые изменения происходят под влиянием длительного применения удобрений и известкования, которое затрагивает не только пахотный слой, но и нижележащие горизонты почвы [19].

Нейтрализация почвенной кислотности путем известкования оказывает высокое положительное влияние на минерализацию почвенного азота и эффективность азотных удобрений. Азотные удобрения вследствие проявления свойственной им физиологической кислотности, сильно подкисляют почву при длительном их внесении в севообороте и поэтому проведение периодического известкования почвы является непременным условием повышения их эффективности [20, 21].

Фосфор является одним из наиболее важных элементов питания растений, обеспеченность которым принято считать одним из основных показателей окультуренности почв. Среди неорганических соединений фосфора в дерново-подзолистых почвах преобладают фосфаты железа и алюминия, такие как, стренгит, варисцит, крандаллит, аугелит и другие. Фосфаты могут также сорбироваться почвенными коллоидами. Сорбционная связь фосфатов с почвенным поглощающим комплексом усиливается с уменьшением pH, поэтому доступность сорбированных фосфатов растениям понижается при подкислении дерново-подзолистой почвы [22].

В практике сельскохозяйственного использования почв происходит активное вовлечение в питание растений необменной формы калия, являющейся формой, в значительной степени определяющей своеобразную буферность почв в отношении калия, изучая взаимодействие калийных удобрений с почвой, установили, что в необменной форме фиксировалось до 70-90% внесенного калия. При систематическом применении калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава в дозах 60–90 кг/га заметная миграция калия до глубины 100 см наблюдалась только на супесчаной почве. На тяжелом суглинке калий передвигался не глубже 40 см, на среднем суглинке – до 60 см [22–25]. Способы воспроизводства плодородия состояния дерново-подзолистых почв имеют первоочередное значение для земледелия Республики Коми, пахотные земли которой на 91 % представлены этим типом почв.

Химизация земледелия является неперенным условием современного развития сельского хозяйства. Будучи, прежде всего, средством прямого воздействия на почву, удобрения при сбалансированном их применении повышают содержание в них гумуса и питательных веществ, усиливают поглощательную способность и буферность почвы, улучшают ее физические свойства. При этом возрастает активность биологических процессов в почве, оптимизируются условия корневого питания растений, интенсифицируется продукционный процесс посевов.

Объекты и методы. Комплексные исследования пахотных почв, их физико-химических особенностей выполняли на землях Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, где, начиная с 1978 г. проводится долговременный полевой эксперимент с удобрениями в кормовом севообороте. Почва опытного участка – сильноподзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках. На начало эксперимента (1978 г.) содержание гумуса варьировало в пределах 2,1–2,6%; pH_{KCL} – 4,8–5,6; сумма поглощенных оснований – 9,2–11,6 ммоль/100 г почвы; содержание подвижных форм фосфора – 180–246, калия – 146–190 мг/кг почвы.

Изучение влияния различных доз минеральных удобрений (расчетная, $\frac{1}{3}$ и $\frac{1}{2}$ от расчетной) и действия двух доз органических удобрений (40 и 80 т/га) на плодородие дерново-подзоистой почвы, рост и развитие кормовых культур в шестипольном кормовом севообороте со следующим чередованием культур: картофель, однолетние травы + многолетние травы, многолетние травы 1 г.п., многолетние травы 2 г.п., однолетние травы, картофель (овощи). Органические удобрения вносили осенью под картофель в чистом виде и на фоне действия минеральных удобрений. Расчетные дозы NPK под однолетние травы на запланированный урожай (15, т/га) составили: $N_{13}P_{11}K_{39}$ ($\frac{1}{3}$ дозы), $N_{20}P_{16}K_{58}$ ($\frac{1}{2}$ дозы), $N_{40}P_{32}K_{116}$ (полная расчетная доза) кг/га д.в. на 1 га. Площадь опытных делянок 100 м² (12,5х8), повторность опыта четырехкратная, площадь участка под опытом 4800 м².

Схема опыта:

1. Контроль (без удобрений)	5. ТНК40 и/га (фон 1)	9. ТНК80 т/га (фон 2)
2. $N_{13}P_{11}K_{39}$ ($\frac{1}{3}$ NPK)	6. фон 1 + $\frac{1}{3}$ NPK	10. фон 2 + $\frac{1}{3}$ NPK
3. $N_{20}P_{16}K_{58}$ ($\frac{1}{2}$ NPK)	7. фон 1 + $\frac{1}{2}$ NPK	11. фон 2 + $\frac{1}{2}$ NPK
4. $N_{40}P_{32}K_{116}$ (1 NPK)	8. фон 1 + 1 NPK	12. фон 2 + 1 NPK

Агрохимический анализ почвы выполняли в соответствии с ГОСТами и методами, принятыми в агрохимической службе и почвоведении.

Обсуждение результатов. Применение различных доз органических и минеральных удобрений и их совместное использование в длительном опыте оказало существенное влияние на агрохимические показатели дерново-подзолистой среднеоккультуренной почвы, средние значения приведены на рисунках 1–5. В варианте без удобрений содержание гумуса на протяжении 6 ротаций практически не менялось и оставалось на уровне 2,0–2,1 %. А в период 2014–2019 гг. (7-ая ротация) содержание гумуса увеличилось на 0,5 % и составило 2,6 % по сравнению с исходным его содержанием (1 ротация) – 2,1 %. Среднее содержание гумуса в контрольном варианте составило 2,1 %.

Использование 3-х доз минеральных удобрений, 2-х доз органических удобрений, а также применение 3-х доз NPK на фоне ТНК 40 и 80 т/га способствовало увеличению среднего содержания гумуса до 2,4–2,8 %, что выше на 0,3–0,7 % контрольного варианта. Максимальное накопление гумуса в почве отмечается при использовании органических удобрений в дозе 80 т/га, а также при применении доз 1/2 NPK и 1 NPK на фоне ТНК 80 т/га, в этих вариантах среднее содержание гумуса в почве составило 2,7 %, 2,8 % и 2,7 %, соответственно (рисунок 1). Накопление гумуса в почве происходило, прежде всего, за счет органических удобрений, а также корнепоживных остатков культур, особенно бобово-злаковых травосмесей и их трансформации под действием почвенных микроорганизмов.

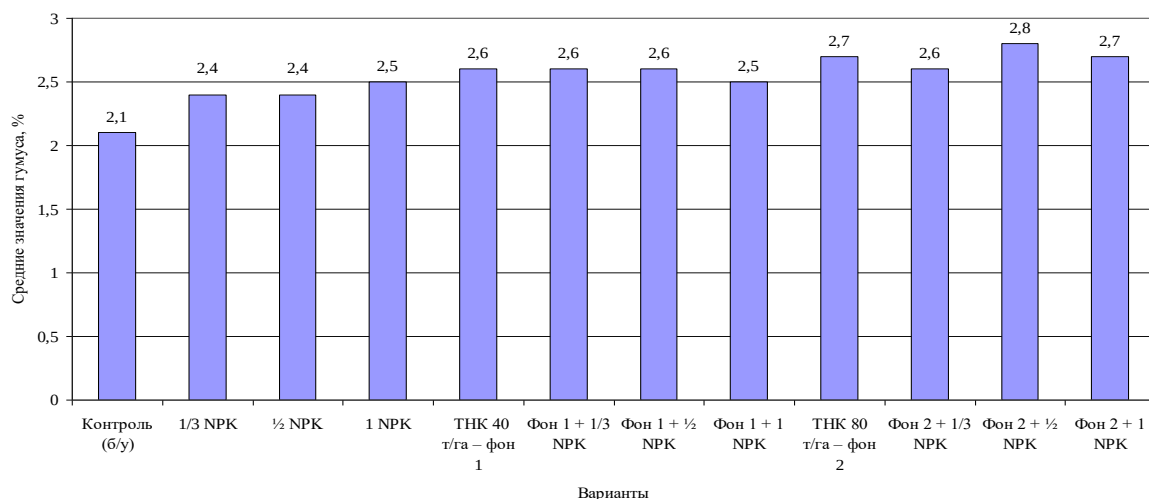


Рисунок 1 – Средние значения гумуса в почве за период 1978–2019 гг. (7 ротаций) при внесении различных доз минеральных и органических удобрений

Исходная кислотность почвы (1978–1983 гг.) в контрольном варианте составляла 5,5 единиц. В течение длительного времени удавалось сохранить обменную кислотность на уровне 5,0–5,3 единиц, но к 2013 году она снизилась до 4,2 единиц, поэтому в 2018 году провели известкование опытного участка по полной гидролитической кислотности (8,0 т/га), что привело к увеличению обменной кислотности до 5,8 единиц.

Средняя обменная кислотность (pH_{KCl}) за годы исследования при внесении минеральных систем удобрений в дозе 1/3 NPK и 1 NPK, а также минеральных удобрений в дозе 1 NPK на фоне ТНК 40 т/га снизилась на 0,1 единицу до 5,1 единиц (по отношению к контролю). При применении минеральных удобрений в дозе 1/2 NPK средняя обменная кислотность за период 1978–2019 гг. составила 5,2 единиц, что соответствует контрольному варианту. В остальных вариантах средняя обменная кислотность за годы исследования увеличилась до 5,3–5,9 единиц. Наибольшие значения средней обменной кислотности отмечены в вариантах при применении минеральных удобрений в дозе 1/2 NPK и 1 NPK на фоне ТНК 80 т/га (5,6 и 5,9 единиц, соответственно) (рисунок 2).

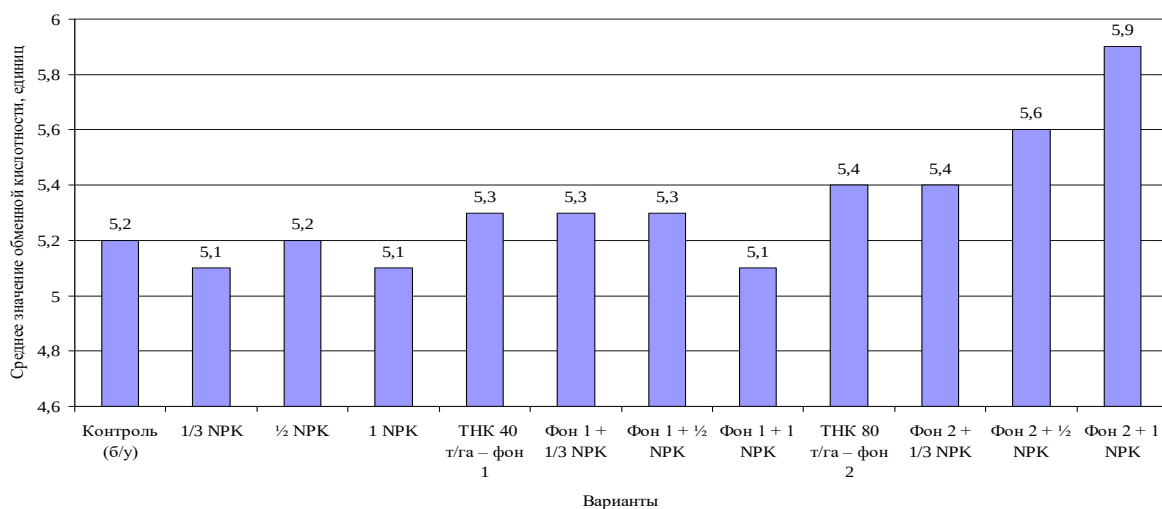


Рисунок 2 – Средние значения обменной кислотности почвы за период 1978–2019 гг. (7 ротаций) при внесении различных доз минеральных и органических удобрений

Что касается средней гидролитической кислотности, то при применении NPK в дозах 1/3 и 1/2, гидролитическая кислотность составила 3,8 и 3,6 ммоль/100 г почвы, соответственно, что выше контрольного значения (3,5 ммоль/100 г почвы) (рисунок 3). Применение минеральных удобрений в дозе 1 NPK, 2-х доз ТНК, а также применение 3-х доз NPK на фоне ТНК 40 т/га и

80 т/га снижало гидролитическую кислотность до 2,8–3,4 ммоль/100 г почвы (по отношению к контрольному варианту).

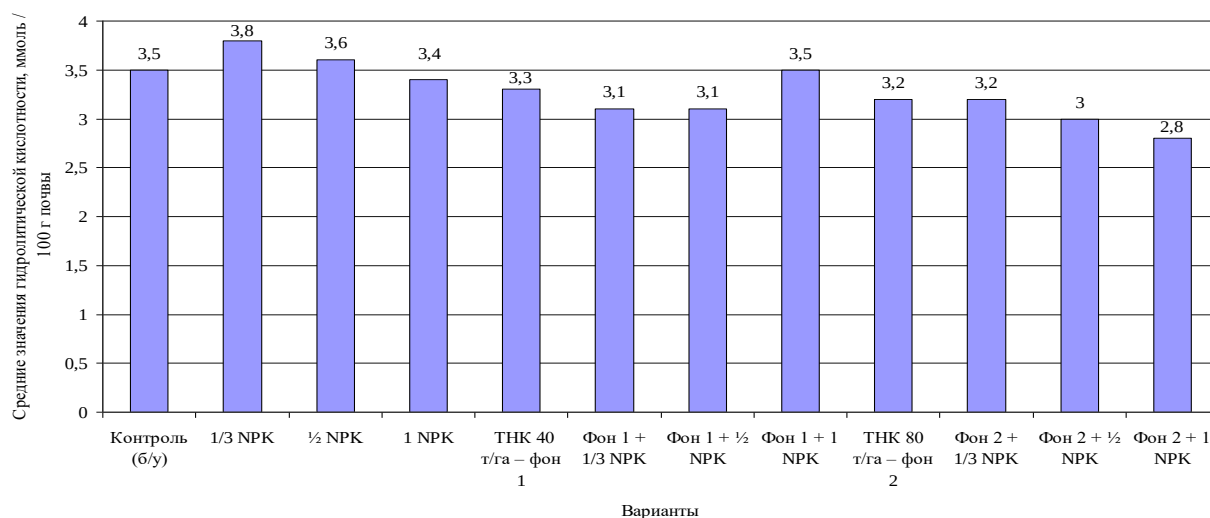


Рисунок 3 – Средние значения гидролитической кислотности почвы за период 1978–2019 гг. (7 ротаций) при внесении различных доз минеральных и органических удобрений

Органические и минеральные удобрения, а также корнепоживные остатки растений и их трансформация под воздействием почвенных микроорганизмов способствовали накоплению в почве подвижного фосфора во всех изучаемых вариантах. В варианте без удобрений количество подвижного фосфора на протяжении 7 ротаций составило 186–266 мг/кг почвы. Среднее содержание подвижного фосфора в контрольном варианте составило 223 мг/кг почвы (рисунок 4). Использование 3-х доз минеральных удобрений, 2-х доз органических удобрений, а также применение 3-х доз NPK на фоне ТНК 40 и 80 т/га способствовало накоплению в почве подвижного фосфора. Среднее содержание подвижного фосфора за 7 ротаций увеличилось до 249–387 мг/кг почвы, что выше на 26–164 мг/кг почвы контрольного варианта. Наиболее значительные средние количества подвижного фосфора накапливались при совместном применении органических и минеральных удобрений. Так применение 3-х доз NPK на фоне ТНК 40 т/га увеличило содержание подвижных форм фосфора до 332–387 мг/кг почвы, что выше на 109–164 мг/кг почвы варианта без удобрений; а применение 3-х доз NPK на фоне ТНК 80 т/га способствовало увеличению накопления подвижных форм фосфора до 320–369 мг/кг почвы, что выше на 97–146 мг/кг почвы варианта без удобрений.

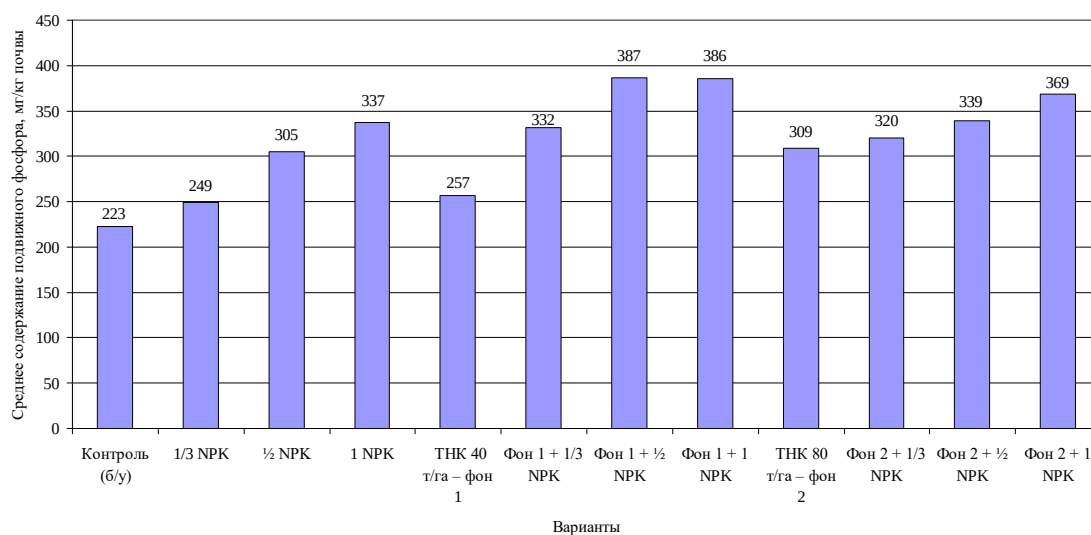


Рисунок 4 – Среднее содержание подвижного фосфора в почве за период 1978–2019 гг. (7 ротаций) при внесении различных доз минеральных и органических удобрений

Содержание обменного калия в почве увеличивалось в меньшей степени, чем подвижного фосфора. Содержание обменного калия в почве (1978–1983 гг.) в контрольном варианте составило 146 мг/кг почвы. На протяжении 1984–2013 гг. наблюдалось снижение содержания обменного калия в почве до 81 мг/кг почвы, поэтому в 2018 году провели известкование опытного участка, что привело к накоплению обменного калия в почве до 119 мг/кг почвы. Среднее содержание подвижного калия в контрольном варианте составило 120 мг/кг почвы (рисунок 5).

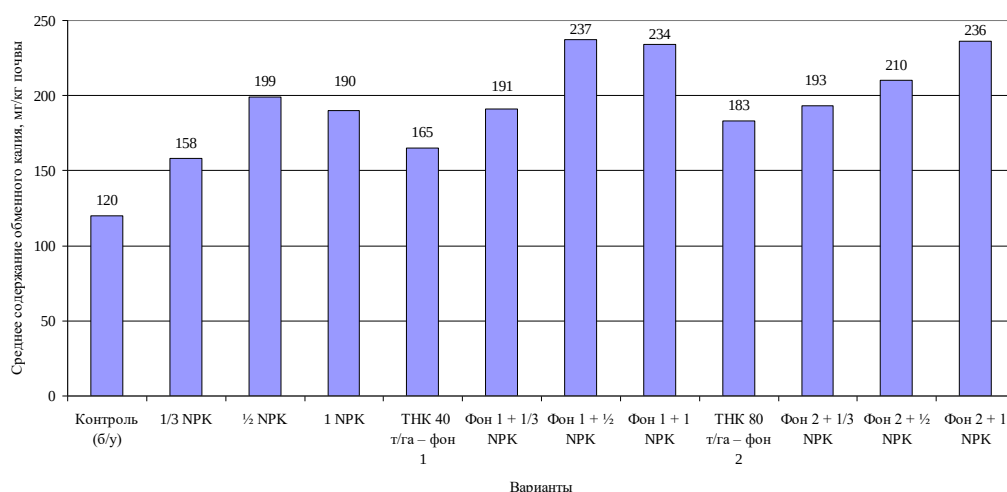


Рисунок 5 – Среднее содержание подвижного калия в почве за период 1978–2019 гг. (7 ротаций) при внесении различных доз минеральных и органических удобрений

Незначительное накопление обменного калия в почве объяснялось из-за его высокого выноса растениями и вымыванием по профилю почвы.

Использование 3-х доз минеральных удобрений в течение длительного времени привело к накоплению подвижного калия до 130–320 мг/кг почвы. Среднее содержание подвижного калия за 7 ротаций увеличилось до 158–199 мг/кг почвы, что выше контрольного варианта на 38–79 мг/кг почвы. Следует отметить, что в остальных вариантах также наблюдалось увеличение содержания подвижного калия по отношению к контролю. Наибольшие значения среднего содержания подвижного калия накоплены в вариантах при применении минеральных удобрений в 3-х дозах на фоне ТНК 40 т/га до 191–237 мг/кг почвы, что превышает значения контрольного варианта на 71–117 мг/кг почвы; а также при применении минеральных удобрений в 3-х дозах на фоне ТНК 80 т/га до 193–236 мг/кг почвы, что превышает контрольный вариант на 73–116 мг/кг почвы.

Таким образом, систематическое комплексное применение органических и минеральных удобрений позволило повысить содержание гумуса 2,5–2,8 %. Значения обменной кислотности почвы увеличилось до 5,3–5,9 единиц. Применение 2-х доз ТНК, а также применение 3-х доз НРК на фоне ТНК 40 т/га и 80 т/га снижало гидролитическую кислотность до 2,8–3,4 ммоль/100 г почвы (по отношению к контрольному варианту). Содержание подвижного фосфора в почве значительно увеличивалось, особенно при совместном применении органических и минеральных удобрений и использовании ТНК (до 180–680 мг/кг почвы). При этом за 7 ротаций увеличилось до 320–387 мг/кг почвы. Содержание обменного калия в почве изменялось в незначительной степени, и его количество составляло 81–370 мг/кг почвы в различных вариантах опыта из-за высокого его выноса растениями и вымыванием по профилю почвы.

Список литературы

1. Заболоцкая Т.Г., Юдинцева И.И., Кононеко А.В. Северный подзол и удобрения. Сыктывкар, 1978. – 94 с.
2. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. – 344 с.
3. Измestьев В.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность кормовых севооборотов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 1 (44). – С. 29–34.
4. Чеботарев Н.Т., Юдин А.А. Динамика плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения

удобрений в условиях Республики Коми // Достижения Науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 11–13.

5. Чеботарев Н.Т., Шморгунов Г.Т., Лаптева Е.М., Ермолина В.И., Кормановская В.М. Влияние длительного применения удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах Европейского Северо-Востока // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 11–16.

6. Бакина Л.Г., Дричко В.Ф., Небольсина З.П. Влияние известкования на изменение состава гумуса дерново-подзолистых почв в зависимости от химических свойств их гуминовых кислот // Агрохимия. – 2012. – № 1. – С. 14–23.

7. Мухамадьяров Ф.Ф., Фигурин В.А., Ашихмин В.П., Коробицин Л.С., Кокурин Т.П. и др. Методическое пособие по определению энергозатрат при производстве продовольственных ресурсов и кормов для условий Северо-Востока европейской части Российской Федерации. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1997. – 62 с.

8. Чеботарев Н.Т., Юдин А.А. Динамика плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения удобрений в условиях Республики Коми // Достижения Науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 11–13.

9. Dymov A.A., Dubrovskiy Y.A., Startsev V.V. Postagrogenic development of Retisols in the middle taiga subzone of European Russia (Komi Republic) // Land Degradation & Development. – 2018. – Vol. 29. – № 3. – P. 495–505.

10. Соколов А.В. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. – 656 с.

11. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.

12. Манаков К.Н., Тертица Н.И. Биологический круговорот в агрофитоценозах Мурманской области. Л.: Наука, 1978. – 144 с.

13. Чеботарев Н.Т., Конкин П.И., Зайнуллин В.Г., Юдин А.А., Облизов В.А. Изменение фракционного состава и баланса гумуса под влиянием удобрений на дерново-подзолистой почве Евро-Северо-Востока // Плодородие. – 2019. – № 6. – С. 25 – 28.

14. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В., Конкин П.И. Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур кормового севооборота на Европейском Севере // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 1. – С. 15 – 20.

15. Чеботарев Н.Т., Юдин А.А., Конкин П.И., Микушева Е.Н. Влияние длительного внесения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур кормового севооборота в условиях Евро-Северо-Востока // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 6. – С. 24 – 29.
16. Аристархов А.Н. Эколого-агрохимическое обоснование оптимизации питания растений и комплексного применения макро- и микроудобрений в агроэкосистемах // Дисс. в виде научного доклада на соиск. учен. степ. докт. биол. наук. Москва, 2000. – 56 с.
17. Чеботарев Н.Т., Шергина Н.Н., Тарабукина Т.В. Влияние комплексного применения органических и минеральных удобрений на фракционно-групповой состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвы Европейского Северо-Востока // Агрохимический вестник. – 2020. – № 3. – С. 15–18.
18. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Влияние комплексного применения удобрений на продуктивность и качество кормовых культур в условиях Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2020. – № 1. – С. 15–20.
19. Возбуждая А.Е. Химия почвы. М., 1964. – 398 с.
20. Лаптева Е.М., Ковалева А.В., Виноградова Ю.А., Перминова Е.М., Елькина Г.Я., Чеботарев Н.Т. Влияние различных систем удобрений на микробную биомассу и комплекс культивируемых микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в подзоне Средней тайги // Агрохимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 24–29.
21. Беляев А.Б. Элементы минерального питания в почвах. Учебное пособие для вузов. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежский государственный университет, 2012. – 29 с.
22. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М.: Наука, 1979. – 168 с.
23. Трофимов С.Я., Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Минеральные компоненты почв: уч. пособие по некоторым главам курса химии почв. Москва, 2007. – 104 с.
24. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. – 286 с.
25. Соколова Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1987. – 46 с.

ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS AS A FACTOR IN INCREASING THE PRODUCTIVITY OF SOD-PODZOLIC SOILS OF THE KOMI REPUBLIC

O.V. Brovarova

Abstract. As a result of scientific research, in the conditions of the Komi Republic, the effect of long-term use of organic and mineral fertilizers on the agrochemical properties of sod-podzolic soil (1978–2019) was studied. The assessment carried out on the use of various doses of fertilizers showed that the complex long-term use of fertilizers had a positive effect on the humus content in the soil and amounted to 2.5–2.8%. There was an increase in the average values of soil exchange acidity (pH_{KCl}) to 5.3–5.9 and reduced the hydrolytic acidity to 2.8–3.4 mmol/100 g of soil. With the combined use of organic and mineral fertilizers, it was possible to increase the content of mobile phosphorus in 7 rotations to 320–387 mg/kg of soil.

Key words: sod-podzolic soil, agrochemical indicators, organic and mineral fertilizers.

УДК 631.435.1.7.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СПОСОБСТВУЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

М.А. Варквасова, Х.З. Бишенов, Ж.О. Канукова

ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства

E-mail: kbrapple@mail.ru

Аннотация. Естественный травяной покров и применение минеральных удобрений повышает интенсивность и объем круговорота веществ, оказывает влияние на питательный и температурный режим почвы, микробиологические процессы и другие свойства, способствующие повышению плодородия галечниковых земель.

Ключевые слова: галечниковые почвы, растительный покров, круговорот веществ, органические вещества, дыхание почвы.

Современная рыночная экономика диктует необходимость производства плодовой продукции с меньшими затратами и высокими товарными качествами. Основной путь снижения себестоимости на единицу продукта – это повышение урожайности насаждений за счет закладки садов интенсивного

типа. Ведущее место в этом отводится южным зонам страны, располагающим наиболее благоприятными природно-климатическими условиями для плодовых культур. Возможности для расширения площадей под садами практически исчерпаны, отвод пахотнопригодных земель под плодовые культуры затрагивает интересы зернового хозяйства.

В этой связи все большую актуальность приобретает проблема изыскания и вовлечения в сельскохозяйственный оборот новых земель, ранее считавшихся малопригодными для земледелия. Освоение под сады склоновых и пахотнонепригодных галечниковых земель является одним из перспективных направлений развития садоводства в предгорьях Северного Кавказа. Использование этих земель дает возможность расширить площади под плодовыми культурами в южной зоне плодородия России более чем в 2,5 раза.

Условия выращивания плодовых культур в специфической обстановке почвенной среды, обусловленные сильной скелетностью и высокой дренированностью почвогрунтов приближается к гидропонной культуре. Это определяет необходимость применения специальной технологии, в которой первостепенное значение придается приемам активного регулирования почвенного питания растений.

В этой связи изучения вопроса содержания почвы и удобрения на галечниковых землях является актуальным. На территории Кабардино-Балкарии сосредоточены 40тыс. гектаров. Согласно квалификации почв рассматриваемые галечниковые наносы КБР следует отнести к скелетным почвам и почвам неразвитого профиля. Покровный слой галечниковых отложений в различной степени затронут почвообразовательными процессами формирования аллювиально-луговых почв. Содержание гумуса в верхних слоях галечниковых почвогрунтов колеблется в широких пределах, от десятых долей до 3-3,5%. С глубиной, особенно с переходом в галечниковую толщу, содержание его в мелкоземе резко падает [1].

Садоводство на этих землях, существенно отличается от традиционной технологии выращивания плодовых культур на обычных почвах. Сильная скелетность галечниковых почв практически исключает возможность механической обработки их. Поэтому сады на этих землях с поверхностным залеганием камней с момента посадки и на протяжении всего периода эксплуатации содержатся под естественным задернением [7].

Применение минерального удобрения и травяного покрова в садах на галечниковых землях признано как эффективный способ поддержания плодородия почвы. Применение минеральных удобрений под сады на

галечниках приводят к заметному повышению содержания питательных веществ в почве. Ежегодное внесение полного минерального удобрения (NPK по 120кг/га д.в.) повышает содержание подвижных форм элементов питания в 2,5-3 раза по сравнению с неудобренным вариантом, также играет большую роль в повышении биологической активности почвы, утилизации органического вещества [3]. Косвенным показателем этому служит интенсивность дыхания почвы. На фоне удобрений по сравнению с контролем она возрастала в 1,9-2,7 раза.

Применение различной частоты скашивания травостоя вызывает определенные сдвиги в сфере минерального питания. Различия в режиме минерального питания находят объяснение, прежде всего, в существенных изменениях круговорота веществ агроценоза, которые происходят в результате сдвигов в биологической продуктивности травяного покрова и динамики органического вещества, определяющих характер выноса и возвращения в почву химических элементов. Особенности динамики синтеза и разложения органического вещества, вызываемые способами воздействия на растительный покров, отражается на процессах превращения и обогащения почвы органикой [5-6]. В опытах стокоприемники устанавливали непосредственно под подстилкой и корнеобитаемым слоем почвогрунта. О содержании органического вещества в фильтрате судили по степени окисляемости воды. Данные лизиметрических исследований показывают, что наибольшее количество водорастворимого органического вещества поступает на фоне редких укосов (таблица 1). В период интенсивного разложения растительной массы показатель окисляемости вод достигает 178-183 O_2 мг/час против 106-140 O_2 мг/час в варианте частого скашивания травостоя.

Одинаковое содержание количества органики в дренажных водах, просачивающиеся через корнеобитаемый горизонт почвогрунтов на площадке черного пара и занятой растительностью свидетельствуют о том, что в условиях галечниковых почв с характерной для них высокой дренируемости, процесс аккумуляции органического вещества, поступающего из-под разлагающейся подстилки, протекает с абсолютным преобладанием над вымыванием их за пределы достигаемости корнями плодовых и травянистых растений [4].

Таблица 1 – Содержание органического вещества в лизиметрических водах, поступающих из-под подстилки и корнеобитаемого горизонта почвогрунтов. (Окисляемость, O₂ мг/л.).

Варианты	Место установления лизиметров	Месяцы						в среднем за сезон
		X	XI	XII	XIII	IX	X	
Частое скашивание травы (5-6 раз)	под подстилкой	32	106	140	13	16	11	53
Тот же	под корнеобитаемым слоем	8	13	12	6	16	6	10
Редкое скашивание травы (2-3 раза)	под подстилкой	35	185	178	14	16	6	72
Тот же	под корнеобитаемым слоем	8	14	14	6	14	8	11
Черный пар	под корнеобитаемым слоем	12	11	14	9	19	9	10

Резкое повышение биологической продуктивности травянистой растительности в создаваемых агроценозах на галечниках способствует обогащению почвы органическим веществом, повышению ее поглотительной способности (таблица 2). Регулирование травяного покрова усиливает интенсивность этих процессов.

Таблица 2 – Содержание гумуса и емкость поглощения.

	Гумус, (%)	Емкость поглощения (м ² /экв. 100г почвы)
Целина	1,8	8,9
Плодоносящий сад	2,7	14,3

Развитие мощного травяного покрова в летний период оказывает положительное влияние на формирование микроклиматического режима в приземном слое воздуха и условий в верхнем горизонте почвы, создает благоприятную среду для развития флоры и фауны. Наблюдается резкое возрастание микробиологических процессов, связанных с утилизацией органического вещества, поступающего на почву в виде отмирающих частей

растений и собственной подстилки. В результате происходящих изменений усиливается интенсивность выделения почвой CO_2 как показателя ее биологической активности (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние регулирования травяного покрова в садах на интенсивность дыхания почвы.

Варианты	CO_2 мг/м ² час	%
Частое скашивание травы	141	100
Редкое скашивание	177	126
Частое скашивание + NPK (120 кг. д.в.)	362	186
Редкое скашивание + NPK (120 кг. д.в.)	374	265

Особенно резко дыхание почвы возрастает на фоне применения минеральных удобрений, где разница между вариантами с частым и редким скашиванием травостоя достигает 79% против 36% на не удобренном фоне.

Обилие органического вещества и благоприятные условия значительно увеличивают деятельность микрофлоры, играющих важную роль в процессах почвообразования и повышения плодородия почвы.

Поступление в почву биогенных элементов активизируют развитие агрономически ценной микрофлоры (целлюлозолитические, азотфиксирующие, аминокислототрофные формы). Более интенсивно льняное полотно разлагалось на варианте плющения на корню, за время экспозиции разложилось до 75% от исходного количества против 68% с частым скашиванием травостоя (5-6 раз за сезон). Скорость возвращения питательных веществ из растительных остатков в почву зависит непосредственно от деятельности микроорганизмов. При участии почвенных сапрофагов разложение за год происходит примерно в 2-3,5 раза быстрее.

Травяной покров и применение минеральных удобрений повышает интенсивность и объем круговорота веществ, усиливает средообразующую деятельность растительности, которая выражается в существенных положительных изменениях режимов фитоклимата почвенной среды, способствующие повышению эффективного и потенциального плодородия галечниковых земель.

Список литературы.

1. Авсарагов А.Х. Освоение наносов речных террас под плодовые насаждения / А.Х. Авсарагов // Сб. Садоводство в Кабардино-Балкарской республике. - Нальчик. 1996. – 182 с.
2. Бузаверов А.В., Попова В.П., Пестова Н.Г. Роль дождевых червей в улучшении питательного режима садовых почв / Н.Г. Пестова, В.П. Попова, А.В. Бузаверов // Садоводство и виноградарство в Молдавии. – 1991. №10. – С. 13-15.
3. Варквасова М.А., Бербеков В.Н., Шомахов Л.А. Влияние минеральных удобрений и растительной биомассы на плодородие почв в садах галечниковых земель. Результаты длительных исследований в системе географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации / Л.А. Шомахов, В.Н. Бербеков, М.А. Варквасова // ВНИИА им. Прянишникова. - Москва. – 2012. – С. 37-56.
4. Варквасова М.А. Вымывание питательных веществ с дренажными водами на галечниковых землях / М.А. Варквасова // Современные сорта и технологии для интенсивных садов. Орел. 2013. – С. 47-50.
5. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский // Наука. – Москва. 1979. - 168 с.
6. Ремезова Г.Л. Роль травяного покрова в биологическом круговороте химических элементов в растительных сообществах / Г.Л. Ремезова // Наука. – Ленинград. 1971. – С. 241-245.
7. Умиров А.М. Характеристика галечников речных долин. Освоение галечниковых земель под сады / А.М. Умиров // Нальчик. 1981. – С. 20-33.

AGROCHEMICAL RECEPTIONS, INCREASING THE FERTILITY OF THE GLYCONIC LAND

M.A. Varkvasova, Kh.Z. Bishenov, J.O. Kanukova

Abstract. The natural grass cover and the use of mineral fertilizers increase the intensity and volume of the matter cycle, affect the nutrient and temperature regime of the soil, microbiological processes and other properties that contribute to the increase of soil fertility.

Key words: pebble soils, vegetative cover, circulation of substances, organic matter, soil respiration.

**ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИСТОВЫХ
ПОДКОРМОК МИКРОЭЛЕМЕНТНЫМ УДОБРЕНИЕМ
МЕГАМИКС-ПРОФИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

Д. М. Воронин, А.Н. Бурунов

ООО НПФ Мегамикс, Нижегородская обл., г. Бор

E-mail: megamix52@yandex.ru

Аннотация. Приведена оценка приемов повышения продуктивности озимой пшеницы в условиях Ростовской области за 2020-2023 гг. на основе биометрических показателей, урожайности и технологических качеств зерна на разных уровнях минерального питания и влияние на них экстремальных условий увлажнения. Наилучшие показатели отмечены в вариантах с обработкой вегетирующих растений в фазе флагового листа препаратом Мегамикс Профи.

Ключевые слова: удобрение Мегамикс, озимая пшеница, урожайность, качество зерна, минеральные удобрения, микроэлементы.

На себестоимость продукции растениеводства влияет множество факторов. Одни из них носят регулярный и планомерный характер - рост цен на средства производства (горючее, удобрения, техника и пр.), другие случайный характер – экстремальные погодные условия (засуха, заморозки, избыточные осадки и пр.), политическая ситуация (удорожание отечественных семян в следствие снижения и удорожания поставок импортных семян). Если регулярные издержки возможно планомерно учесть в стоимости конечной продукции, то «случайные» сложно прогнозировать и учитывать в долгосрочной перспективе.

Она из обязательных статей себестоимости продукции растениеводства, используемая на всех этапах производства – это топливо. Так цены на бензин АИ-92 и АИ-95 за предыдущие 10 лет (2013-2023 гг.) увеличились на ~ 70% [1]. Неотъемлемой частью современного интенсивного растениеводства являются минеральные удобрения, цена на которые тоже неуклонно растёт год от года. И за те же десять лет цены на одни из самых популярных видов азотных и фосфорных удобрений выросли: на аммиачную селитру на 100% и аммофос на 280% [2, 3]. За то же время средние цены на зерно пшеницы, как одного из самых стратегических и массовых продуктов растениеводства, выросли с 6,71 до 10,85 руб./кг [4, 5, 6], или на 62%. Тенденция диспропорции

в росте цен на средства производства в растениеводстве и его результаты сохраняется. Что требует постоянного поиска решений способных удешевить производство растениеводческой продукции.

Одно из долгосрочных явлений, связанных с пахотными почвами – это их истощение. В настоящее время применение минеральных удобрений зачастую способно компенсировать истощение почвы по содержанию в ней основных элементов питания (NPK). Проблема с содержанием в почве мезоэлементов (сера, кальций, магний) аграриями, как правило, понимается, но активно её решают немногие. Так низкое содержание доступного кальция и магния зачастую связано с кислыми почвами и решается известкованием. Но, по различным причинам, объёмы известкования далеки от желаемых. В краткосрочной перспективе, «на текущий сезон», особо острые проблемы с питанием возможно сгладить листовыми подкормками.

Отдельно стоит отметить политический аспект. В результате санкций затрудняется и сильно дорожает поступление импортных товаров на рынок (пестициды, удобрения, техника и пр.). В следствие чего, снижается конкуренция и дорожают отечественные аналоги, зачастую без роста качества. При снижении качества отдельных элементов технологии, для сохранения показателей агропроизводства возрастают требования к другим составляющим технологии. Так при снижении качества семян и посевных мероприятий, увеличивается потребность в применении на семенах ростостимулирующих препаратов. При снижении потенциала урожайности отдельных сортов и гибридов культур увеличивается потребность в своевременном и сбалансированном питании.

Основные элементы питания и формы действующих веществ удобрений на их основе давно известны. Несмотря на это, не прекращаются исследования как ко форме удобрений, так и по технологии их применения. Технология применения во многом определяет эффективность препарата. Нередко, оценка факторов, определяющих наличие или отсутствия желаемого эффекта (гранулометрический состав почвы, агрофон, осадки, заморозки и пр. [67] позволит сэкономить ресурсы и применить их правильно в другое время и в другом месте. Яркими примером такого является риск сухого сева, или внесение твердых NPK в почву в период засухи, вероятность листовых ожогов от опрыскивания при атмосферной засухе и пр. Таким образом, совершенствование технологии применения удобрений не менее важно, чем разработка новых препаратов.

Применение микроэлементных удобрений повышает эффективность технологии растениеводства. В первую очередь, увеличивает отдачу от

применения NPK. При внесении NPK -удобрений растению становится доступно большое количество макроэлементов, но по закону минимума, их усвоение ограничивает дефицит других элементов питания. Во многих случаях в почвах пахотных угодий в дефиците находятся именно микроэлементы [67].

Микроэлементы обладают высокой химической активностью, а вместе с ней низкой подвижностью в почве [67]. В купе с высокой стоимостью, наличием вредных примесей, сложностями с применением, затрудняется их внесение в пахотный горизонт для долгосрочного увеличения их содержания и повышения плодородия почвы. Листовые подкормки, в настоящий момент, являются наиболее оптимальным решением для экономически эффективного применения микроэлементных удобрений. Как применение макроэлементов наиболее целесообразно в определённые фазы развития, так и применение листовых подкормок микроэлементами в ключевые фазы развития даёт наибольшую отдачу.

Стоит отметить, что применение микроэлементных препаратов само по себе положительно сказывается как на отдельных биопроцессах, так и развитии культуры в целом – её биомассы, фотосинтетическом потенциале [7]. А также является важным приёмом обогащения микроэлементами кормов и продуктов питания человека. Ведь не только растения подвержены эндемическим заболеваниям, причиной которых является дефицит в рационе отдельных биологически активных веществ, в том числе микроэлементов. [67]

Целью наших исследований являлось изучение эффективности включения микроэлементов в систему удобрения озимой пшеницы. В задачи исследований входило:

- влияние некорневой подкормки микроэлементным удобрением МЕГАМИКС-Профи на урожайность озимой пшеницы и оценку качества зерна;
- совершенствование технологии применения микроэлементного удобрения МЕГАМИКС-Профи на озимой пшенице;
- выявление влияния погодных факторов на эффективность применения некорневых подкормок.

Исследования проводились в Ростовской области, природные условия которой отличаются большой неравномерностью распределения влаги и сильной её изменчивостью по годам. Почва экспериментального поля представлена чернозёмами обыкновенными (североприазовскими): рН_{водн.} 7,5-7,8, сумма солей - 0,064%, содержание нитратного азота - 26,7 мг/кг,

аммонийного 7,6 мг/кг, подвижного фосфора 52,5 мг/кг, обменного калия - 370,0 мг/кг, гумуса 3,2%.

Микроудобрительная смесь «МЕГАМИКС-Профи» выпускается в виде водного раствора солей микро- и макроэлементов. Микроэлементы содержатся в хелатной и минеральной форме. МЕГАМИКС марка Профи - удобрение с высоким содержанием микроэлементов, для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок, содержит (г/л): В – 1,7, Cu – 12, Zn – 11, Mn – 2,5, Fe – 2,0, Mo – 1,7, Co – 0,5, Se – 0,06, N – 2,5, S – 25, Mg – 17. Удобрения МЕГАМИКС характеризуются весьма широким спектром биологического действия и содержит в своем составе большой набор микроэлементов.

Опыт заложен в 3- кратной повторности. Объектом исследований была озимая пшеница. Удобрения МЕГАМИКС применяют как для инкрустации семян, так и для листовых подкормок в максимальных дозировках.

Схема опыта состояла из 4-х вариантов:

- 1) Контроль без/удобрений;
- 2) Некорневая подкормка МЕГАМИКС – Профи в дозе 2 л/га в фазу кущения;
- 3) Некорневая подкормка МЕГАМИКС-Профи в дозе 1 л/га в фазу кущения + МЕГАМИКС-Профи в дозе 1 л/га в фазу флагового листа;
- 4) Некорневая подкормка МЕГАМИКС-Профи в дозе 2 л/га в фазу флагового листа.

Полученные экспериментальные данные показывают, что включение микроэлементов в систему удобрения озимой пшеницы, оказывает положительное влияние на формирование урожая и качество зерна озимой пшеницы. Некорневая подкормка посевов озимой пшеницы микроэлементным удобрением Мегамикс способствует улучшению питания растений азотом, фосфором и калием, тем самым создавая предпосылки для формирования высокопродуктивного агроценоза.

Период 3х летнего исследования характеризуется неравномерным выпадением осадков в период возделывания озимой пшеницы по годам (2020-21 – 623 мм, 2021-22 – 527 мм, 2022-23 – 705 мм) и особенно по месяцам (Рис. 1., Рис. 2). Сезон 2023 г характеризовался высоким уровнем осадков в весенне-летний период, в период как активного роста озимой пшеницы, так и основного внесения азотных удобрений в почву.

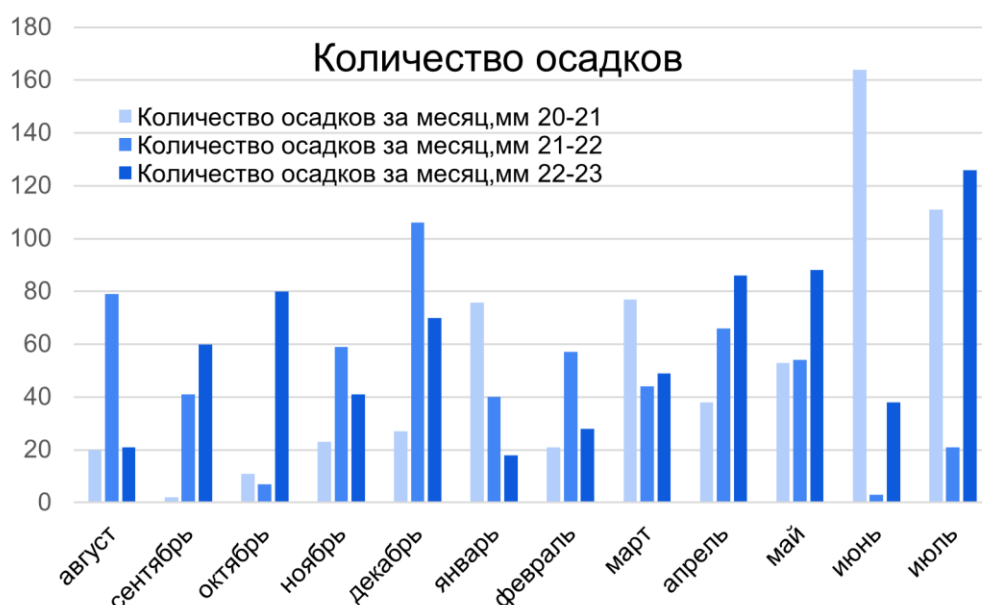


Рисунок 1 – Количество годовых осадков за период вегетации озимой пшеницы 20-23 гг., по данным «Ростовский ЦГМС – Р» на метеостанции в г. Матвеев Курган, мм

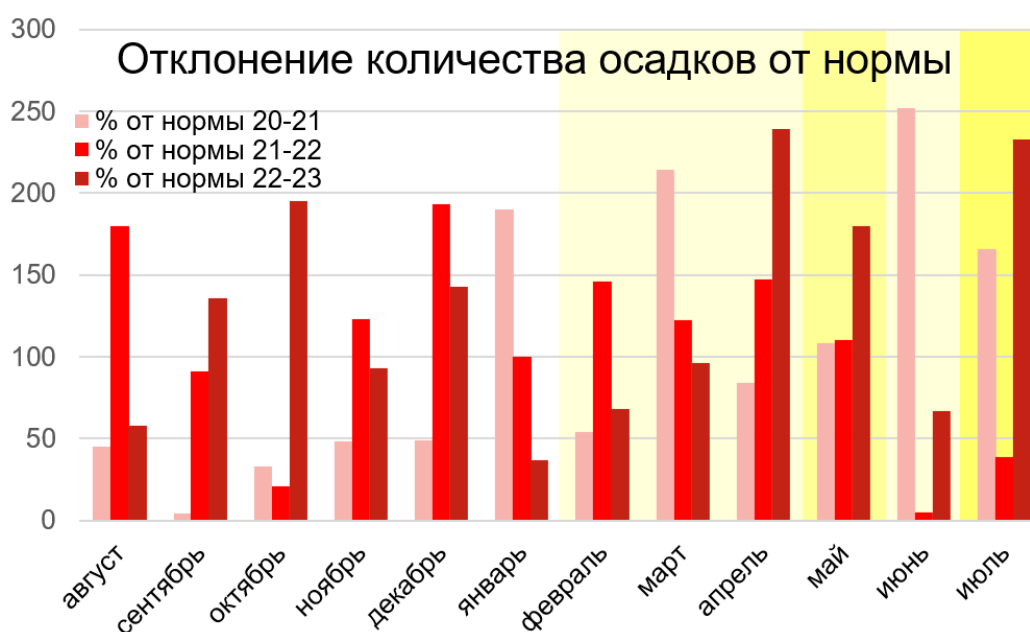


Рисунок 2 – Отклонение количества годовых осадков от нормы за период вегетации озимой пшеницы 20-23 гг., по данным «Ростовский ЦГМС – Р» на метеостанции в г. Матвеев Курган, %

Обильные осадки 2021 г., в период после проведения листовых подкормок, не позволили сделать листовую диагностику на озимой пшенице. Но, эти данные, полученные в 2022 с оптимальным увлажнением и 2023 г. с избыточным увлажнением, выявили влияние осадков на содержание NPK в

листьях и доступность основного питания культуре (Табл. 1). В 2023 г. из-за обильных осадков в апреле мае (239-180% от нормы) содержание азота в озимой пшенице в период фазы кущения – фазы трубкования снизилось на 36,8-41 %, в сравнении с +2,7 - (- 12,5) % в 2021 г. Такая динамика продолжилась в вариантах с применением удобрения МЕГАМИКС-Профи в период фазы трубкования – фазы цветения: в 2021 г. содержание азота в опытных вариантах стабилизировалось и снизилось на 0 – 8,4%, а в 2023 г на 14,2 -19,6%. Изменение содержания азота в контрольных вариантах отличалось намного меньше – 16,8% и - 18,5% в 2022 и 2023 гг. соответственно.

Содержание фосфора в листьях пшеницы в 2022 - 2023 гг. изменялось по-разному, как количественно, так и по фазам развития. Так в 2022 г. наибольшее снижение содержания фосфора в 23,4 - 31,9% было в период фазы кущения -фазы трубкования сменившееся в фазы трубкования – фазы цветения стабилизацией увеличения содержания фосфора до 0 - 12,8%. И обратная ситуация в 2023 г., в период ф. кущения -ф. трубкования содержание фосфора в основном увеличивалось (изменения по вариантам от – 4% до 6%), а позднее в ф. трубкования – ф. цветения снижалось на 10 – 20%. Общая динамика изменения содержания калия в листьях пшеницы совпадает с динамикой фосфора, с основным отличием в большем (в 1,5-2 раза) диапазоне изменений.

В 2022 г. с выпадением осадков близким к оптимальному, динамика изменения содержания НРК в листьях озимой пшеницы была схожа по всем элементам, с максимальным снижением содержания элементов питания в период ф. кущения – ф. трубкования. Наиболее четко это выражено на содержании калия, наименее - на содержании азота. Иная ситуация сложилась в 2023 г., в период интенсивного роста ф. кущения – ф. трубкования наблюдалось сильное снижение содержания азота на фоне небольшого снижения или даже роста содержания фосфора и калия (таблица 1).

Обильные осадки весенне-летнего периода привели к сильному снижению содержания азота в пшенице, как в абсолютном значении, так и относительно фосфора и калия. Что позволяет говорить о дефиците азота в растении и ограничивающем действии этого показателя в формировании продуктивности посева. Этот факт сказался на нивелировании влияния листовых подкормок микроэлементным удобрением МЕГАМИКС-Профи на урожайность озимой пшеницы (таблица 2).

Таблица 1 – Результаты листовой диагностики озимой пшеницы на содержание NPK в 2022 и 2023 гг., % на абсолютно сухое вещество

		2022					2023				
		N					N				
		Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет	Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет
Контроль		4,39	4,51	3,77	2,7%	-16,8%	5,52	3,41	2,39	-38,2%	-18,5%
МЕГАМИКС - Профи	2 л куш	4,63	4,05	3,99	-12,5%	-1,3%	5,70	3,60	2,48	-36,8%	-19,6%
	1 л + 1 л	4,40	4,00	4,00	-9,1%	0,0%	5,41	3,25	2,38	-39,9%	-16,1%
	2 л флаг	4,55	4,21	3,83	-7,5%	-8,4%	5,64	3,33	2,53	-41,0%	-14,2%
		фосфор					фосфор				
		Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет	Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет
Контроль		0,41	0,31	0,34	-24,4%	7,3%	0,50	0,50	0,43	0,7%	-14,1%
МЕГАМИКС - Профи	2 л куш	0,47	0,36	0,36	-23,4%	0,0%	0,50	0,48	0,43	-4,0%	-10,0%
	1 л + 1 л	0,44	0,33	0,34	-25,0%	2,3%	0,50	0,53	0,43	6,0%	-20,0%
	2 л флаг	0,47	0,32	0,38	-31,9%	12,8%	0,47	0,49	0,44	4,3%	-10,6%
		калий					калий				
		Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет	Куш	Труб	Цвет	Куш-Труб	Труб-Цвет
Контроль		4,04	2,64	2,81	-34,7%	4,2%	4,20	4,17	2,92	-0,7%	-29,8%
МЕГАМИКС - Профи	2 л куш	4,10	2,79	2,80	-32,0%	0,2%	4,30	4,11	2,63	-4,4%	-34,4%
	1 л + 1 л	3,95	2,69	2,94	-31,9%	6,3%	4,05	4,10	2,80	1,2%	-32,1%
	2 л флаг	4,14	2,77	2,88	-33,1%	2,7%	3,98	4,05	2,79	1,8%	-31,7%

Таблица 2 – Продуктивность озимой пшеницы

Вариант		Урожайность при влажности 14%			Прибавка при влажности 14%			
		2021	2022	2023	2021	2022	2023	СРЕДНЯЯ ПРИБАВКА
Контроль		52,59	83,02	67,55	-	-	-	-
МЕГАМИКС - Профи	2 л куш	53,62	84,53	68,38	2,0%	1,8%	1,2%	1,7%
	1+1	54,97	84,68	67,62	4,5%	2,0%	0,1%	2,2%
	2л флаг. лист	56,68	85,17	67,77	7,8%	2,6%	0,3%	3,6%

Таким образом обильные дожди, превышающие оптимум в 1,5-2 раза, во второй половине вегетации негативно сказываются на урожайности озимой

пшеницы. При этом, избыточное увлажнение в период внесения азотных удобрений снижают усвоение и накопление данного элемента культурой, что блокирует усвоение прочих элементов питания. В таких условиях можно рекомендовать как снижение дозировок азотных удобрений, вносимых в почву, так и проведение листовых подкормок недостающим элементом питания – азотом. При оптимальном корневом питании выявлена и доказана эффективность внекорневых подкормок микроэлементным удобрением МЕГАМИКС-Профи.

Список литературы

1. РОССТАТ / Главная страница / Статистика / Официальная статистика / Цены, инфляция / Средние потребительские цены на отдельные виды товаров и услуг по Российской Федерации (в 1991-2023 гг.) <https://rosstat.gov.ru/statistics/price>
2. ЕМИСС Государственная статистика / Средние цены производителей на минеральные удобрения по 2016 г. <https://www.fedstat.ru/indicator/42091>
3. ЕМИСС Государственная статистика / Средние цены производителей на минеральные удобрения с 2017 г. <https://www.fedstat.ru/indicator/57819>
4. ЕМИСС Государственная статистика / Средние цены производителей сельскохозяйственной продукции, реализуемой сельскохозяйственными организациями по 2016 г. <https://www.fedstat.ru/indicator/31454>
5. ЕМИСС Государственная статистика / Средние цены производителей сельскохозяйственной продукции, реализуемой сельскохозяйственными организациями с 2017 г. <https://www.fedstat.ru/indicator/57693>
6. РОССТАТ / Главная страница / Статистика / Официальная статистика / Цены, инфляция / Средние цены производителей сельскохозяйственной продукции (с 2010 г.) <https://rosstat.gov.ru/statistics/price>
7. Битюцкий Н. П. Микроэлементы высших растений. 2020 – с.
8. Бурунов А. Н. Совершенствование технологии возделывания полевых культур на основе применения стимулирующих препаратов и микроудобрительных смесей в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. д. с.-х. н.: 06.01.01 / Бурунов Алексей Николаевич – Пенза, 2004. – 42 с.

INFLUENCE OF PRECIPITATION ON THE EFFICIENCY OF FOLIAR FEEDING WITH MICROELEMENT FERTILIZER MEGAMIX-PROFI IN INCREASING WINTER WHEAT PRODUCTIVITY

D. M. Voronin, A. N. Burunov

Abstract. The article provides an assessment of methods for increasing the productivity of winter wheat in the Rostov Region for 2020-2023 based on biometric indicators, yield and technological qualities of grain at different levels of mineral nutrition and the impact of extreme moisture conditions on them. The best indicators were noted in the variants with the treatment of vegetative plants in the flag leaf phase with Megamix Profi.

Key words: Megamix fertilizer, winter wheat, yield, grain quality, mineral fertilizers, microelements.

УДК:631.4:631.8:633

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

О.В. Гладышева, В.А. Свирина

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

E-mail: GladyshevaOV@yandex.ru, svirina-vera@gmail.ru

Аннотация: Представлены результаты исследований после окончания 5 ротации 6-польных севооборотов. Даны рекомендации по повышению продуктивности пашни Рязанской области на основе севооборотов с бобово-злаковыми травами в сочетании с минеральными удобрениями и химической мелиорацией.

Ключевые слова: темно-серая лесная почва; севооборот; минеральные удобрения; гумус; агрохимические свойства; кислотность почвы; мелиорант.

Насущной задачей нынешнего времени является увеличение производства сельскохозяйственной продукции и удовлетворение потребности населения в продуктах питания, произведенных в нашей стране. Для этого требуется развитое высокопродуктивное земледелие [1, 2].

К сожалению, в современных условиях в производстве до сих пор масштабно применяются технологии, в которых приёмы направлены на получение урожайности и доходов в ущерб плодородию почвы [3].

В Рязанской области сельскохозяйственное производство ежегодно наращивается. В период 2010-2014 гг. валовой сбор зерна в регионе составил 1,1 млн. т, в 2015-2019 гг. – 1,8 млн. т, в 2020-2024 гг. – 2,7 млн.т. Увеличение производства идет за счет внедрения более продуктивных культур и сортов, увеличения использования удобрений, применения современных технических средств, вовлечения в оборот ранее не использовавшихся угодий, в период с 2014 г. по 2024 г. посевная площадь возросла с 814 тыс. га до 1140 тыс. га [4, 5].

Одновременно с успешностью развития растениеводства региона остается нерешённым вопрос сохранения почвенного плодородия. В регионе традиционно высока насыщенность посевных площадей (особенно в центральной и южной зонах) зерновыми культурами - в среднем 64 %, из них 8 % зернобобовых (горох, чечевица). Масличные культуры (соя, подсолнечник, рапс, лён, рыжик, горчица) занимают 24 % площадей, за 10 лет их урожаи выросли в 4 раза (2014 год - 148 тыс. тонн, 2024 - 594 тыс. тонн). Кормовые культуры - 10 % и 2 % сахарная свёкла, картофель и овощи [6].

Предприятия испытывают дефицит хороших предшественников для основных зерновых продовольственных культур, которые часто размещаются по рапсу, зерновым колосовым в трёхпольном севообороте.

Следует отметить, что применение минеральных удобрений в регионе растёт. Так, на 1 гектар посевной площади в 2018 году внесено 74 кг минеральных удобрений, а в 2022 году – 128 кг. Удельный вес удобренной площади достиг 95 %. Тем не менее, с учётом выращивания в последние годы высокопродуктивных культур (сортов) и получения рекордных урожаев этого явно недостаточно для сохранения плодородия почвы, не говоря о его воспроизводстве. Удельный вес удобренной площади органическими удобрениями не один десяток лет находится на уровне 2,4 % (используются в основном под кормовые культуры). Следовательно, дисбаланс между расходом и возвратом в почву питательных элементов и особенно органического вещества продолжает нарастать [7, 8].

Химическая мелиорация земель в области ведётся малыми темпами: в период с 1990 по 2018 годы объём составлял не более 3-4 тыс. га в год несмотря на то, что свыше 600 тыс. га пашни имеют избыточную кислотность и требуют срочного принятия мер. В 2022 году произвестковано 16,3 тыс. га (1,6 % от посевной площади), что однозначно слишком мало при возрастающей посевной площади и увеличивающемся объёме применяемых минеральных удобрений [5]. При этом избыточная кислотность является главной причиной ухудшения физико-химических свойств почвы, снижения

эффективности минеральных удобрений, ограничения потенциальной продуктивности сорта [9].

Таким образом, значительная часть пахотных земель Рязанской области в виду интенсивного многолетнего использования подвержена процессам деградации: снижению уровня естественного плодородия, ухудшению физико-химических свойств, увеличению кислотности [10, 11, 12].

В Институте семеноводства и агротехнологий - филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская область) по программе и методике исследований Географической сети опытов по комплексному применению средств химизации с 1992 года на темно-серой лесной почве изучается влияние различных севооборотов и удобрений на плодородие почвы (таблица 1). Гранулометрический состав почвы тяжелосуглинистый.

Таблица 1 – Схема стационарного опыта

Севооборот					
№ 1 Зернопаро- пропашной с полем чистого пара	№ 2 Зернотравяно- пропашной с 16,6% бобовых трав	№ 3 Зернотравяно- пропашной с 33,3% бобовых трав	№ 4 Зернотравяно- пропашной с 33,3% злаковых трав	№5 Зернотравяно- пропашной с 16,6% бобовых трав + горчица на сидерат	№6 Зернотравяно- пропашной с 33,3 % бобово- злаковых трав
Ячмень	Ячмень + клевер	Ячмень + клевер	Ячмень + злаковые травы	Ячмень + пожнивно горчица белая на сидерат	Ячмень + бобово- злаковые травы
Овес	Клевер 1 г. п.	Клевер 1 г. п.	Злаковые травы 1 г.п.	Ячмень + клевер	Бобово- злаковые травы 1 г.п.
Черный пар	Ячмень	Клевер 2 г. п.	Злаковые травы 2 г.п.	Клевер 1 г. п.	Бобово- злаковые травы 2 г.п.
Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница
Кукуруза (силос)	Кукуруза (силос)	Кукуруза (силос)	Кукуруза (силос)	Кукуруза (силос)	Кукуруза (силос)
Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница

Исследования проводили в 6-польных севооборотах с различным насыщением травами на 2-х фонах - без удобрений и с удобрениями: под зерновые (НРК)₉₀; в чистом пару 30 т/га навоза + N₄₅ (РК)₉₀; под клевер (РК)₉₀; под злаковые травы осенью N₆₀ (РК)₉₀ + N₆₀ после первого укоса; под бобово-

злаковые травы N_{45} (РК)₉₀ + N_{45} после первого укоса. Для пополнения органического вещества в почве вся органическая масса растений в опыте в виде пожнивных остатков после уборки основной части урожая, в том числе зеленая масса многолетних трав после второго укоса, измельчалась и заделывалась в почву.

Использовали методики [13, 14, 15, 16]. Приведены исходные данные и результаты после пятой ротации севооборотов (2016-2021 гг.).

Метеорологические условия в годы исследований различались по температурному режиму и влагообеспеченности (таблица 2).

Таблица 2 – Метеорологические условия (по данным метеостанции ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, с. Подвязье, Рязанского района)

Период ротации севооборота	Среднемесячная температура, °С					Сумма осадков, мм				
	апрель	май	июнь	июль	август	апрель	май	июнь	июль	август
1992-1997	6,38	14,55	18,38	18,93	18,53	24,5	27,2	63,6	74,2	34,4
1998-2003	8,25	13,73	20,05	24,75	18,20	18,7	23,1	47,5	80,5	64,5
2004-2009	7,65	16,01	20,02	22,57	21,55	29,2	37,8	39,5	77,0	42,0
2010-2015	8,05	18,70	20,68	23,70	21,65	42,6	28,9	67,4	34,9	39,1
2016-2021	9,10	16,66	20,82	22,57	21,82	34,5	44,9	53,6	58,4	51,8
средние многолетние	7,9	15,9	20,0	22,5	20,4	30,3	32,4	54,3	65,0	46,4

По результатам пяти ротаций выявлено, что растения и структура сельскохозяйственных культур полевых севооборотов влияют на состояние плодородия почвы. Содержание гумуса в варианте без удобрений в севообороте № 1 с чистым паром снизилось на 0,14 % (запас гумуса за 30 лет уменьшился на 5,7 т/га) (таблица3).

Таблица 3 – Содержание общего гумуса по севооборотам после 5-ой ротации, % (слой 0-30 см)

Фон	Севооборот					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
исходное значение 1992 г.	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
без удобрений	2,89	3,18	3,22	3,23	3,19	3,28
± к исходному	-0,14	+0,15	+0,18	+0,19	+0,16	+0,25
с удобрением	3,22	3,28	3,47	3,51	3,32	3,48
± к исходному	+0,19	+0,25	+0,44	+0,48	+0,29	+0,45

Введение в севооборот вместо чистого пара одного поля с клевером (севооборот № 2) увеличило гумус на 0,15 % (запас гумуса за 30 лет увеличился на 5,3 т/га), ещё большее увеличение отмечается в севооборотах с 2-мя полями многолетних трав.

Удобрённый фон при выращивании культур демонстрирует лучшие показатели по сравнению с исходными, так в севообороте № 1 сдерживает потери гумуса, а в севооборотах № 3, № 4, № 6 существенно увеличивает его содержание.

Ежегодно в изучаемых севооборотах без применения удобрений в почву поступает около 4 т/га сухой массы органического вещества, что составляет порядка 1,5 т биологического углерода, а на фоне удобрений поступает 7,5 - 8,6 т/га – свыше 2,0 т углерода.

Наиболее эффективными являются севообороты, где в структуре содержится 33,3 % многолетних трав и за счет увеличения пожнивных корневых остатков на удобренном фоне идёт постепенное накопление гумуса в почве [17, 18]. Это позволяет сохранить почвенное плодородие и увеличить запасы гумуса в севооборотах за 30-летний период (севообороты № 3, № 4, № 6) на 16,7 - 18,8 т/га по сравнению с исходными значениями.

Меняется содержание питательных веществ в почве под действием минеральных удобрений и растений в севообороте (таблица 4). По совокупности накопленных питательных веществ в почве наиболее эффективными будут севообороты № 3 и № 6. В севообороте № 1 отмечен некоторый дефицит легкогидролизуемого азота. Повысилось содержание общего азота на варианте с применением удобрений на 9,5 % – 17,3%, легкогидролизуемого азота на 10-15 %.

Отмечен рост содержания подвижного фосфора и обменного калия по всем севооборотам. Лучшие показатели по фосфору отмечены в севооборотах № 2 и № 6, превысив первоначальные показатели в 1,8-2,0 раза, по калию в севооборотах № 1 и № 5.

При отсутствии удобрений в севооборотах № 3, 5, 6 наблюдается стабилизация содержания фосфора на уровне исходного состояния, в севооборотах № 1 и 2 отмечено снижение на 8-13 %. Отсутствие минеральных удобрений привело к снижению против исходного значения содержания обменных форм K_2O по всем севооборотам, что связано с выносом элемента урожаем.

Таблица 4 – Содержание питательных веществ по севооборотам после 5-ой ротации, % (слой 0-30 см)

Показатели	Фон	Севооборот					
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Общий азот, %	<i>исходный</i>	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
	без удобрений	0,173	0,179	0,185	0,1703	0,183	0,168
	с удобрением	0,189	0,190	0,188	0,186	0,189	0,183
Легкогидролизуемый азот, мг/кг по Корнфилду	<i>исходный</i>	125,3	126,9	121,0	127,0	127,0	127,9
	без удобрений	122,1	126,3	129,4	129,0	126,2	130,4
	с удобрением	141,2	142,4	145,7	146,6	143,9	143,8
P ₂ O ₅ , мг/100 г	<i>исходный</i>	12,6	12,7	12,6	12,5	12,3	12,6
	без удобрений	11,5	11,1	13,7	12,1	12,4	13,9
	с удобрением	18,9	23,0	19,8	20,3	21,4	24,6
K ₂ O, мг/100 г	<i>исходный</i>	11,2	11,2	11,3	11,2	11,3	11,2
	без удобрений	9,7	10,5	8,9	9,5	10,1	8,7
	с удобрением	15,0	13,9	13,0	14,9	15,1	14,6
Кальций, мг-экв/100 г	<i>исходный</i>	16,7	16,9	18,5	17,6	18,0	17,1
	без удобрений	16,6	16,7	17,9	17,6	18,0	16,4
	с удобрением	15,8	16,3	17,5	17,0	17,0	15,1

Изменения плодородия почвы отражаются на урожайности культур. Озимая пшеница (основная зерновая культура в Рязанской области) размещённая в опытных севооборотах по предшественникам пар, клевер 1 и 2 г.п. на удобренном фоне обеспечивает урожайность 4,47 - 4,59 т/га. Выращивание озимой пшеницы без удобрений снижает урожайность на 16-21 % в этих же севооборотах. Размещение озимой пшеницы в севообороте после ячменя и злаковых трав на неудобренном фоне обеспечивает урожайность только в 64-70 % урожайности, полученной по черному пару (таблица 5). Содержание клейковины, белка в зерне и натура зерна значительно выше на варианте с применением удобрений.

Многолетние исследования показывают, что при подобном чередовании культур в севообороте с чистым паром возможно получать удовлетворительные или гарантированные урожаи, однако уровень урожайности по сравнению с другими вариантами без внесения удобрений ниже и составляет 48,3 ц. к. ед/га против 54,5 – 68,7 ц. к. ед/га (рисунок).

Таблица 5 – Влияние предшественников, удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы Московская 39

Предшественники (№ севооборота)	Фон*	Урожайн ость, т/га	Показатели качества зерна			
			Клейко- вина, %	Содержание белка, %	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г
Чёрный пар (№ 1)	1	3,88	23,9	9,8	767,1	41,1
	2	4,59	26,6	11,8	772,5	42,1
Ячмень (№ 2)	1	2,76	19,1	9,7	769,2	42,1
	2	3,67	24,7	10,6	777,4	42,9
Клевер 2 г. п. (№ 3)	1	3,83	22,3	9,9	772,5	42,5
	2	4,52	26,8	11,5	781,5	43,2
Злаковые травы 2 г.п. (№ 4)	1	2,36	20,7	9,5	760,7	41,2
	2	3,45	25,7	11,2	772,5	42,1
Клевер 1 г. п. (№ 5)	1	3,69	19,3	9,7	771,9	42,5
	2	4,47	25,6	11,3	777,9	43,1
Бобово-злаковые травы 2 г.п. (№ 6)	1	2,85	19,2	9,9	759,1	41,2
	2	3,75	26,7	11,2	769,4	42,0

* 1 – без удобрений, 2 – с удобрением

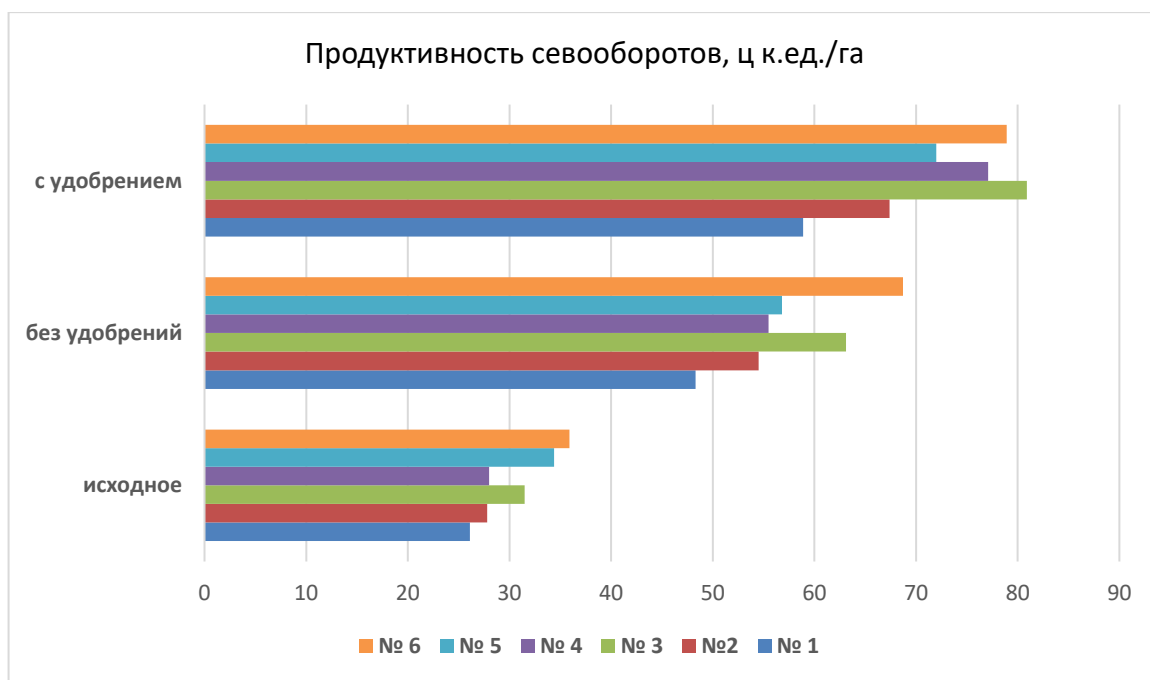


Рисунок – Продуктивность культур в севооборотах

Увеличение продуктивности по севооборотам с многолетними травами варьировало от 12,8 до 30,6 % на неудобренном фоне и от 14,4 до 37,4 % на удобренном фоне по сравнению с севооборотом № 1. Следует отметить, что продуктивность на опытном поле выросла по сравнению с первоначальной в

1,6 - 2 раза и наилучшие результаты отмечены в севооборотах № 3 и № 6 (63,1 и 80,9; 68,7 и 78,9 ц.к.ед./га на неудобренном и удобренном фонах).

vОкупаемость 1 кг минеральных удобрений зависит от культур в севооборотах. Так, в севообороте с чистым паром окупаемость равна 17,1 кг к.ед., в севообороте с 16% трав - 23,5 кг к.ед., в севообороте с 33% многолетних трав окупаемость составляет 27,0 кг к. ед. га.

Биоэнергетическая оценка за ротацию различных севооборотов показывает, что коэффициент энергетической эффективности выше в севообороте с двумя полями клевера. В севообороте с чистым паром без удобрений КЭЭ меньше на 38-46%, в севообороте с одним полем клевера ниже на 22-28%. Самый низкий уровень затрат энергии на 1 кг к.ед. в севообороте с двумя полями клевера. Наиболее высокие затраты в севообороте с чистым паром - выше на 42,7%. Наиболее высокое приращение энергии на 1 га получено в севообороте с бобовыми и бобово-злаковыми травами 62,0 - 66,0 ГДж, значительно меньше в севообороте с чистым паром 33,0 ГДж.

По итогам 5 ротации отмечены и негативные явления, такие как уменьшение содержания кальция в почве в севооборотах на 2,2-4,1 % и 5,4-11,6 %, суммы поглощённых оснований на 4,6-7,5 % и 4,4-12,8 %, усиление кислотности $pH_{\text{сол}}$ на 0,11-0,5 ед. и 0,26-0,65 ед. (соответственно неудобренный и удобренный фон). Гидролитическая кислотность с 2,94-2,98 мг.экв/на 100 г почвы увеличилась на неудобренном фоне до 2,46-3,56 и на удобренном фоне до 3,43-4,21 мг.экв/на 100 г почвы. Почва за время использования стала переходить в категорию среднекислых. Такие изменения указанных показателей ведут к снижению эффективности минеральных удобрений.

Внесение в качестве мелиоранта доломитовой муки под зяблевую обработку почвы в 2011 году из расчёта 1,5 Нг в 6-типольном зернотравянопропашном севообороте изменило плодородие тёмно-серой лесной почвы (таблица 6).

Установлено, что максимальное действие мелиоранта проявилось через 2 года после внесения, последствие продолжалось до конца ротации севооборота, затем начались процессы нарастания кислотности, снижения кальция в почве, ёмкости поглощения, что указывает на необходимость циклического поддерживающего известкования пахотных почв.

В варианте без применения удобрений почва по степени кислотности стала близко к нейтральной. По фону минеральных удобрений почва стала слабокислой.

Таблица 6 – Изменение плодородия почвы под действием доломитовой муки, среднее за ротацию севооборота, 0-30 см

Система удобрений и известкования	Кислотность		Содержание в почве					
	солевая , рН _{сол}	гидролитическая, Нг	общего гумуса, %	азота нитратного, мг/кг почвы	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы	магния, мг-экв /100 г почвы	кальция мг-экв /100 г почвы
N ₀ P ₀ K ₀	5,00	3,72	3,03	3,47	10,9	10,0	2,64	15,80
N ₀ P ₀ K ₀ + CaCO ₃	5,47	2,70	3,098	4,47	10,9	10,7	3,29	15,26
Изменение показателей	+0,47	-1,02	+0,068	+1,0	0	+0,7	+0,65	-0,54
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,82	4,55	3,127	3,81	20,2	12,3	2,49	15,40
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + CaCO ₃	5,34	3,25	3,208	5,26	21,7	13,2	3,40	16,00
Изменение показателей	+0,52	-1,3	+0,081	+1,45	+1,5	+0,9	+0,91	+0,6
НСР ₀₅ фактор А	0,45	0,82	0,14	0,72	1,53	1,11	0,34	0,46
НСР ₀₅ фактор В	0,20	0,49	0,056	0,83	1,66	1,54	0,28	0,50

Химическая мелиорация почвы оказала положительное влияние на комплекс физико-химических свойств почвы: увеличились сумма поглощённых оснований, содержание магния в почве, в течение 4 лет после внесения мелиоранта плотность почвы на 3-6 % была ниже исходного значения, улучшилось структурное состояние, увеличились содержание водопрочных агрегатов на 1,4–3,1% и пористость почвы на 1,8–2,7% по сравнению с вариантом без мелиоранта. Применение доломитовой муки создало благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур севооборота, что отразилось в увеличении урожайности возделываемых культур в севообороте на 12,9-17,3%. Сочетание удобрений и мелиоранта повышало продуктивность севооборота на 40% [19].

Таким образом, на основании многолетних исследований для сохранения и воспроизводства плодородия серых лесных почв Рязанской области сельскохозяйственным предприятиям рекомендованы следующие мероприятия:

- широко использовать в севооборотах бобовые и бобово-злаковые многолетние травы – не менее 33 % – для сохранения и увеличения качества плодородия почвы и увеличения гумуса с меньшими затратами антропогенной энергии;

- в системе севооборота применять минеральные удобрения в объёме не менее 180 кг д.в/га и ежегодно заделывать в почву пожнивно-корневые растительные остатки из расчёта 7-8 т/га сухой массы для обеспечения положительного баланса гумуса;

- значительно увеличить объёмы известкования земельных угодий для снижения кислотности почв и довести их до 180 тыс. га ежегодно при дозе известкового материала 7,3-10,5 т/га;

- установить периодичность известкования один раз в шесть – восемь лет в зависимости от интенсивности использования пашни и поступления органического вещества в почву для поддержания оптимального баланса кальция.

Список литературы

1. Сычев В.Г., Милащенко Н.З., Шафран С.А. Агрохимические аспекты получения высококачественного зерна в России // Плодородие. – 2018. - № 1 (100). - С. 1-4. DOI:10/25680/ S19948603.2018.100.04

2. Милащенко Н.З., Шкуркин С.И., Чернова Л.С., Трушкин С.В. Агрохимические и агротехнические требования к системам зональных технологий производства продовольственного зерна пшеницы // Плодородие. – 2022. – №4. – С. 3-5. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.01.

3. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие. – 2017. - № 1. - С. 1-4.

4. Электронный ресурс: <https://www.ryazagro.ru/news/16495/>

5 Рязанская область в 2022 году, статистический ежегодник. 2023: Стат. сб. в 2 т., 2 т. /Рязаньстат. – Рязань, 2023. – 202 с.

6. [Электронный ресурс]:<https://www.ryazagro.ru/news/16337/>

7. Пестряков А.М. Динамика агрохимических свойств темно-серой лесной почвы при применении удобрений в различных севооборотах // Результаты длительных исследований в системе Российской Федерации (к 70-летию Геосети) под редакцией В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2011. – С. 203-211.

8 Артюхова О.А., Гладышева О.В., Свирина В.А. Вынос питательных элементов урожаем ярового ячменя в зависимости от уровня минерального питания. Плодородие, 2021, №4 (121). С. 46-10. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.02

9. Аканова Н.И., Гладышева О.В., Шильников И.А., Кирпичников Н.А. Вопросы повышения эффективности химической мелиорации почв. Вестник АГУ, 2018, № 1. С. 78-84.

10. Гладышева О.В., Гвоздев В.А., Пестряков А.М. Динамика основных элементов почвенного плодородия почв Южной и Юго-Западной части Рязанской области Вестник РСХН, 2017, № 6. С. 27-30.
11. Гладышева О.В., Пестряков А.М., Свирина В.А., Красников Н.Г. Определение оптимальной дозы CaCO_3 для нейтрализации кислотности темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы. Плодородие, 2013, № 6, с. 46-47.
12. Сальников С.В., Дагаргулия К.И., Иванов Е.С., Кузнецов Н.П. Продукционные и средоулучшающие потенциалы экосистем и агроландшафтов Рязанской области: монография. РГУ им. С.А. Есенина. Рязань, 2005. 112 с.
13. Шевцова Л.К. Программа и методы исследования гумусного состояния длительных опытов Геосети, реперных участков и полигонов агроэкологического мониторинга. М.: ВНИИА, 2008.
14. Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы обработки экспериментальных данных ВИУА, М., 2003 г. – 276 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
16. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, И. В. Володарская [и др.]. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2003. – 240 с. – EDN TOYFNJ.
17. Гладышева О.В., Пестряков А.М., Свирина В.А. Бобово-злаковые травы и минеральные удобрения в системе мер повышения плодородия почвы/Вестник РСХН. 2016. № 2. С. 26-29.
18. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на гумусное состояние почвы в длительном стационарном опыте // Аграрная наука. – 2020. – № 10. – С. 83-87. – doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-83-87
19. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота при длительном применении минеральных удобрений с известкованием // Плодородие. – 2021. – № 1(118). – С. 27-29. – DOI 10.25680/S19948603.2021.118.08. – EDN XEGXVM.

COMPREHENSIVE MEASURES FOR CULTIVATION DARK GREY FOREST SOIL

O.V. Gladysheva, V.A. Svirina

Abstract: The results of research after the end of the 5th rotation of 6-pole crop rotations are presented. Recommendations are given to increase the productivity of arable land in the Ryazan region on the basis of crop rotations with legume and cereal grasses in combination with mineral fertilizers and chemical reclamation.

Keywords: dark gray forest soil; crop rotation; mineral fertilizers; humus; agrochemical properties; soil acidity; meliorant.

УДК 631.153:519.7

АКАДЕМИК Э.А. МИТЧЕРЛИХ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

В.Г. Григулецкий

*Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина*

В теории, между теорией и практикой нет никакого различия! На практике, между практикой и теорией есть большое различие!! *Нет ничего практичнее хорошей теории!!!*

Густав Роберт Кирхгофф, немецкий математик, механик, физик (1824–1887), член-корреспондент Петербургской академии наук (1862 г.), член Берлинской академии наук (1875 г.), член Лондонского королевского научного общества (1875 г.)

Аннотация. Представлен краткий анализ основных опубликованных работ иностранного члена АН СССР (академика) Э. А. Митчерлиха, посвященных росту и продуктивности сельскохозяйственных культур, в зависимости от действия разных «*факторов роста*»; изложена новая цифровая модель роста и развития разных растений для разных почвенно-климатических условий и удобрений, показывающая хорошее соответствие опытных и расчетных (прогнозных) значений урожаев.

Ключевые слова: факторы роста, урожайность, потенциальная (максимальная) продуктивность, прирост урожая, кривая роста урожайности, дозы удобрений, математическая модель, дифференциальное уравнение.

Более 110 лет назад, а именно в 1909 г., академик Митчерлих Э.А. предложил и опубликовал [1] «закон совокупного действия факторов роста», который сыграл большую роль в развитии агрономической науки Германии, Дании, СССР и др. стран [2–6]. Большое практическое значение в СССР имели первые монографии проф. Э. А. Митчерлиха на русском языке [7, 8]. По мнению проф. Турчина Ф. В., – редактора перевода монографии Э. А. Митчерлиха «Почвоведение» (– М. : ИЛ, 1957), «несмотря на шаткость и ненадежность теоретического обоснования «закона действия факторов роста», все же имеется огромный, полученный экспериментальным путем материал, подтверждающий применимость формулы Митчерлиха для прогноза действия удобрений в условиях проведения этих опытов» ([2], стр. 10). Основное положение «закона действия факторов роста» проф. Митчерлих Э. А. использовал при математической обработке результатов полевых и деляночных опытов при действии разных типов и количеств удобрений на разные растения (§§ 36–39, стр. 197–221, [2]), определении содержания питательных средств в почве и потребности почвы в удобрении (§ 40, стр. 221–226, [2]), изучении удельной поверхности почвы в зависимости от влажности (§ 10, стр. 48–55, [2]), исследовании структуры (§ 11, стр. 58–60, [2]) и устойчивости скважности (§ 13, стр. 60–67, [2]) почвы и т. д.

Научный Институт по Удобрениям имени Я.В. Самойлова, СССР (НИУ), а сейчас, – Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, активно внедрял и использовал методику проф. Митчерлиха Э.А. при проведении полевых опытов. Под руководством проф. (а позже, – академика) А.Д. Лебеядцева именно в НИУ СССР с 1926 г. по 1930 г. проведены первые широкие Географические опыты с минеральными удобрениями [3, 4, 6, 9–13] по методу Митчерлиха Э.А. По свидетельству проф. А.Т. Кирсанова [4] «Отдел Земледелия Государственного Института Опытной Агрономии (НИУ), возродившийся в марте 1927 г. с первых же дней своего существования начал изучение теории Митчерлиха Э. А., считая, что она является одной из наиболее крупных теорий и не ограничивается одной только областью определения потребности почв в удобрениях, а имеет гораздо более широкое теоретическое и практическое значение. Экспериментальная работа началась в мае 1927 г. в Детско-сельском отделении Отдела Земледелия и на руководимом мною же Растениеводственной станции Ленинградского сельскохозяйственного института. Работы начались сравнительно в небольших размерах, всего около 500 сосудов, и были целиком посвящены проверке теории на вопросах удобрения и влаги» ([4], стр. 4–5). В статье [11] подробно описаны результаты

первых полевых опытов по Программе Географической сети Научного Института по Удобрениям за 1928 г., обработка которых выполнена по методике проф. Э.А. Митчерлиха; всего проведено 163 опыта на разных культурах: лен – 29 опытов, картофель – 20 опытов, овес – 29 опытов, сахарная свекла – 11 опытов, подсолнечник – 11 опытов, табак – 9 опытов и т. д. в разных регионах СССР, но больше всего опытов выполнено в нечерноземной полосе Российской Федерации. По методике проф. Э.А. Митчерлиха вычислены «максимально возможные» урожаи разных культур, определены возможные запасы питательных веществ в разных почвах и получены прогнозные значения урожайности опытных растений при использовании разных удобрений (по азоту, по фосфору и по калию) [11].

Опыты проводились по схеме Митчерлиха, дополненной контрольной делянкой: О – РК – НК – НР – НРК.

По Митчерлиху взяты высокие дозы удобрений (по 120 кг/га N, P₂O₅ и K₂O) и самая методика полевого опыта – 6-кратная повторность делянок при площади $2,5 \times 10 = 25 \text{ м}^2$ для пропашных и $2 \times 5 = 10 \text{ м}^2$ для сплошных культур.

Введены вариации фона в смысле кислого и щелочного набора удобрений. В кислый набор вошли: сернокислый аммоний, суперфосфат и сернокислый калий; в щелочной – чилийская селитра, томасшлак и калийная соль. Значительная часть опытов проведена на нейтральном фоне при смешанном наборе удобрений.

В проведении этого коллективного географического опыта приняло участие около 80 опытных учреждений расположенных, главным образом в европейской части Союза.

Всего опытов было учтено 163. В общую обработку вошло 139 опытов.

Ниже в таблице 1 дано распределение опытов по культурам и почвенным зонам.

Представляется полезным дать схему вычислений, как это производилось в Научном Институте по Удобрениям при обработке массовых материалов полевых опытов по Митчерлиху.

Были вычислены «максимальные» урожаи A, по азоту, фосфору и калию. Далее запасы питательных веществ в почве b. Затем урожаи по b, отвечающие почвенным запасам питательных веществ и, наконец, вероятные урожаи по нарастающим дозам удобрений.

Образец вычислений: год урожая 1928. № 30. Растение: картофель. Опытное учреждение: Алексеевское опытное поле, почва: супесчаная, фон: нейтральный на клевере, не известкованный, род урожая: клубни (таблица 2).

Таблица 1 – Распределение опытов по культурам и почвенным зонам СССР

Опытное растение	Нечерно-земная зона	Чернозем		Прочие почвы	Всего опытов
		северный	южный		
Лен	18	8	3	—	29
Конопля	1	7	—	—	8
Картофель	13	6	1	—	20
Сахарная свекла	—	11	—	—	11
Овес	10	15	4	—	29
Травы	8	3	—	—	11
Подсолнечник	2	2	7	—	11
Табак	6	—		3	9
Прочие культуры	5	3	1	2	11
Всего опытов	63	55	16	5	139

Таблица 2 – Фактический урожай и дозы удобрений соответственно

Варианты	Урожайные данные в ц/га	Удобрения, ц/га	Коэфф. действия	cx = lg m	
				cx	m
Без удобрения	143,0 = y ₀	1,2 = x ₁	0,122 = c ₁	0,1464	1,401 = m ₁
РК	203,0 = y ₁	1,2 = x ₂	0,6 = c ₂	0,72	5,248 = m ₂
NK	146,1 = y ₂	1,2 = x ₃	0,93 = c ₃	1,116	13,062 = m ₃
NP	223,5 = y ₃	1,2 = x ₄	0,33 = c ₄	0,396	2,489 = m ₄
NPК	241,0 = y				

Определение максимального урожая (таблица 3) для конкретного удобрения проводится по формуле:

$$A_i = \frac{m_i y - y_i}{m_i - 1}. \quad (1)$$

Вычисление запасов питательных веществ в почве проводится по формуле:

$$b_i = \frac{\lg(A_i) - \lg(A_i - y_{0i})}{c_i}. \quad (2)$$

Таблица 3 – Значения максимального урожая (A_i) для конкретного удобрения по азоту (A_1), по фосфору (A_2), по калию (A_3) (коэффициент действия $c = 0,93$) и по калию (A_4) (коэффициент действия $c = 0,33$)

Максимальный урожай, ц/га	$\lg(A - y_3)$	$A_i - y_1 - y_3$	$\lg(A - y_1 - y_3)$
$A_1 = \frac{m_1 y - y_1}{m_1 - 1} = \frac{1,401 \cdot 241,0 - 203,0}{1,401 - 1} = \frac{134641}{0,401} = 335,76$	2,52608	132,76	2,12320
$A_2 = \frac{m_2 y - y_2}{m_2 - 1} = \frac{5,248 \cdot 241,0 - 146,1}{5,248 - 1} = \frac{1118668}{4,248} = 263,34$	2,42045	117,24	2,06893
$A_3 = \frac{m_3 y - y_3}{m_3 - 1} = \frac{13,062 \cdot 241,0 - 223,5}{13,062 - 1} = \frac{2924442}{12,062} = 242,45$	2,38471	18,95	1,27761
$A_4 = \frac{m_4 y - y_4}{m_4 - 1} = \frac{2,489 \cdot 241,0 - 223,5}{2,489 - 1} = \frac{376349}{1,489} = 252,75$	2,40278	29,25	1,46613

Вычисление запасов в почве азота = b_1 ; фосфора = b_2 ; калия = b_3 , выраженных в форме внесенных удобрений в ц/га (таблица 4):

$$b_1 = \frac{\lg A_1 - \lg(A_1 - y_1)}{c_1} = \frac{2,52609 - 2,12320}{0,122} = \frac{0,40288}{0,122} = 3,3,$$

$$b_2 = \frac{\lg A_2 - \lg(A_2 - y_2)}{c_2} = \frac{2,42045 - 2,06893}{0,6} = \frac{0,35152}{0,6} = 0,6,$$

$$b_3 = \frac{\lg A_3 - \lg(A_3 - y_3)}{c_3} = \frac{2,38471 - 1,27761}{0,93} = \frac{1,10710}{0,93} = 1,2,$$

$$b_4 = \frac{\lg A_4 - \lg(A_4 - y_4)}{c_4} = \frac{2,40278 - 1,46613}{0,33} = \frac{0,93665}{0,33} = 2,8.$$

Таблица 4 – Фактический урожай, соответствующий разным дозам удобрений

Дозы	Дозы + запас для азота	Урожай, % А	Абс. урожай.	Фосф.-кисл. удобр.			Кал. уд. с коэф. д. (0,93)			Кал. уд. с коэф. д. (0,33)		
				Дозы + запас	Урожай, % А	Абс. урожай.	Дозы + запас	Урожай, % А	Абс. урожай.	Дозы + запас	Урожай, % А	Абс. урожай.
Без удобр.= y_0	–	42,6	143,0	–	54,3	143,0	–	59,0	143,0	–	56,6	143,0
по $b =$	3,3	60,4	202,8	0,6	56,3	148,3	1,2	92,3	223,8	2,8	88,1	222,7
0,1	3,4	61,5	206,5	0,7	62,0	163,3	1,3	93,8	227,4	2,9	82,0	225,0
0,2	3,5	62,6	210,2	0,8	66,9	176,2	1,4	95,0	230,3	3,0	89,8	227,0
0,3	3,6	63,6	213,5	0,9	71,2	187,5	1,5	96,0	232,8	3,1	90,6	229,0
0,6	3,9	66,6	223,6	1,2	80,9	213,0	1,8	97,9	237,4	3,4	92,6	234,1
1,2	4,5	71,7	240,7	1,8	91,7	241,5	2,4	99,4	241,0	4,0	95,3	240,9

В таблице 5 приведены относительные значения урожая по разным почвенным зонам.

Таблица 5 – Сравнительная эффективность удобрений

Почвенные зоны	Число опытов	Относительные урожаи по различным удобрениям				
		О	РК	НК	НР	НРК
Нечерноземная	62	100	144	149	176	197
Северо-черноземная	55	100	123	153	166	178
Южно-черноземная	16	100	110	109	111	117

Порядок действия удобрений и соответствующий порядок минимумов (по Либиху), представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Порядок действия удобрений по почвенным зонам СССР

Почвенные зоны	Порядок эффективности удобрений	Порядок минимумов
Дерново-подзолистая	НРК > НР > НК > РК	N – P – K
Северный чернозем	НРК > НР > НК > РК	N – P – K
Южный чернозем	НРК > НР > РК > НК	P – N – K

Из таблицы 6 видно, что «порядок минимумов» (по Либиху) для нечерноземной зоны и северного чернозема совпадают (N – P – K), а в южном черноземе азот (N) уступает первое место фосфору (P) и соответственно получается (P – N – K).

В таблице 7 приведены значения почвенных запасов питательных веществ.

Таблица 7 – Запасы питательных веществ в почве по разным почвенным зонам СССР

Зоны	По льну			По овсу		
	N	P	K	N	P	K
Нечерноземная	2,6	1,3	1,2	2,4	1,1	1,1
Северо-черноземная	2,7	1,8	1,7	2,2	2,0	1,4
Южно-черноземная	8,0	1,9	1,4	4,2	1,3	1,2

Опытами установлено следующее:

1) во всех почвенных зонах (нечерноземной, северо-черноземной и южно-черноземной) наблюдается положительное действие удобрений, но разной силы;

2) по эффективности удобрений на первом месте стоит нечерноземная полоса, далее следует зона северного чернозема и на последнем месте южный чернозем;

3) для всех зон наибольший эффект дает полное удобрение – NPK и далее следует парное азотно-фосфорное удобрение – NP, что говорит о подчиненной роли калия во всех трех почвенных зонах, что весьма *важно для практики земледелия*.

Необходимо отметить, что «закон совокупного действия факторов роста» нарушается, и урожайность растений уменьшается при внесении в почву большого количества удобрений, растения могут погибнуть при использовании высоких доз растворимых удобрений из-за плазмолитических явлений.

Для величины урожая (y), академик Э. А. Митчерлих в 1928 г. рекомендовал использовать следующее уравнение:

$$y = A(1 - 10^{-cx}) \cdot 10^{-kx^2}, \quad (3)$$

где k – «коэффициент повреждения» растений,
которое определяет «предел повышения урожая».

С помощью этого уравнения академик Э. А. Митчерлих с сотрудниками исследовал особенности применения калийных удобрений на урожай картофеля (3678 опытов), кормовой свеклы (1081 опыт), ржи (712 опытов) и др. культур в разных почвах Германии; во всех опытах получено хорошее соответствие экспериментальных и расчетных значений урожая разных культурных растений (Митчерлих Э. А. Почвоведение. 1957).

В 1961 г. проф. А. Демолон опубликовал большую монографию [14], посвященную исследованию разных вопросов роста и развития культурных растений на почвах Франции; в этой книге особенно подробно рассматривается «закон убывающего плодородия» Э. А. Митчерлиха и специально отмечается, что вышеприведенные формулы являются «первым приближением» закона «совокупного действия факторов роста» (или «закона убывающего плодородия»), справедливыми только для восходящей ветви кривой урожая до максимального значения, чтобы учитывать угнетающее действие факторов роста, когда увеличение дозы питательных веществ (удобрений) приводит к снижению урожая, для этого случая целесообразно использовать следующее дифференциальное уравнение:

$$\left(\frac{1}{y}\right) \frac{dy}{dx} = \left(\frac{A-y}{y}\right) - 2kx, \quad (4)$$

что после интегрирования дает функцию:

$$y = A(1 - 10^{-cx}) \cdot 10^{-kx^2} \quad (5)$$

(уравнения из книги А. Демолон. Рост и развитие культурных растений. 1961),

где k – «коэффициент токсичности».

Отметим, что функция (5) не является решением дифференциального уравнения (4), поэтому все аналитические (теоретические) результаты теории Э. А. Митчерлиха, учитывающие угнетающее действие факторов роста ошибочны и нуждаются в уточнении.

Найдем производную первого порядка $y'(x)$ функции $y(x)$:

$$y' = A \ln 10 \cdot 10^{-kx^2} [(c + 2kx) \cdot 10^{-cx} - 2kx], \quad (6)$$

подставив соотношения (5) и (6) в уравнение (4), получим:

$$c(10^{kx^2} - 1) = (\ln 10 - 1)[(c + 2kx) \cdot 10^{-cx} - 2kx], \quad (7)$$

которое не является тождеством.

Таким образом, существующие теоретические результаты акад. Э. А. Митчерлиха нуждаются в уточнении и дальнейшем развитии.

На специальном совещании в Научном Институте по Удобрениям 5–8 марта 1929 г. принято решение о продолжении полевых опытов по методике проф. Э. А. Митчерлиха на землях СССР и для этого была специально разработана «Методика Проведения вегетационных опытов по Э. А. Митчерлиху» [13]. В статье [12] подробно описаны первые вегетационные опыты по изучению плодородия среднеподзолистой и глинистой почв Долгопрудного опытного поля НИУ для разных растений; изучались овес, лен, конопля, томаты, картофель и сахарная свекла.

Результаты опытов обрабатывались по методике проф. Э. А. Митчерлиха, с использованием следующих формул:

$$A = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{2y_1 - y_0 - y_2}; \quad (A)$$

$$c = \frac{\log(A - y_0) - \log(A - y_1)}{x_1 - x_0}; \quad (B)$$

$$b = \frac{\log(A) - \log(A - y_0)}{c}; \quad (C)$$

$$y(x) = A[1 - 10^{-cx}], \quad (D)$$

A – максимально возможный урожай, полученный при оптимальном количестве изучаемого фактора; c – коэффициент действия данного питательного фактора (x); b – запас питательного вещества в почве; $y(x)$ –

количество урожая конкретного растения при внесении в почву определенного питательного вещества (x); y_0 , y_1 , y_2 – количества урожая в опытах через равные интервалы питательного вещества: $x_2 - x_1 = x_1 - x_0$, причем $y_0 = y(x_0)$, $y_1 = y(x_1)$, $y_2 = y(x_2)$.

В 1933 г. опубликована большая критическая работа проф. В. Н. Перегудова [15] относительно обоснованности и корректности основных положений методики проф. Э. А. Митчерлиха [1–8]. Среди основных замечаний по существу методики проф. Э. А. Митчерлиха, проф. В. Н. Перегудов отмечает следующие [15]. Во-первых, положения Митчерлиха Э. А. о выпуклости кривой роста и об убывании рентабельности последовательных доз удобрений вызывает возражения со стороны диалектиков-материалистов, отождествляющих кривую Митчерлиха с законом убывающего плодородия. Во-вторых, использование фактического материала полевых опытов за 1928–1930 гг. показывает, что из 563 опытов вогнутость кривой роста наблюдалась в 392 опыте, или 70 %, а выпуклость кривой роста была только в 171 опыте, т. е. только 30 %. Проф. В. Н. Перегудов [15] специально отмечает, что «таким образом, априорно, с диалектической точки зрения, что процессы природы не идут изолированно один от другого, что существует определенное взаимодействие внутри комплекса причин того или иного явления, что пессимистический закон убывающего плодородия не соответствует действительности, мы должны считать, что теория Митчерлиха не является законом, что эта теория не может верно отражать действительные процессы. Из трех основных положений, выдвигаемых теорией Митчерлиха, только принцип совместного действия факторов может быть принят, как соответствующий действительности. Два же остальных главнейших положения – независимость действий факторов и выпуклость кривой роста – страдают определенной механистичностью, крайне элементарным представлением о процессах природы и придают теории Митчерлиха антидиалектический характер. Но нужно сказать, что, если с теоретической стороны нами определено отношение к теории Митчерлиха, то с фактической стороны дело обстоит иначе. Приводится масса фактов, добытых опытным путем, которые будто бы подтверждают теорию Митчерлиха. Указывается на то, что сам Митчерлих вывел свой закон из большого материала, что в течение 20 лет Митчерлих находит все большее и большее число фактов, подтверждающих его концепцию, что метод Митчерлиха дал блестящие результаты при применении его к определению потребности почв в удобрениях в Восточной Пруссии. Кроме Митчерлиха большое число исследователей приводят также массу фактов в пользу этой теории. Таким

образом, получается кажущееся противоречие между диалектическим миропониманием и фактами, и как будто бы факты встают на сторону теории Митчерлиха. Конечно, противоречие это кажущееся. Оно получилось в результате того, что не всегда мы способны по отдельным звеньям процесса составить себе представление о процессе в целом (это будет возможным, когда будет установлена взаимная связь отдельных процессов между собой), что не всегда мы можем верно истолковать факты, а иногда даже желаем их осветить с определенной стороны и, наконец, это противоречие получилось отчасти в результате тех особых условий, при которых добыты факты» [15]. Многие критические утверждения проф. В. Н. Перегудова [15] относительно теории проф. Э. А. Митчерлиха нуждаются в уточнении и ранее отмечались в работах проф. В. Вауле [16, 17].

Новая цифровая методика оценки действия факторов роста и урожайности сельскохозяйственных культур. Принимаем справедливость следующего утверждения: урожайность (y) и ее прибавка возрастают при увеличении количества фактора роста (x) и пропорциональны количеству урожая ($A - y$), не достигшего до максимального предельного значения (A) и возможному значению урожая ($B + y$), выше некоторого минимального (начального) значения (B) урожая. Таким образом, можно записать следующее дифференциальное уравнение первого порядка в обыкновенных производных:

$$\frac{dy}{dx} = c(A - y)(B + y), \quad (8)$$

c – коэффициент пропорциональности, называемый «относительным коэффициентом действия фактора роста»; A – постоянный параметр, определяемый по экспериментальным (опытным) данным и равный «максимальному возможному урожаю»; B – постоянный параметр, определяемый по экспериментальным (опытным) данным и равный «начальному» значению урожая определенной культуры для конкретной почвы, гидрометеороусловий района и ландшафта.

Для дифференциального уравнения (8) назначим «начальные» условия:

$$y(x_0) = y_0 = B, \quad (9)$$

x_0 , y_0 – постоянные параметры, определяющие соответственно «начальное» значение фактора роста (x_0) и «начальное» значение урожая (y_0).

Решение дифференциального уравнения (8), удовлетворяющее начальным условиям (9), можно записать в виде:

$$\ln(A - y_0) - \ln(B + y_0) = \ln(A - y) - \ln(B + y) + c(A + B)(x - x_0), \quad (10)$$

или в виде:

$$y(x) = \frac{A(B + y_0) \exp[c(A + B)(x - x_0)] - B(A - y_0)}{(B + y_0) \exp[c(A + B)(x - x_0)] + (A - y_0)}. \quad (11)$$

Значение коэффициента А можно найти по формуле:

$$A + B = \frac{2(y_1 + B)(y_2 + B)(y_3 + B) - (y_2 + B)^2(y_1 + y_3 + 2B)}{(y_1 + B)(y_3 + B) - (y_2 + B)^2}, \quad (12)$$

y_1, y_2, y_3 – экспериментальные значения урожая, установленные через равные интервалы изменения фактора роста (x), т. е. $x_3 - x_2 = x_2 - x_1$ и соответственно $y(x_1) = y_1, y(x_2) = y_2, y(x_3) = y_3$, позволяет найти значение максимально возможного урожая конкретного растения для определенных условий, состава почв и гидрометеорологических данных.

Эффективность конкретного удобрения, мелиоранта и компоста, в частности, можно оценивать по значению «относительного коэффициента действия фактора роста», который можно находить по формуле:

$$c = \frac{\ln[(A - y_0)(B + y)] - \ln[(B + y_0)(A - y)]}{(A + B)(x - x_0)}. \quad (13)$$

Если с неудобренной почвы получен некоторый урожай ($y_{\text{ну}}$), соответствующий некоторому запасу питательных веществ в почве ($x = x_{\text{ну}} = b$), то из последней формулы можно получить соотношение:

$$x_{\text{ну}} = b = \frac{\ln(A) - \ln(A - y_{\text{ну}}) + \ln(B + y_{\text{ну}}) - \ln(B)}{c(A + B)}, \quad (14)$$

или:

$$x_{\text{ну}} = b = \frac{1}{c(A + B)} \left[\ln\left(\frac{A}{A - y_{\text{ну}}}\right) + \ln\left(\frac{B + y_{\text{ну}}}{B}\right) \right]. \quad (15)$$

Формулы (14) и (15) определяют запас питательных веществ в почве до применения удобрений. Предложенная математическая модель физиологического закона действия факторов роста на урожайность (продуктивность) сельскохозяйственных культур является обобщением известного закона Э. А. Митчерлиха [1, 2, 5, 7, 8].

Примеры расчетов. Т. И. Иванова в 1989 г. опубликовала [18] важную теоретическую работу, в которой определены основные методические основные методические положения проведения многофакторных опытов с удобрениями в разных природно-климатических условиях и с разными сельскохозяйственными растениями.

Пример 1. Рассмотрим результаты Смоленского филиала ВИУА по изучению продуктивности севооборота в зависимости от содержания подвижного фосфора на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с низким запасом подвижных фосфатов ([1], стр. 44); при обобщении результатов длительных опытов с удобрениями удалось установить тесную корреляционную связь между продуктивностью и содержанием подвижного фосфора в почве, показанную на рисунке 1 (рисунок 1, стр. 44, [18]).

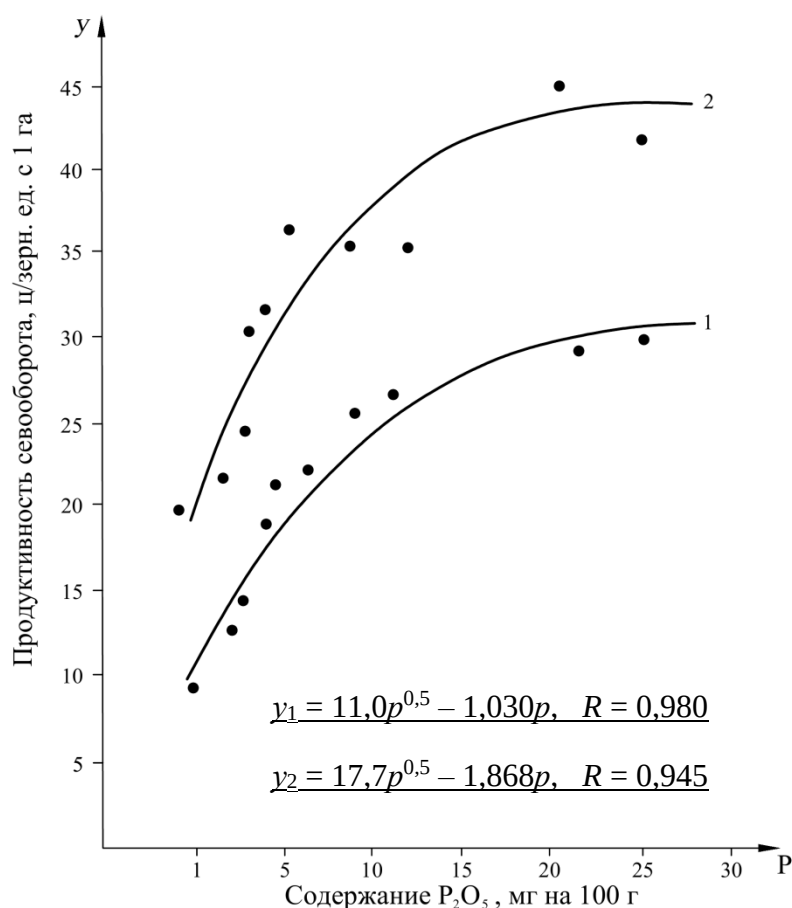


Рисунок 1 – Продуктивность севооборота в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве: 1 – без внесения удобрений; 2 – по фону полных удобрений (NPK)

Опытами установлено, что на слабоокультуренных почвах с низким содержанием подвижного фосфора в почве, внесение фосфорных удобрений в больших дозах приводит к большим (20–40 ц/га) прибавкам урожая зерновых культур; на окультуренных почвах с низким содержанием подвижного фосфора в почве, внесение фосфорных удобрений в больших дозах приводит к незначительным (2–4 ц/га) прибавкам урожая зерновых.

Кривые на рисунке 1 хорошо описываются уравнениями:

$$y_1 = 11,0(p)^{0,5} - 1,030(p) \quad (16)$$

(коэффициент корреляции $R = 0,980$),

$$y_2 = 17,7(p)^{0,5} - 1,868(p) \quad (17)$$

(коэффициент корреляции $R = 0,945$).

Пример 2. Рассмотрим данные опытов, в которых изучалась эффективность фосфорных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, таблица 8 ([18], стр. 102, таблица 70) на контрольном поле при фоне $N = P = K = 0$.

Таблица 8 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз фосфорных удобрений для контрольного поля

№№ п. п.	Доза фосфора, x_i (кг/га)	(Опыт) урожай, y_i (ц/га)	(Расчет) урожай, y_i (ц/га)	Коэффициент действия $10^3 \cdot C_i$
1	0	15,8	15,800	–
2	60	25,9	25,900	0,3055
3	120	28,3	27,659	0,2980
4	180	29,4	29,418	0,2982
5	240	29,9	29,899	–

Значение максимального урожая при этом равно $A = 30,298$ ц/га; расчетные значения урожайности озимой пшеницы приведены в таблице 8.

Пример 3. Рассмотрим данные опытов применения фосфорных удобрений на урожайность озимой пшеницы, таблица 9 ([18], стр. 102, таблица 70) на поле при фоне $N = 80$ кг/га.

Таблица 9 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз фосфорных удобрений на поле при фоне $N = 80$ кг/га

№№ п. п.	Доза фосфора (кг/га)	(Опыт) урожай, (ц/га)	(Расчет) урожай, (ц/га)	Коэффициент действия $10^3 \cdot C_i$
1	0	15,1	15,100	–
2	60	27,9	27,900	0,4171
3	120	31,4	33,615	0,2025
4	180	33,4	33,521	0,1875
5	240	34,6	34,599	–

Значение максимального урожая при этом равно $A = 36,225$ ц/га; расчетные значения урожайности озимой пшеницы приведены в таблице 9.

Пример 4. Рассмотрим данные опытов, в которых изучалась эффективность калийных удобрений на урожайность озимой пшеницы, таблица 10 ([18], стр. 67, таблица 46).

Таблица 10 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз калийных удобрений за период 1975–1977 гг.

№№ п. п.	Доза удобрений (кг/га)	Прибавка урожая, опыт (кг/га)	Прибавка урожая, расчет (кг/га)	Коэффициент действия $10^3 \cdot C_i$
1	40	5,6	5,600	–
2	80	7,0	7,000	1,965
3	120	7,6	7,569	2,151
4	160	7,8	7,799	2,154

Значение максимальной прибавки урожая при этом равно $A = 7,893$ кг/га; расчетные значения прибавки урожая приведены в таблице 10.

Выводы. 1. Представлен краткий анализ и обзор основных работ академика Э. А. Митчерлиха, посвященных моделированию роста и продуктивности сельскохозяйственных растений; отмечается их важное теоретическое и практическое значение, как первых аналитических работ в земледелии и почвоведении.

2. Предложена новая цифровая модель роста и развития сельскохозяйственных растений, как обобщение модели академика Э. А. Митчерлиха.

3. Приведены примеры расчетов, показывающие хорошее соответствие опытных и расчетных значений урожайности сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Mitscherlich E. A., Merrec E. Eine guantitative Stiekstoffanalyse für sehr geringe Mengen // Landwirtschaftliche Jahrbücher. Zeitschrift für wissenschaftliche Landwirtschaft, 1909, Bd. XXXVIII, Vol. 7, st. 537–552.
2. Митчерлих Э. А. Почвоведение. – М.: ИЛ, 1957. – 416 с.
3. Домонтович М. К. «Закон минимума» Либиха и «закон действия факторов роста» Митчерлиха // Опытное поле Петровской сельскохозяйственной Академии, 1922, Бюллетень № 31. – С. 1–25.

4. Кирсанов А. Т. Теория Митчерлиха, ее анализ и практическое применение. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1930. – 200 с.
5. Mitscherlich E. A. Die Pflanzenphysiologische bodenanalyse // Труды II Международного Конгресса почвоведов (Ленинград-Москва, 20–31 июля 1930 г.). IV Комиссия. Плодородие почв. – М.: Издательство сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1932. – С. 1–5.
6. Kirsanov A. T. Mathematische darstellung der Nährstoffwirkung // Труды II Международного Конгресса почвоведов (Ленинград-Москва, 20–31 июля 1930 г.). IV Комиссия. Плодородие почв. – М.: Издательство сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1932. – С. 6–13.
7. Митчерлих Э. А. Потребность почвы в удобрении. Практическое применение в земледелии закона действия факторов роста. – М.-Л.: Госиздат, 1928. – 70 с.
8. Митчерлих Э. А. Определение потребности почвы в удобрении. – Госиздат сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1931. – 104 с.
9. Лебединцев А. Н. Географические опыты НИУ с минеральными удобрениями // Труды Научного Института по Удобрениям имени Я. В. Самойлова, 1933, вып. 93. – С. 3–11.
10. Лебединцев А. Н. Вегетационный метод // Избранные труды. – М.: Госиздат сельскохозяйственной литературы, 1960, С. 450–461.
11. Геркен С. С. Полевые опыты по Митчерлиху 1928 года // Удобрение и Урожай, 1929, № 5. – С. 275–280.
12. Самойлова А. Я. Определение запаса азота в почве вегетационным методом Митчерлиха // Удобрение и Урожай, 1929, № 6. – С. 355–358.
13. Смирнов Н. Д. Постановка вегетационных опытов по Митчерлиху Удобрение и Урожай, 1931, № 6. – С. 569–573.
14. Демолон А. Рост и развитие культурных растений. – М.: Россельхозиздат, 1961. – 400 с.
15. Перегудов В. Н. Совместное действие нескольких факторов, теория Митчерлиха и правило Риппеля // Труды Научного Института по Удобрениям имени Я. В. Самойлова, 1933, вып. 93. – С. 258–305.
16. Baule B. Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen // Landwirtschaftliche Jahrbücher. Zeitschrift für wissenschaftliche Landwirtschaft, 1918, Bd. 51, st. 363–385.
17. Baule B. Prinzipielle Überlegungen zum Wachstumsgezet der Pflanze // Landwirtschaftliche Jahrbücher. Zeitschrift für wissenschaftliche Landwirtschaft, 1920, Bd. LIV, st. 493–505.

18. Иванова Т. И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.

**ACADEMICIAN E.A. MITSHERLIKH AND DIGITAL FARMING
TECHNOLOGIES IN THE STRATEGY FOR DEVELOPING A
GEOGRAPHICAL NETWORK OF FERTILIZER EXPERIMENTS**

V.G. Griguletsky

Abstract. A brief analysis of the main published works of the foreign member of the USSR Academy of Sciences (academician) E. A. Mitscherlich, devoted to the growth and productivity of agricultural crops, depending on the action of different "growth factors" is presented; a new digital model of the growth and development of different plants for different soil and climatic conditions and fertilizers is presented, showing good agreement between the experimental and calculated (forecast) yield values.

Key words: growth factors, yield, potential (maximum) productivity, yield increase, yield growth curve, fertilizer doses, mathematical model, differential equation.

УДК 633.11.324:631.84

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДКОРМОК ЖКУ посева ОЗИМОЙ
ПШЕНИЦЫ**

Д.В. Дубинин¹, В.В. Мамаев²

¹ООО «ФосАгро-Регион»,

² ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет

E-mail: ddubinin@phosagro.ru, vmameev@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты оценки эффективности подкормки озимой пшеницы в зависимости от формы и вида минеральных удобрений на формирование урожая зерна на окультуренных серых лесных почв в условиях Нечерноземной зоны России. Выявлено, что подкормка вегетирующих растений удобрениями обеспечивает получение прибавки урожая зерна озимой пшеницы в зависимости от формы и вида удобрения на уровне 22,2-32,4%. Наибольшая урожайность зерна получена в варианте Фон + N₄₀P₄₀S₂₄ в виде сульфоаммофоса и Фон + N₂₀P₄₀ в виде ЖКУ.

Ключевые слова: озимая пшеница, комплексные минеральные удобрения, подкормка, урожайность, качество зерна, ЖКУ.

Поиск путей совершенствования технологии возделывания озимой пшеницы, направленных на повышение продуктивности культуры является актуальным. Ведущая роль в формировании урожайности любой сельскохозяйственной культуры, в том числе, озимой пшеницы принадлежит минеральному питанию, особенно азотному, поскольку каждый внесенный килограмм азота способствует формированию в Нечерноземной зоне России 8-15 кг зерна [1]. Результаты многочисленных полевых и вегетационных опытов свидетельствуют о том, что доля участия азота в формировании прибавки урожая зерна составляет 40-55% [2].

В последнее время во многих регионах страны дозы внесения азотных удобрений не превышают 45–50 кг д.в./га, что не позволяет полностью реализовать потенциальную продуктивность озимой пшеницы. Для выявления эффективности технологии возделывания озимой пшеницы с проведением подкормки вегетирующих растений в опыте были созданы условия достаточного обеспечения посева азотом. Было внесено 175 кг д.в./га питательных веществ, из которых 113 кг д.в/га приходилось на азот, в следующем году дозы удобрений еще увеличили соответственно до 188 и 120 кг д.в/га.

В интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы одним из эффективных приемов получения прибавки урожая является подкормка посева азотными удобрениями [3-8]. При этом известно, что эффективность усвоения растениями азота зависит от обеспеченности почвы фосфором. Кроме того, важным фактором при формировании высокого урожая и хорошего качества зерна на низко плодородных почвах является содержание в почве серы и кальция [9-10]. В связи с этим, комплексные удобрения, содержащие в своем составе несколько элементов питания, могут обеспечить создание сбалансированного минерального питания.

Цель исследований состояла в выявлении эффективности подкормки вегетирующего посева в зависимости от вида и формы минеральных удобрений в целях повышения урожайности озимой пшеницы.

Полевые исследования были проведены в условиях многолетнего стационарного опыта на серой лесной среднесуглинистой почве, сформированной на лессовидном карбонатном суглинке в условиях Брянской области. Реакция почвенной среды слабокислая pH_{KCl} 5,5-5,7, содержание гумуса -3,58-3,69% (по Тюрину), подвижного фосфора - 285-302 мг/кг, обменного калия – 178-194 мг/кг почвы. Подкормку проводили в период начала возобновления весенней вегетации, в фазу ВВСН 31-34 (выход в трубку) и в фазу ВВСН 37-39 (флаговый лист). Гранулированные удобрения

рассевали вручную, удобрения ЖКУ и раствор мочевины вносили с помощью ранцевого опрыскивателя разбавленным раствором в соотношении 1:4. Схема опыта состояла из 7 вариантов: 1. Контроль- без удобрений; 2. NH_4NO_3 (ранневесенняя подкормка N_{50}); 3. $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (ранневесенняя подкормка N_{45}); 4. NP(S) 20:20:14 (ранневесенняя подкормка N_{40}) 5. NP 11:37 (ранневесенняя подкормка N_{20}); 6. NP 11:37 (ранневесенняя подкормка $\text{N}_{50}+\text{N}_5$ ВВСН₃₁₋₃₄); 7. $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (подкормка N_5 ВВСН 37-39). В вариантах 2-7 подкормки проводились на минеральном фоне: $\text{P}_{40}\text{K}_{40}(\text{S}_{10})+\text{Ca}_{40}$ марка PK(S)+Ca 20:20(5)+20.

Агротехника возделывания озимой пшеницы в опыте общепринятая для региона. Уборку урожая проводили в фазу полной спелости зерна прямым комбайнированием «Terrion -2010». Урожай зерна приведен на 14% влажность и 100% чистоту семян. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли по методикам Б.А. Доспехова с использованием соответствующих программ. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывался по Г.Т. Селянинову. С помощью портативного ручного датчика GreenSeeker® (N-tester) определяли значение индекса NDVI. Анализ качества зерна производили в центре коллективного пользования приборным и научным оборудованием Брянского ГАУ с помощью инфракрасного анализатора ИнфраЛюм ФТ-12, оснащенного программным обеспечением «СпектраЛюм/Про», экономическая эффективность рассчитана с учетом действующих цен 2020 г.

Результаты исследования. Отсутствие осадков осенью повлияло не только на продолжительность периода «посев-всходы», которая составила 20 дней, но и на полевую всхожесть. Внесение фосфорных и калийных удобрений способствовало повышению полевой всхожести растений на 4,6 % относительно контроля. Результаты влияния используемой системы минерального питания приведены в таблице 1.

Отмечено, что межфазные периоды развития растений озимой пшеницы до наступления колошения во всех вариантах проходили одновременно и различий не отмечено. В дальнейшем в вариантах с азотными подкормками колос появился только через пять дней, что связано было с дождливой и прохладной погодой этого периода, а азотное питание содействовало удлинению периода прохождения этой фазы. Цветение, молочная спелость и налив зерна и контроле наступили на три дня раньше, чем в других вариантах.

Наименьшая сухая масса растений в фазу молочной спелости сформировалась в неудобренном варианте и составила 184,5 г/м². В этот период в вариантах с ранневесенними подкормками мочевиной (N_{50}) и

сульфоаммофосом (N_{45}) растения обладали наибольшей массой: 299 и 250 г/м² соответственно.

Таблица 1 – влияние подкормок на формирование урожайности озимой пшеницы

Вариант опыта		Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность, кг/м ²	Прибавка урожая, %
1	Контроль	31,2	41,4	0,70	-
2	Фон+ NH_4NO_3 (N_{50})	35,6	42,9	0,87	24,7
3	Фон+ $CO(NH_2)_2$ (N_{45})	35,7	41,6	0,90	28,5
4	Фон+NP(S) 20:20:14(N_{40})	36,7	44,4	0,92	31,3
5	Фон+NP 11:37 (N_{20})	33,8	43,2	0,85	22,2
6	Фон+NP 11:37 ($N_{50}+N_5$)	37,4	41,0	0,93	32,4
7	Фон+ $CO(NH_2)_2$ (N_5)	38,3	44,5	0,88	26,3
	HCP05	1,87	1,3	0,08	

Наибольшая высота отмечена у растений с двукратной подкормкой ЖКУ. Применение подкормок обеспечило увеличение количества продуктивных стеблей относительно контрольного варианта в 1,2-1,4 раза. В вариантах 2, 3, 4, 6 флаговый лист в фазу молочной спелости имел зеленую окраску в сравнении с контролем.

Максимальная длина колоса и количество зерен наблюдалась в вариантах с использованием мочевины в фазу флагового листа (вар. 7) и двух подкормок ЖКУ (вар.6). Количество зерен было больше, чем в контрольном варианте на 22 и 19%, соответственно. Масса 1000 зерен сформировалась в пределах 41,4-44,4 г. Весенняя подкормка сульфаммофосом и мочевиной по флаговому листу позволила увеличить показатель на 7,2%.

Установлено, что применение подкормок повышало урожайность озимой пшеницы. Бункерный сбор зерна увеличился на 22,2-34,2 %, в сравнении с контролем. Азотная подкормка аммиачной селитрой в период возобновления вегетации обеспечила увеличение сбора зерна на 24,7%. Наибольшую прибавку зерна обеспечило проведение двух подкормок ЖКУ (вар. 6).

Установлено, что натура зерна пшеницы колебалась от 742 до 778 г/л: при корневой подкормке сульфаммофосом показатель увеличился на 25,5 г/л. Проведение двух подкормок посева озимой пшеницы ЖКУ способствовало дальнейшему повышению натуры зерна в сравнении с разовой подкормкой на 12 г/л.

Зерно пшеницы по величине натурной массы во всех вариантах соответствовало требованиям высшего класса качества. Подкормки разными видами азотных удобрений, в том числе серосодержащими, обусловили увеличение содержания сырого протеина и массовой доли клейковины в зерне. Ранняя прикорневая подкормка мочевиной (N_{45}) и применение двукратной подкормки ЖКУ ($N_{15} + N_5$) способствовали наибольшему накоплению сырого протеина в зерне (более 16%) и максимальному содержанию клейковины (27,8–29,2%). Ранневесенняя подкормка аммиачной селитрой в дозе N_{50} снижала показатели. Прикорневая подкормка сульфаммофосом в дозе N_{40} оказалась эффективнее аммиачной селитры и была равноценна разовому внесению ЖКУ.

Экономическая эффективность изучаемых подкормок показала, что стоимость системы минерального питания озимой пшеницы в вариантах опыта колебалась от 4150 до 8040 руб./га. Сочетание комплексного удобрения ($PK(S) + Ca\ 0:20:20(5)+20$) с двумя подкормками ЖКУ позволило получить максимальный дополнительный чистый доход (28,6 тыс. руб./га).

Окупаемость минеральных удобрений зависела, как от дозы внесения удобрений, так и величины прибавки урожая зерна. По этому показателю варианты в возрастающем порядке расположились следующим образом: двукратная подкормка ЖКУ, ранневесенняя подкормка карбамидом и карбамид по флаговому листу.

Таким образом, при возделывании озимой пшеницы сорта Ода в условиях окультуренных серых лесных почв обязательным приемом является проведение подкормок, которые позволяют получить прибавку высококачественного зерна на уровне 22,2–32,4%. Наибольшую экономическую эффективность обеспечили подкормки озимой пшеницы жидкими комплексными удобрениями, сульфаммофосом и карбамидом. Для повышения экономической эффективности и получения дополнительного дохода больше 27 тыс. руб./га на общем минеральном фоне, внесенного с осени, рекомендуется проведение подкормки сульфаммофосом в дозе (N_{40}) или сочетание двух подкормок ЖКУ ($N_{15} + N_5$).

Список литературы

1. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. - М.: Агроконсалт, 1999. - 296 с.
2. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. - М.: Колос, 1992. - 272 с.

3. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой пшеницы на юго-западе Центрального региона России / В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, Н.С. Шпилёв и др. // Плодоводство и ягодоводство России. - 2017. - Т. 48. - № 1. - С. 260-267
4. Влияние системы удобрения на агроэкологические свойства почвы, урожайность, содержание сырой клейковины, аминокислотного и элементного состава в зерне мягкой озимой пшеницы / В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, В.В. Мамеев и др. // Вестник ИжГСХА - 2016. - № 1 (46). - С. 8-20.
5. Ториков В.Е., Осипов А.А. Влияние условий выращивания и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. - 2015. - № 6 (136). - С. 24-28.
6. Развитие АПК Брянской области – 2020 / Н.М. Белоус, С.А. Бельченко, В.Е. Ториков и др. // Вестник Брянской ГСХА– 2020. - № 6(82). - С. 3-9.
7. Формы минеральных удобрений при длительном применении /Н.В. Войтович, Я.В. Костин, И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница - М: ЦИНАО, 2002.- 208 с
8. Кореньков Д.А. Агрохимия азотных удобрений. - М.: Наука, 1976. – 209.
9. Котельникова М.Н., Лазарев В.И. Влияние системы удобрения и способа основной обработки почвы на урожайность зерна озимой пшеницы в условиях Курской области // Вестник Курской ГСХА. - 2015. - № 7. - С. 110-114.
10. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации /И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен и др. - М, 2012. – 349 с.

EFFICIENCY OF FERTILIZER-CONSUMABLE FERTILIZER SUPPLEMENTS OF WINTER WHEAT

D.V. Dubinin, V.V. Mamaev

Abstract. The article presents the results of assessing the efficiency of winter wheat fertilization depending on the form and type of mineral fertilizers for the formation of grain yield on cultivated gray forest soils in the Non-Chernozem zone of Russia. It was found that fertilization of vegetative plants with fertilizers provides an increase in the winter wheat grain yield depending on the form and type of fertilizer at a level of 22.2-32.4%. The highest grain yield was obtained in the variant

Background + N40P40S24 in the form of sulfoammophos and Background + N20P40 in the form of liquid fertilizer complex.

Key words: winter wheat, complex mineral fertilizers, top dressing, yield, grain quality, liquid fertilizer complex.

УДК 631.417.1:631.582:631.81:631.445.24

АККУМУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ И НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Н.Е. Завьялова

Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,

E-mail: nezavyalova@gmail.com

Аннотация. Исследования проведены на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве длительного стационарного опыта и на постоянных участках под многолетними травами. Установлено, что за ротацию восьмипольного севооборота возделываемые культуры секвестрируют из атмосферы в растительную биомассу до 99,31 т/га углекислого газа (CO₂) или 27,06 т/га углерода. Выявлено, что длительное применение органических удобрений в полевом стационарном опыте в дозе 20 т/га совместно с минеральными обеспечило получение максимальной урожайности культур севооборота и повышение органического углерода в слое 0-20 см на 15% выше исходного уровня. Возделывание левзеи сафлоровидной в выводных полях в течение 14 лет увеличило содержание углерода в слое 0-20 см при внесении N60P60K60 на 15.0 %, при этом количество атмосферного углерода, поглощенного из атмосферы за вегетационный период и закрепленное в биомассе составило 11,3 т/га (41,3 т/га CO₂). За вегетационный период бобовая культура - козлятник восточный в процессе фотосинтеза аккумулировал из атмосферы в биомассу растений (зеленая масса + корни) более 30 т/га CO₂ или 8.38 т С/га в год, что способствовало увеличению запасов углерода в слое 0-20 см через тридцать лет ведения опыта на 5,4 т/га.

Ключевые слова: органический углерод; севооборот; удобрения; левзея сафлоровидная; козлятник восточный.

Пожнивные и корневые остатки сельскохозяйственных культур – важнейший источник поступления углерода в пахотные почвы, на их долю

приходится 60-65% от всех источников органического вещества, используемых для поддержания почвенного плодородия [1]. Севооборот позволяет регулировать поступление растительных остатков в почву путем чередования сельскохозяйственных культур. В условиях низко плодородных дерново-подзолистых почв рекомендуется вводить не менее двух полей многолетних трав. Количество органической биомассы, поступающее в почву с корневыми и пожнивными остатками многолетних трав, при благоприятных погодных условиях, в 3-5 раз превышает его количество, оставляемое однолетними культурами [2]. Поглощение атмосферного углерода растениями и формирование их биомассы зависит от интенсивности процессов фотосинтеза, который более активно протекает у бобовых культур с высокой ассимиляционной поверхностью листьев, чем у злаковых [3] [4]. Определение количества основной и побочной продукции и содержания углерода в тканях растений позволяет оценить их секвестрационный потенциал. Объемы секвестрации естественными травостоями варьируют в пределах 2.2-2.5 т/га в год [1]. Углекислый газ из атмосферы связывается и вовлекается в природный круговорот за счет процесса фотосинтеза. Одним из доступных и надежных показателей потенциальной продуктивности растений является содержание пигментов фотосинтеза в их ассимилирующих органах, количество которых зависит от фазы развития растений и является наследуемым сортовым признаком [5,6]. Ранее было выявлено, что у пахотных дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв высокий потенциал для секвестрации атмосферного углерода, его накопления и депонирования в почве [7,8].

Цель исследований – определить количество аккумулированного атмосферного углерода в биомассе сельскохозяйственных культур, выявить способность дерново-подзолистой почвы накапливать и удерживать органический углерод при различном землепользовании.

Методика исследований. Исследования проведены в длительном стационарном опыте 1969 года закладки, расположенном на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве опытного поля «Пермского НИИСХ» - филиала ПФИЦ УрО РАН, и на стационарных участках под многолетними травами (козлятник восточный, левзея сафлоровидная). В качестве целинного аналога был выбран злаково-разнотравный луг.

Схема стационарного опыта: контроль (без удобрений); навоз – 10 т/га; навоз – 20 т/га; NPK в дозе, эквивалентной 10 т/га навоза; NPK в дозе, эквивалентной 20 т/га навоза; 5 т/га навоза + NPK – эквивалент 5 т/га навоза; 10 т/га навоза + NPK – эквивалент 10 т/га навоза; 20 т/га навоза + NPK – эквивалент 20 т/га навоза в год.

Повторность вариантов четырехкратная. Размещение делянок рендомизированное. Делянки расположены в четыре яруса. Размер посевной делянки 115.5 м², учетной 80 м². Чередование культур в севообороте – пар чистый, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., ячмень, картофель, овес. Почва участка перед закладкой опыта (среднее по двум закладкам) характеризовалась среднекислой реакцией среды рН_{KCl} - 5.5; средним содержанием гумуса -2,30%; S-16.4; Нг-3.4; Но – 0,12 ммоль/100 г; средним содержанием фосфора и калия по Кирсанову - 160 и 158 мг/кг соответственно. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель. На клевере учитывали последствие. Навоз вносили в севообороте в два приема: под озимую рожь и картофель.

Травостой левзеи сафлоровидной 2010 года посева - (маралий корень, рапонтникум сафлоровидный, большеголовник сафлоровидный) – (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin maral root) был заложен в 2010 г. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-20 см) перед посевом: рН_{KCl} 4.9, гидролитическая кислотность -3,9, сумма поглощенных оснований - 21,4 мг-экв/100 г, подвижных форм фосфора -355, обменного калия -165 мг/кг почвы (по Кирсанову). Содержание органического углерода в слое 0-20 см составляло 1,39%. Исследования проводили в 2022-2023 гг. в контрольном варианте (без использования минеральных удобрений) и в варианте N60P60K60. Минеральные удобрения под левзею сафлоровидную вносили ежегодно весной с 2010 по 2017 гг. в виде аммиачной селитры, простого суперфосфата и калия хлористого. С 2018 года минеральные удобрения не вносили, изучали последствие. Учёт урожайности зелёной массы проводили в фазу цветения.

Травостой козлятника восточного (*Galéga orientalis*) 1988 г. посева используется для получения семян. После уборки семян солома отчуждается. Козлятник восточный формирует в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода дополнительно второй укос (2-4 т/га сухой массы) и перед уходом в зиму наращивает зеленую массу в количестве 1-3 т/га на сухое вещество. До 2000 г. под козлятник восточный вносили минеральные удобрения в дозе Р60К60, с 2001 г. по настоящее время удобрения не вносятся.

Для сравнения, аккумуляированного из атмосферы и накопленного в почве углерода, использовали целинный аналог - злаково-разнотравный луг, который является не косимым не удобряемым лугом. Видовой состав травостоя естественного злаково-разнотравного луга: 62% злаковые, 13% бобовые, 25% разнотравье. Травостой не отчуждается.

Почвенные образцы отбирали перед уборкой возделываемой культуры буром с трех полевых повторений в трех точках на делянке на глубину 0-20 см. Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО.

Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почве оценивали методом бихроматного окисления с титриметрическим окончанием. Углерод в растительных образцах определяли на элементном анализаторе Elementary Vario ElCub.

Содержание хлорофилла в листьях растений определяли по [9]. Максимум поглощения хлорофилла А в области 665 нм, хлорофилла В при 649 нм. Каротин определяли по ГОСТ 13496.17 (максимум поглощения 440 нм).

Урожайность зерновых учитывали сплошным методом. При определении количества соломы и пожнивно-корневых остатков ячменя использовали рамочный метод (площадки по 0.16 м² в 3 местах на делянке). Урожайность сена клевера, козлятника восточного и левзеи сафлоровидной определяли площадочным методом. Количество пожнивных остатков и корней рамочным методом в 3 местах на делянке (площадь рамок 0.1 м²). Количество пожнивно-корневых остатков культур, возделываемых в шестой ротации севооборота, определяли по уравнениям Левина. Статистическую обработку результатов проводили по Б.А. Доспехову.

Результаты исследований. По итогам шести ротаций восьмипольного севооборота, более высокое накопление углерода в почве длительного стационарного опыта выявлено в слое 0-20 см – на 15% выше от исходного уровня при совместном применении навоза по 20 т/га и эквивалентного количества NPK (таблица1).

На контрольном варианте отмечено уменьшение органического углерода на 13,5 % за 48 лет ведения опыта. Количество поступающего в почву $C_{\text{орг}}$ ежегодно с побочной продукцией (соломой) и пожнивно-коневыми остатками в севообороте на вариантах с более низкими дозами навоза и NPK поддерживало установившийся уровень органического вещества, и соответствуют количеству минерализованного углерода в год.

Органо-минеральная система удобрения дерново-подзолистой почвы (насыщенность пашни навозом 20 т/га и внесение эквивалентного количества NPK) обеспечила получение максимальной урожайности культур севооборота и соответственно большее поступление органического углерода с пожнивно-корневыми остатками в почву. Расчетные данные показывают, что за ротацию восьмипольного севооборота возделываемые культуры секвестрируют из атмосферы в растительную биомассу 82,28-99,31 т/га углекислого газа (CO₂)

или 22,42-27,06 углерода в зависимости от системы удобрения почвы (таблица 2).

Таблица 1 – Изменение содержания органического углерода в слое 0-20 см дерново-подзолистой почвы по сравнению с исходным.

Объект	Содержание $C_{орг}$ (исходное)		Содержание $C_{орг}$, (текущее)		Убыль или прибыль, $C_{орг}$	
	%	т/га	%	т/га	%	т/га
Злаково-разнотравный луг	1,25	31,3	1,25	31,3	0	0
Левзея сафлоро-видная, (NPK)60	1,39	35,3	1,60	40,6	+15,1	5,3
Козлятник восточный 1988 г посева	1,28	32,0	1,44	37,4	+12,5	+5,4
Полевой восьмипольный севооборот						
Без удобрений	1,33	35,0	1,15	30	-13,5	-5,0
Навоз 10 т/га			1,33	35	0,00	0
Навоз 20 т/га			1,41	37	+6,0	+2,0
NPK экв. 10 т навоза			1,26	33	- 5,3	-2,0
NPK экв. 20 т навоза			1,31	34	-1,5	-1,0
Навоз 5 т+NPK экв.			1,30	34	-2,3	-1,0
Навоз 10 т + NPK экв.			1,38	36	+3,8	+1,0
Навоз 20 т + NPK экв.			1,53	40	+15,0	+5,0
НСР ₀₅			0,15	4	—	—

Для подбора сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной способностью поглощать атмосферный углерод в процессе фотосинтеза в 2022-2023 гг. были проведены исследования на многолетней бобовой культуре козлятнике восточном и на левзее сафлоровидной.

Козлятник – уникальная культура, он улучшает агрофизические свойства, предотвращает эрозионные процессы и очищает почву от сорняков. Посевы козлятника восточного с годами не изреживаются, а загущаются, количество корневых и пожнивных остатков увеличивается, следовательно, в почве повышается содержание гумуса. Культура характеризуется высокой продуктивностью надземной и подземной частей, в результате чего повышается поступление в почву углерода и азота.

Таблица 2 – Секвестрация атмосферного углерода сельскохозяйственными культурами за шестую ротацию севооборота (среднее по двум полям)

Вариант	Уро- жайность / сбор углерода	Рожь		Пшеница		Клевер 1 г.п.		Клевер 2 г.п.		Ячмень		Картофель		Овёс		Общий сбор С / СО ₂ , т/га
		зерно	соло- ма + ПКО	зерно	соло- ма + ПКО	сено	ПКО	сено	ПКО	зерно	соло- ма + ПКО	Клубни	Ботва + ПКО	зерно	соло- ма + ПКО	
Без удобрений	1	3.2	8.1	2.5	6.31	3.3	4.26	3.0	4.19	3.6	7.16	2.8	1.34	1.6	3.84	
	2	1.34	3.27	1.05	2.58	1.38	1.74	1.25	1.71	1.48	2.96	1.15	0.54	0.68	1.29	22.42/82.28
Навоз 10 т/га	1	3.8	9.1	2.8	6.74	3.2	4.24	3.0	4.21	3.8	7.36	3.2	1.54	1.6	4.14	
	2	1.59	3.66	1.18	2.75	1.33	1.74	1.25	1.72	1.56	3.04	1.31	0.62	0.68	1.50	23.93/87.82
Навоз 20 т/га	1	4.1	9.6	3.0	7.12	3.5	4.32	3.3	4.26	3.8	7.66	3.4	1.64	1.8	4.33	
	2	1.72	3.89	1.26	2.91	1.46	1.77	1.38	1.74	1.56	3.17	1.40	0.66	0.77	1.58	25.27/92.74
НРК экв. 10 т навоза	1	4.0	9.5	3.4	7.58	3.1	4.23	3.3	4.26	3.8	7.56	4.1	1.96	1.8	4.33	
	2	1.68	3.83	1.43	3.10	1.29	1.73	1.38	1.74	1.56	3.13	1.68	0.79	0.77	1.58	25.69/94.28
НРК экв. 20 т навоза	1	4.2	9.7	3.4	7.78	3.1	4.22	3.8	4.39	4.1	8.33	4.0	1.92	2.1	4.75	
	2	1.76	3.92	1.43	3.18	1.29	1.73	1.58	1.80	1.68	3.44	1.64	0.78	0.89	1.73	26.85/98.54
Навоз 5 т+НРК экв.	1	4.1	9.8	3.2	7.30	3.5	4.32	3.7	4.36	3.9	7.42	4.9	2.36	1.6	4.14	
	2	1.72	3.94	1.35	2.98	1.46	1.77	1.54	1.78	1.60	3.06	2.01	0.96	0.68	1.50	26.35/96.70
Навоз 10 т + НРК экв.	1	4.2	10.11	3.5	8.12	3.4	4.29	3.9	4.41	3.8	7.26	4.3	1.96	1.9	4.37	
	2	1.76	4.09	1.47	3.32	1.42	1.76	1.63	1.81	1.56	3.00	1.77	0.79	0.81	1.59	26.78/98.28
Навоз 20 т + НРК экв.	1	4.4	10.3	3.3	8.04	3.4	4.29	3.9	4.40	3.5	7.30	4.2	2.02	2.02	5.19	
	2	1.85	4.15	1.39	3.28	1.42	1.76	1.63	1.80	1.43	3.02	1.73	0.82	0.86	1.92	27.06/99.31

Примечание 1 – урожайность основной и побочной продукции, т/га;

2 – сбор углерода, т/га.

В процессе вегетации козлятник восточный формирует большую ассимиляционную поверхность, к моменту полного цветения площадь листьев составляет 60-70 тыс. м²/га [10]. Сбор сухого вещества в фазу цветения составил 8,6 т/га зеленой массы и 10,1 т/га – пожнивно-корневых остатков.

За вегетационный период козлятник восточный в процессе фотосинтеза аккумулировал из атмосферы в биомассу растений (зеленая масса + корни) более 30 т/га CO₂ или 8.38 т С/га в год (таблица 2). Зеленая масса отчуждается с полей. За счет большого количества и благоприятного биохимического состава пожнивно-корневых остатков козлятника наблюдается накопление органического углерода в почве, его содержание стабилизировалось на уровне -1.44 ± 0.02 % С. Запасы углерода в слое 0-20 см через тридцать лет ведения опыта составили 37,4 т/га, относительно 32,0 т/га при его закладе (таблица 1).

Длительное возделывание левзеи сафлоровидной способствовало обогащению дерново-подзолистой почвы органическим веществом. Содержание углерода выросло в слое 0-20 см относительно исходного на варианте без удобрений на 3,3 %, на варианте N60P60K60 -15.0 % (таблица 3).

Минеральные удобрения способствовали повышению урожайности зеленой массы левзеи в 3.3 раза относительно не удобренного варианта, что обеспечило накопление 17,3 т/га пожнивно-корневых остатков, и повышение содержания углерода в слое 0-20 см в почве до 1.60% относительно 1.39% в исходной почве (таблица 1). За счет большой площади листовой (ассимилирующей) поверхности левзеи сафлоровидной (в фазу цветения составила 126-181 тыс. м²/га) [11], количество атмосферного углерода, поглощенного из атмосферы за вегетационный период и закрепленное в биомассе составило 6,8-11,3 т/га (24,3-41,3 т/га CO₂).

Культурные посевы сравнили с почвой и травостоем злаково-разнотравного луга. Содержание органического углерода в целинной почве находится на уровне 1.25 ± 0.03 % в слое 0-20 см. С основной продукцией, образующейся в процессе фотосинтеза, из атмосферы связывается и ежегодно в почву поступает около 1.01 т С/га, в качестве войлока – 1.39 т С/га. Объем секвестрации естественным травостоем за вегетационный период составляет 2.40 т/га, что согласуется с литературными данными.

В наших исследованиях длительность использования травяной биомассы и ее качество повлияли на секвестрацию углерода. Разложение и минерализация растительных остатков в почве зависит от соотношения в них углерода к азоту. Скорость разложения ПКО изучаемых культур убывает в ряду: козлятник восточный (С:N=24,4) > клевер луговой (С:N=31,1-29,3) >

травостой злаково-разнотравного луга (C:N=69,2)> пшеница яровая (C:N=83,7-62,2)> левзея сафлоровидная (C:N=121,7-112,9).

Таблица 3 – Урожайность и аккумуляция углерода сельскохозяйственными культурами за вегетационный период

Наименование образца	Части растения	Урожайность, т/га	Содержание углерода, %	Накопление углерода, т/га	Аккумуляция углерода/CO ₂ , т/га	
					C	CO ₂
Левзея сафлоровидная, б/у	зеленая масса	3,17	41,26	1,31	6,80	24,3
	ПКО	13,67	40,16	5,49		
Левзея сафлоровидная, (NPK)60	зеленая масса	10,59	41,79	4,43	11,53	41,3
	ПКО	17,28	41,06	7,10		
Клевер луговой, б/у	зеленая масса	2,56	42,02	1,07	2,52	9,02
	ПКО	3,58	40,39	1,45		
Клевер луговой, (NPK)60	зеленая масса	3,43	43,49	1,49	3,44	12,32
	ПКО	4,80	40,64	1,95		
пшеница яровая, б/у	солома	2,70	44,34	1,20	2,70	9,67
	ПКО	1,30	41,70	0,54		
	зерно	2,25	42,83	0,96		
пшеница яровая, (NPK)60	солома	3,86	42,02	1,62	3,28	11,74
	ПКО	1,57	40,39	0,63		
	зерно	2,46	42,03	1,03		
козлятник восточный	зеленая масса	8,6	44,47	3,82	8,38	30,0
	ПКО	10,1	45,11	4,56		
травостой злаково-разнотравного луга	зеленая масса	2,3	44,07	1,01	2,40	8,6
	ПКО	3,8	36,66	1,39		

Минеральные удобрения в дозе 60 кг NPK д.в./га под левзеем сафлоровидным и яровую пшеницу способствовали сужению соотношения C: N. Таким образом, медленнее всего разлагаются пожнивно-корневые остатки левзеи сафлоровидной, более интенсивно - козлятника восточного. С

возрастом травостоя почвенная углеродная секвестрация имеет тенденцию к увеличению. Физиологические особенности многолетних культур козлятника восточного и левзеи сафлоровидной позволяют им формировать высокий урожай наземной массы и развивать мощную корневую систему, что способствует накоплению органического углерода в почве.

Формирование биомассы растений и накопление органического углерода в дерново-подзолистой почве связано с интенсивностью процесса фотосинтеза сельскохозяйственными культурами, которая была оценена по содержанию пигментов фотосинтеза - хлорофилла и каротина. Содержание фотосинтетических пигментов определяли в вегетационный период 2022 и 2023 гг. Оценка интенсивности поглощения световой энергии была проведена на клевере луговом и яровой пшенице в севообороте и на травостое левзеи сафлоровидной 14 года жизни. В процессе вегетации при нарастании вегетативной массы левзеи сафлоровидной от момента отрастания до фазы бутонизации наблюдалось накопление в листьях хлорофилла. Содержание хлорофилла в период вегетации варьировало от 6,8- до 8,5 мг/г сухой массы. Последствие применения NPK по 60 кг д.в. не оказало значимого влияния на накопление хлорофилла. Содержание каротина в левзее сафлоровидной в период наиболее активной фотосинтетической активности было в интервале 1,5- 2,12 мг/г сухой массы.

Площадь листовой поверхности клевера лугового в фазу бутонизация-цветение составила 45-75 тыс. м²/га, что почти в 2 раза меньше, чем у левзеи сафлоровидной. Интенсивность накопления хлорофилла в листьях клевера лугового была выше, чем в листьях левзеи сафлоровидной в 1,5-1,8 раза и составила 11,1-14,3 мг/г и сухой массы. Это связано с наличием клубеньков на корневой системе бобовых [12]. Благодаря уникальной возможности бобовых культур фиксировать молекулярный азот атмосферы, они обеспечивают интенсивное поглощение фотосинтетически активной радиации и, соответственно, интенсивный сток углерода из атмосферы.

У яровой пшеницы площадь листовой поверхности составляет по данным [13] от 6,1 до 29, 7 тыс. м² /га. Наиболее интенсивно накопление хлорофилла листьями пшеницы происходило в период с 06.06 по 20.07 2023 г. и было на уровне 9,1-11,9 мг/г сухой массы. Содержание каротина в листьях пшеницы в течение вегетационного периода было в 2,5-4,3 раза ниже, чем Σ хлорофилла А и В.

Таким образом, наиболее активно процесс фотосинтеза протекал в посевах клевера лугового. Слабее в 1,5-1,8 раза поглощение фотосинтетически

активной радиации определено для левзеи сафлоровидной. Промежуточное положение занимает яровая пшеница. Содержание каротина в листьях растений было в 3-4 раза ниже, чем хлорофилла, динамика его изменения в различные периоды роста культур была аналогичной динамике хлорофилла. Не выявлено связи между содержанием фотосинтетических пигментов в листьях изучаемых растений и формированием биомассы изучаемых культур.

Выводы. Для сохранения и накопления органического вещества в дерново-подзолистой почве предпочтительно возделывать сельскохозяйственные культуры, которые оставляют после уборки большое количество пожнивно - корневых остатков. Минеральные удобрения стимулируют развитие наземной биомассы и корневой системы растений, тем самым повышают секвестрационный потенциал возделываемых культур. Длительное применение органических удобрений в дозе 20 т/га совместно с минеральными оказало аналогичное действие, как и длительное возделывание козлятника восточного и левзеи сафлоровидной на накопление органического углерода в дерново-подзолистой почве. Многолетние культуры, возделываемые на корм в выводных полях (левзея сафлоровидная и козлятник восточный) превосходят по аккумуляции атмосферного углерода культуры севооборота (злаковые и бобовые). Необходимо продолжать работу по поиску новых интенсивных культур и сортов для конструирования севооборотов и культур на кормовые цели, обладающих высокой фотосинтетической активностью и формирующих большое количество наземной и корневой биомассы для сохранения почвенного плодородия и усиления процессов аккумуляции атмосферного углерода.

Список литературы

1. Сычёв В.Г., Налиухин А.Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах Геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами // Плодородие. 2021. № 6. С. 38-41.
2. Благовещенский Г.В., Конончук В.В., Тимошенко С.М. Углеродная секвестрация в травяных экосистемах//Кормопроизводство. 2019. №9. С.17-21.
3. Калов Р.О., Гакаев Р.А. Место природных травяных экосистем в глобальном углеродном балансе // Вестник Чеченского государственного университета. 2022. №6. С.50-54.

4. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной/Евразии. М: Наука. 1993. 293 с.
5. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215–221.
6. Тарчевский И.А., Андрианова Ю.Е. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы // Физиология растений. 1980. Т.27. вып.2. С.341-348.
7. Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева.З.С., Данченко Н.Н. Дегумификация и почвенная секвестрация углерода // Агрохимия. 2021. № 5. С. 3–13.
8. Завьялова Н.Е. Углеродпротекторная ёмкость дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем Предуралья // Почвоведение. 2022. № 8. С.1046-1055.
9. Лобков В.Т., Наполова Г.В. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи: Пат. 2244916 РФ // Б.И.2005. №2. С1-4.
10. Эседулаев С.Т. Многолетние травы и их смеси – важнейший фактор повышения плодородия почв и продуктивности пашни в Верхневолжье//Плодородие. 2022. №6. С.59-63.
11. Матолинец Д.А. Кормовая продуктивность левзеи сафлоровидной при различных приемах возделывания в Среднем Предуралье. Автореф. Дисс. ... канд. с.-х. наук. Самара, 2021. 18 с.
12. Ивасюк Е.В. Продуктивность клевера лугового в одновидовых и парных травостоях с клевером ползучим. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. с.-х.н. Москва. 2005. 17 с.
13. Стрижова Ф.М., Ожогина Л.В. Формирование площади листовой поверхности сортами яровой пшеницы//Вестник Алтайского ГАУ. 2005.№4 (20). С.16-19.

ACCUMULATION OF ATMOSPHERIC CARBON BY AGRICULTURAL CROPS AND ACCUMULATION OF ORGANIC MATTER IN SODDY-PODZOLIC SOIL

N.E. Zavyalova

Abstract. The research was carried out on sod-podzolic heavy loamy soil of a long-term stationary experiment and on stationary sites under perennial grasses. It was found that during the rotation of the eight-field crop rotation, cultivated crops

sequester up to 99.31 t/ha of carbon dioxide (CO₂) or 27.06 t/ha of carbon from the atmosphere into plant biomass. It was revealed that the long-term use of organic fertilizers in a stationary field experiment at a dose of 20 t/ha together with mineral fertilizers ensured the maximum yield of crop rotation crops and an increase in organic carbon in the 0-20 cm layer by 15% above the initial level. Cultivation of *Rhaponticum carthamoides* in the output fields for 14 years increased the carbon content in the 0-20 cm layer when N60P60K60 was applied by 15.0%, while the amount of atmospheric carbon absorbed from the atmosphere during the growing season and fixed in biomass amounted to 11.3 t/ha (41.3 t/ha CO₂).

During the growing season, the *Galéga orientalis* legume crop accumulated more than 30 t/ha of CO₂ or 8.38 t/ha per year from the atmosphere into the biomass of plants (green mass + roots) during photosynthesis, which contributed to an increase in carbon reserves in the 0-20 cm layer by 5.4 t/ha after thirty years of experience.

Keywords: organic carbon; crop rotation; fertilizers; *Rhaponticum carthamoides*; *Galéga orientalis*.

УДК 631.874:551.50

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

О.В. Илюшкина

ФГБУН «НИИСХ Крыма»

E-mail: olga-cheboha@mail.ru

Аннотация: В данной статье отражена информация по обеспеченности основными элементами питания сельскохозяйственных угодий Республики Крым. Агрохимический мониторинг земель является важным условием, направленным на поддержание плодородия почв. Дополнительно представлены данные по объемам внесения удобрений сельскохозяйственными организациями, расположенными на территории Крыма.

Ключевые слова. Плодородия, гумус, почва, агрохимический анализ, удобрения.

Уровень почвенного плодородия зависит от множества факторов, прежде всего от характера почвообразования, затем от природно-климатических условий формирования породы, характера преобладающей растительности, влагообеспеченности и т.д. В процессе хозяйственной

деятельности очень важно не только следить за агрохимическим состоянием почвы, но и применять меры для сохранения и улучшения плодородия земель.

На сегодняшний день важным документом, регламентирующим правовое регулирование деятельности в вопросах обеспечения плодородия земель, является ФЗ №101 от 16.07.98 г. В статье 15 настоящего закона предусмотрено так же ведение государственного реестра, на основе информационного ресурса составляющий свод сведений о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения [1]. Судить о состоянии плодородия земель можно опираясь на ГОСТ Р 70229 – 2022 «Почвы. Показатели качества почв», где представлен перечень основных показателей, на которые необходимо опираться при проведении агрохимической оценки сельскохозяйственных земель [2].

Почва как основной сельскохозяйственный ресурс является на сегодняшний день главным источником получения продуктов питания [4]. Величина и качество получаемой продукции во многом зависит от агрохимического состава почвы. Ведение интенсивного земледелия способствует не только увеличению урожая, но и выносу основных элементов питания из почвы, более высокой минерализации гумуса, которые необходимо постоянно регулировать за счет применения различных агрохимических и технологических мер.

Анализ литературных источников для изучения агрохимического состояния почв полуострова Крым проводился на основании опубликованных официальных источников центра агрохимической службы Крыма, фондовых материалов научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма, а также различных официальных докладов министерств сельского хозяйства и экологии Республики Крым.

Анализ данных литературных источников

Большой сложностью в определении структуры почвенного покрова полуострова Крым является их большое разнообразие, так в материалах М.А. Кочкина выделено более 440 разновидностей почв на сельскохозяйственных угодьях [3, 4]. Основными почвами, которые используются в сельскохозяйственном производстве являются черноземные и каштановые преимущественно кальций-гумусные степные [5]. Главная их особенность заключается в том, что они развиваются при непромывном типе водного режима, под травяной растительностью характерной для каждого типа почв. Данные почвы являются зональными и господствуют на территории равнинного и горного Крыма. Далее на рисунке 1 представлена структура

распределения почв в разрезе четырнадцати административных районов Республики Крым, площадь сельскохозяйственных угодий составляет 1742,6 тыс. га [6].

На данной площади преобладают черноземные разновидности почв, в структуре почвенного покрова они занимают порядка 56,1% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Больше всего черноземов преобладает на территории таких районов как: Черноморский (69,34%), Советский (63,08%), Симферопольский (76,78%), Сакский (84,91%), Красногвардейский (97,58%) [6].

Каштановые почвы преобладают на территории таких административных районов как: Джанкойский (97,23%), Красноперекоский (83,61%).

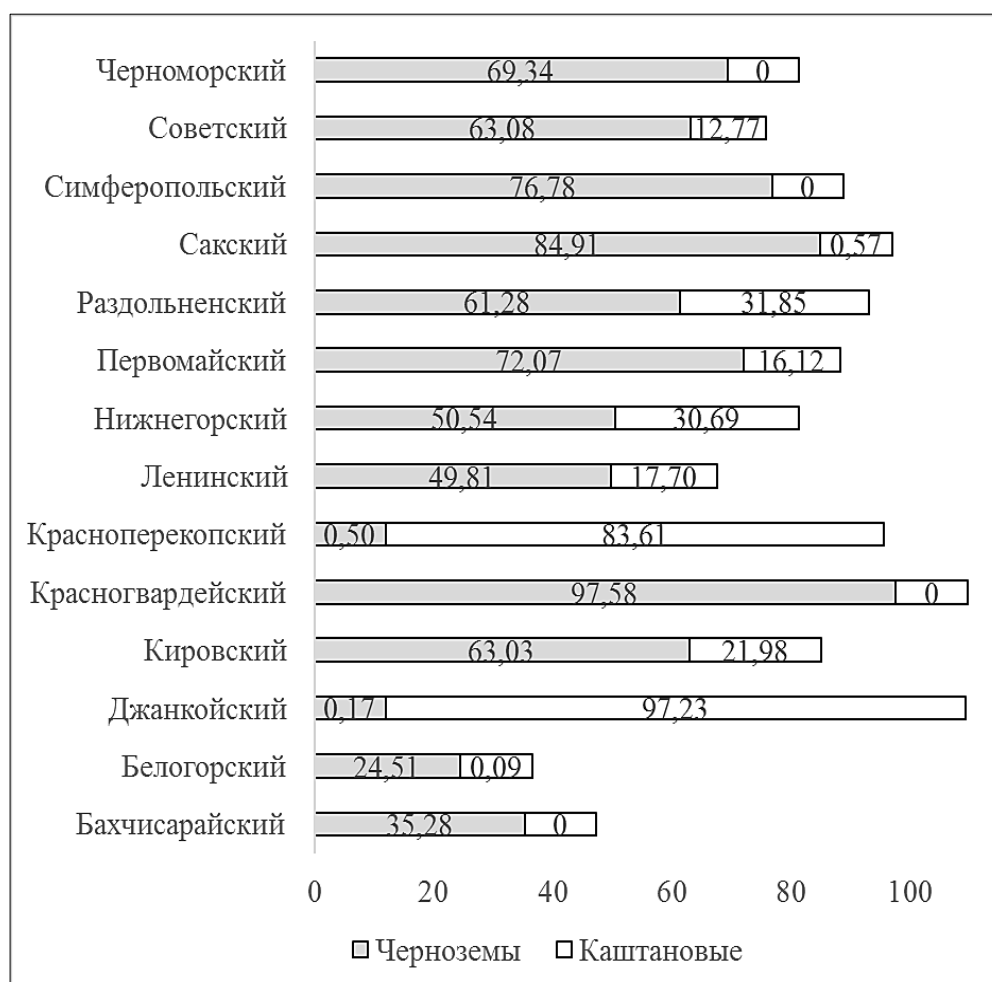


Рисунок 1 – Структура основных типов почв Республики Крым

В Белогорском и Бахчисарайском районах Черноземные почвы составляют 24,51% и 35,28%. Площадь под каштановыми почвами составляет в Белогорском районе 0,10%, значительные площади занимают такие почвы как: в Белогорском 61,2% – бурые горные лесные и 14,2% – дерновые, а в Бахчисарайском районе 57,1% занята под бурыми горными лесными почвами [6].

Главной особенностью почв, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения, является низкое содержание органического вещества, почвы в основном представлены слабогумусированной разновидностью (рисунок 2) [6].

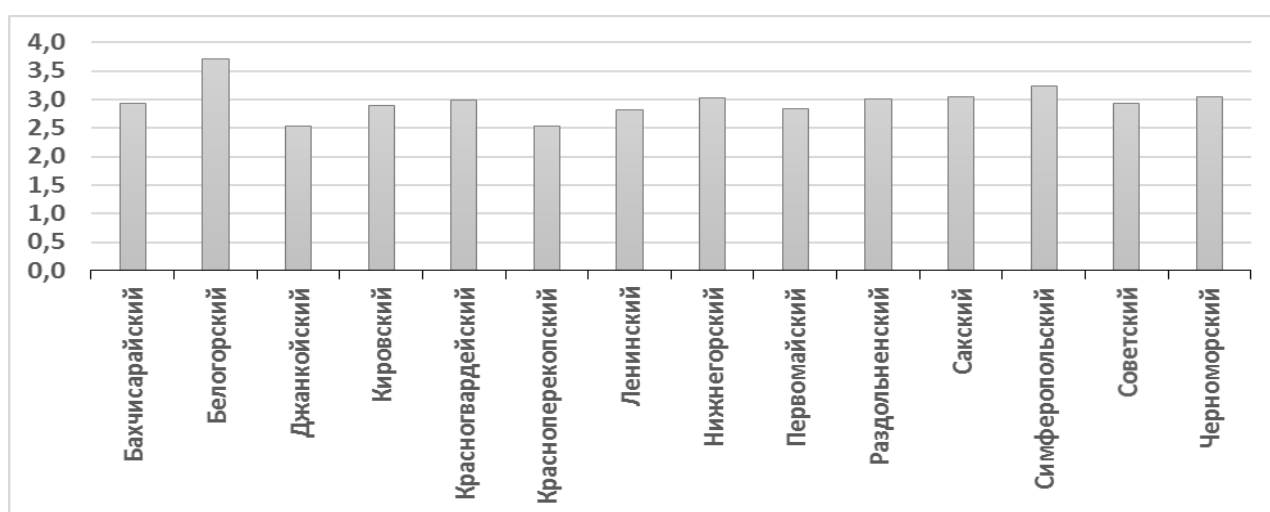


Рисунок 2 – Содержание гумуса в разрезе районов Республики Крым, %

В основном почвы на сельскохозяйственных угодьях представленных районов характеризуются низким содержанием гумуса (согласно градации 2–4% – низкое содержание гумуса, %). Тип гумусового образования преимущественно гуматно-фульватный и во многом зависит от типа почвы и ее разновидности. Невысокое содержание органического вещества на почвах связано во многом с климатической обстановкой, а именно с чередованием более влажных периодов с жаркими и сухими, что приводит к интенсивному разложению органического вещества в анаэробных условиях [4, 5].

Содержание подвижных соединений фосфора в почве во многом зависит от обеспеченности органическим веществом. На рисунке 3 представлены данные по содержанию P_2O_5 в различных районах полуострова Крым.

Повышенное содержание подвижных соединений фосфора отмечено только в двух районах Джанкойском (31,4 мг/кг) и Красноперекоском (37,5 мг/кг). Среднее содержание P_2O_5 (согласно градации по методу мачигина 20–

30 мг/кг – среднее содержание) отмечено в таких районах как: Красногвардейский, Нижнегорский, Первомайский, Раздольненский, Симферопольский и Советский, в остальных районах содержание P_2O_5 относится к градации низкого значения (10–20 мг/кг низкое содержание, согласно градации по методу Мачигина).

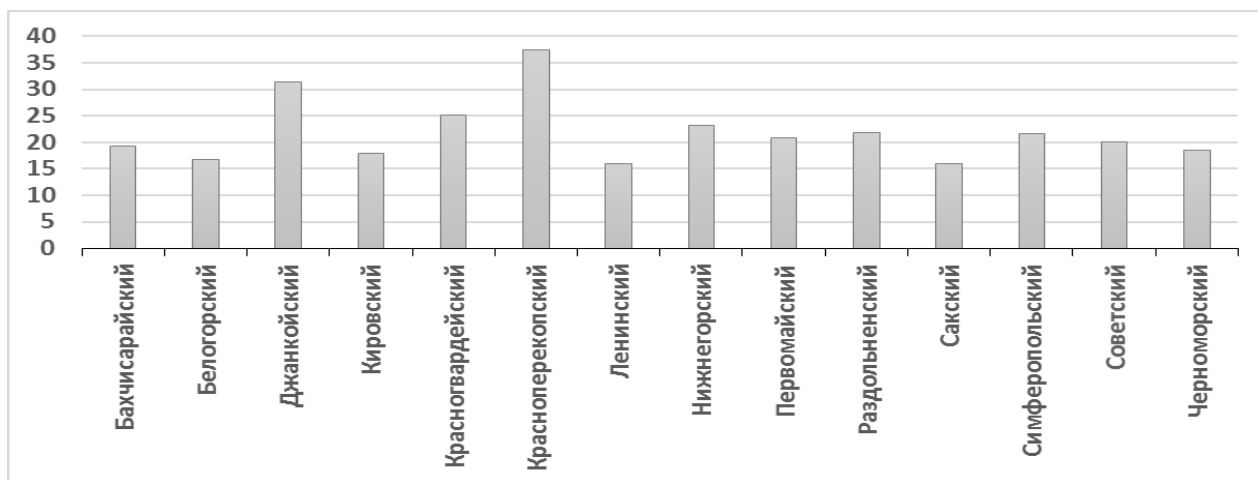


Рисунок 3 – Содержание P_2O_5 в разрезе районов Республики Крым, мг/кг

На основании представленных данных можно сделать вывод, что почвы нуждаются в дополнительном внесении фосфора за счет применения удобрений и иных агротехнологических приемов способствующих увеличению его содержания (севооборот, фосфатмобилизаторы, посев сидеральных культур и т.д.) [7].

Во всех почвах калий на 99,0% представлен минеральными соединениями, а значит его содержание во многом зависит от гранулометрического и минералогического состава почв. Содержание органического вещества незначительно влияет на обеспеченность растений калием [9]. Растениями проще всего усваивается водорастворимые формы калия, однако его содержание в почве очень незначительное до 0,05%, из подвижных форм больше всего в почве содержится калий в обменно-поглощённой форме, именно он становится основным источником для растений, а также для пополнения запасов водорастворимых форм калия [9].

Существует целый ряд методов определения содержания калия в почве, однако в связи с тем, что в Крыму преобладают преимущественно карбонатные типы почв, то основным является метод Мачигина. На рисунке 4 представлены сведения по распределению содержания K_2O на

сельскохозяйственных угодьях административных районов полуострова Крым [6].

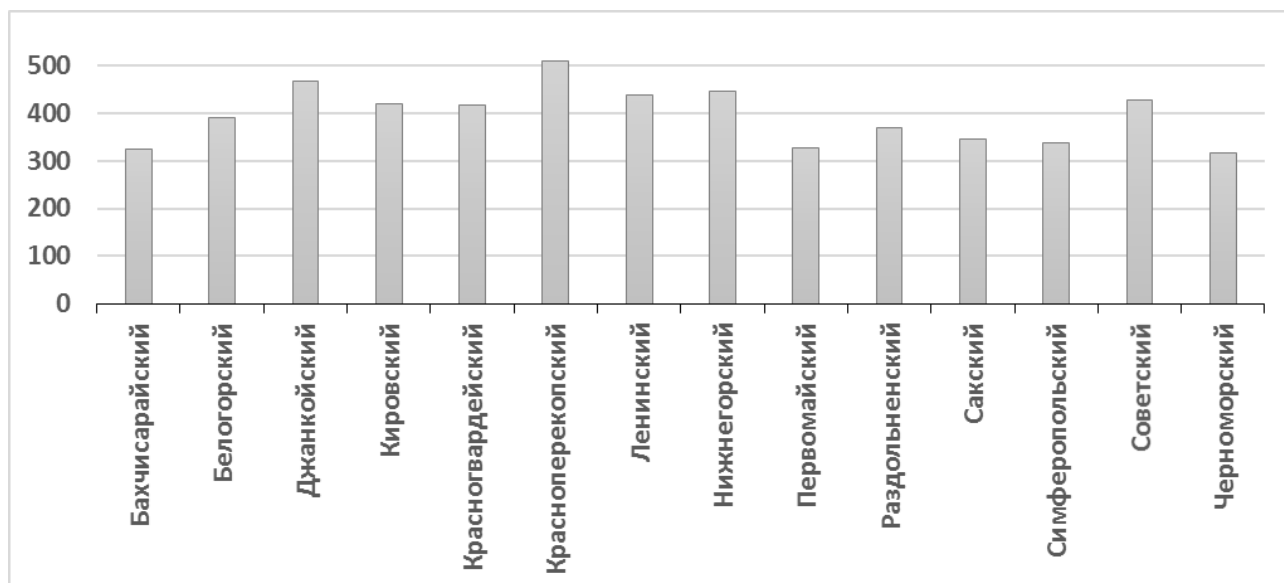


Рисунок 4 – Содержание K_2O в разрезе районов Республики Крым, мг/кг

Согласно представленным данным, можно сделать выводы, что на сельскохозяйственных угодьях содержание K_2O изменяется от повышенного (301–400 мг/кг) до высокого (400–600 мг/кг) значения. На почвы степных и сухостепных районов с переменной влагообеспеченностью, например, южные черноземы и каштановые в большинстве случаев действие калийных удобрений либо, слабое, либо совсем не проявляется, а применение калийных удобрений оправдано только под калиелюбивые культуры (овощные, подсолнечник и т.д.). По данным ФГБУ ЦАС «Крымский» всего лишь около 2,0% сельскохозяйственных угодий нуждаются в дополнительном внесении калийных удобрений [6].

Реакция почвенного раствора (рН водной вытяжки) уменьшается в низ по почвенному профилю в градации от нейтрального (6,8–7,3) до среднещелочного (8,0–8,5) значения. В большинстве случаев в верхнем горизонте 60 40–45 см реакция среды слабощелочная, либо щелочная, а для нижележащих горизонтов, начиная с горизонта В, рН=8,0–8,5 единиц [6].

Основным резервом пополнения органических и питательных веществ в почве является внесение удобрений, далее в таблице представлена динамика внесения удобрений за 2020–2023 гг сельскохозяйственными товаропроизводителями Республики Крым [10].

Объемы внесения минеральных удобрений с 2020 года находятся приблизительно на одном уровне (таблица), однако к 2023 году наблюдается положительная динамика, направленная на увеличение. В 2023 году было внесено на 2,948 тыс.т, минеральных удобрений больше по сравнению с 2020 годом из расчета 38 кг д.в. на один гектар [10].

Органические удобрения вносятся из расчета 0,6-0,8 тонн на один гектар угодий. В 2023 годы было внесено на 49,6 тыс тонн меньше по сравнению с 2020 годом [10].

Таблица – Объемы внесения удобрений за 2020-2023 гг. сельскохозяйственными организациями по Республике Крым

Вносимые удобрения	2020	2021	2022	2023	+/- 2023 к 2020 гг
Всего внесено минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ), тыс. т	10,657	11,702	12,122	13,605	+2,948
на один гектар посева, кг	34	37	37	38	+4,0
Удельный вес удобренной минеральными удобрениями площади во всей посевной площади, %	72,4	69,3	65,4	63,9	-
Всего внесено органических удобрений, тыс. т	235,4	234,8	235,5	185,8	-49,6
на один гектар посева, т	0,8	0,8	0,8	0,6	-0,2
Удельный вес удобренной органическими удобрениями площади во всей посевной площади, %	7,4	6,8	5,6	4,2	-

Таким образом интенсивная антропогенная нагрузка на земли занятые под различные отрасли растениеводства приводит к постепенной деградации почв, за счет недостаточной обеспеченности основными показателями почвенного плодородия. В то же самое время агропромышленным организациям необходимо обратить внимание на утвержденную от 08 сентября 2022 г. за номером 2567 «Стратегию развития агропромышленного

комплекса РФ на период до 2030 г.», которая предусматривает увеличение объемов внесения минеральных удобрений к 2030 году до 80 кг д.в./га. Необходимо признать, что доза вносимых удобрений достаточно высокая, а это значит, что необходимо очень тщательно подходить в вопросе о целесообразности ее использования [11]. Для этого не реже одного раза в три года необходимо проводить агрохимическое обследование сельскохозяйственных угодий, по результатам которого станет понятно на каких участках и под какие культуры не только стратегически правильно, но и экономически выгодным вносить заданные нормы удобрений.

Недоучет природных условий и недостаточные знания требований растений к почвенным условиям являются одной из современных причин низких урожаев и вывода земель из строя [12].

Список литературы

1. Федеральный закон № 101-ФЗ от 16.07.1998 г. "О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения"// <http://www.consultant.ru>.
2. Р 70229 – 2022 «Почвы. Показатели качества почв». г. Москва, Российский институт стандартизации, 2022 г.
3. Кочкин М. А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования // Труды Никитского ботанического сада. 1967. Т. 38. 260 с
4. Дзенс-Литовская Н.Н. Почвы и растительность степного Крыма / Н.Н. Дзенс-Литовская. – Л.: Наука, 1970. – 157 с.
5. Драган Н.А. Почвы Крыма. Учебное пособие / Н.А. Драган – Симферополь: СГУ, 1983. – 95 с.
6. Совет министров республики Крым министерства экологии и природных ресурсов. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории республики Крым в 2023 году: г. Симферополь, 2023 г. – 400 с. [Текст]. Ссылка // Состояние и охрана окружающей среды Республики Крым | Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым | Официальный портал (rk.gov.ru)
7. Скляр С.И., Ильин А.В., Валин Д.Н., Липиева Н.Н. Содержание подвижного фосфора в почвах административных районов Республики Крым // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 32 (195). – С. 30-40.

8. Адамень Ф.Ф. Наука и опытное дело как основа развития аграрного производства Крыма / Ф.Ф. Адамень, Ю.В. Плугатарь, А.Ф. Сташкина. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 252 с.

9. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др.; под ред. Б.А. Ягодина – 2-е издание перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989 – 639 с.

10. Управление федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю / Внесение удобрений сельскохозяйственными организациями Республики Крым, изд-во Крымстат, 2024 г. [Exel]. Ссылка: <https://82.rosstat.gov.ru/folder/27566>

11. Российская Федерация. Законы. Распоряжение Правительства РФ от 08.09.2022 N 2567-р «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года»/

12. Мязин Н.Г. Система удобрения: учебное пособие / Н.Г. Мязин. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009. – 350 с.

REVIEW OF THE MAIN INDICATORS OF SOIL FERTILITY IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

O.V. Ilyushkina

Annotation: This article reflects information on the provision of agricultural lands in the Republic of Crimea with basic nutrients. Agrochemical monitoring of lands is an important condition aimed at maintaining soil fertility. Additionally, data on the volumes of fertilizer application by agricultural organizations located in the territory of Crimea are presented.

Keywords. Fertility, humus, soil, agrochemical analysis, fertilizers.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ПЛОДОРОДИЕ ВЫРАБОТАННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ

В.Н. Ковшова

Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса»

E-mail: valentina.kovshova@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований по влиянию минерального удобрения долголетних сеяных агрофитоценозов сенокосного использования на изменение ботанического состава сеяного травостоя, его продуктивности, накопление подземной массы и питательных веществ в ней, сохранение органического вещества торфа и плодородия выработанного низинного торфяника.

Ключевые слова: осушенный низинный выработанный торфяник; долголетний сеяный злаковый травостой; минеральное удобрение; плодородие почвы; вынос элементов питания; продуктивность; ботанический состав; надземная масса; подземная масса, органическое вещество.

Выработанные торфяные месторождения после добычи торфа необходимо сразу вовлекать в сельскохозяйственное и лесохозяйственное производство. Создавая кормовую базу для животноводства на выработанных площадях, можно получать высокие урожаи кормовых культур. Кроме того, долголетние луговые фитоценозы и лесополосы между ними защищают выработанные торфомассивы от экологически неблагоприятных последствий (ветровой и водной эрозий, пожаров и пр.). Основное количество выработанных площадей, которые используются в сельском и лесном хозяйстве, представлено фрезерными полями. Это наиболее удобные площади для освоения, так как представляют собой ровные безпнистые участки, которые при незначительной планировке включаются в освоение. Однако, оставшийся, после фрезерной добычи торфа, слой торфяной залежи не является почвой, а относится к торф-органогенной породе, лишенной эффективного плодородия из-за отсутствия аэробных микроорганизмов, кислорода и живых корней. Эту органогенную породу предстоит превратить в плодородную почву за счет регулирования водного и пищевого режимов. Использование выработанных площадей на торфяных месторождениях возможно только при наличии хорошо действующей осушительной сети,

которая остаётся сельскохозяйственным и лесохозяйственным организациям при передаче выработанных площадей торфопредприятиями. При мелиорации и окультуривании мощность торфяной почвы возрастает, в почвообразовательный процесс включаются верхние слои торфо-породы, что приводит к коренным изменениям: накопление полуразложившегося органического вещества в условиях избыточной влажности сменяется разложением с освобождением азота, углерода и зольных элементов [1]. Наиболее пригодны для сельскохозяйственного использования низинные болота, площадь которых в Кировской области превышает 240 тысяч га. Они содержат большое количество органического вещества в виде торфа, богаты азотом и водой. На этих болотах, как показал многолетний опыт Кировской лугоболотной опытной станции, вполне возможно устройство высокопродуктивных искусственных травостоев долголетнего срока пользования. Площади выработанных торфяников ежегодно увеличиваются и в настоящее время составляют более 80 тыс. га [2]. Один из способов освоения таких земель – создание на них долголетних культурных сенокосов и пастбищ, так как известно, что многолетние травы при долголетнем их использовании играют огромную роль в сохранении и восстановлении биогеоценозов [3].

Повышение продуктивного долголетия агрофитоценозов в значительной степени зависит от уровня питания трав, создаваемого за счет обоснованных сочетаний и доз удобрений [4]. В связи с этим в последние два десятилетия основным направлением развития кормопроизводства признается интенсификация лугов, предусматривающая разумное сочетание природных условий и техногенных факторов [5]. Это заставляет изобретать такие технологии, которые позволяют своевременно адаптироваться на быстро меняющиеся как климатические, так и экономические условия [6]. Однако главным в управлении и конструировании агроэкосистем и агроландшафтов является не один какой-либо фактор, а их взаимодействие, нацеленное на обеспечение продуктивности и устойчивости агроландшафтов, при высоком качестве получаемой продукции, устранении негативных процессов, минимизации материальных, трудовых и финансовых затрат [7]. Актуальное значение имеет экспериментальная оценка изменений продуктивности сенокосов и пастбищ при различных сочетаниях погодных факторов и минерального удобрения. Базовой основой для этого являются долголетние стационарные опыты, проводимые в контролируемых условиях на различных типах травостоев и природных кормовых угодий.

Поэтому целью наших исследований являлась комплексная оценка изменений ботанического состава, продуктивности долголетнего злакового травостоя, расположенного на осушенной низинной выработанной торфяной почве и воспроизводство плодородия этой почвы в зависимости от минерального удобрения.

Методика проведения исследований. Научно-исследовательская работа по изучению различных приемов минерального удобрения старосеяного злакового травостоя (1971 г. залужения) сенокосного использования, проводилась в стационарном опыте Кировской лугоболотной опытной станции, заложенном на осушенном низинном выработанном торфянике, подстилаемом среднезернистым песком. Перед закладкой опыта слой остаточного торфа на опытном участке был в пределах 15-45 см, степень разложения торфа – 25-30 %, зольность – 8-10 %, объемная масса 0,200 мг/см³, полная влагоемкость – 472 %. Перед залужением внесены: пиритный огарок 5 ц/га и по 60 кг/га азота, фосфора, калия. В высеваемой травосмеси использовались следующие сорта и нормы посева многолетних трав: тимopheевка луговая Позднеспелая ВИК (8 кг/га), овсяница луговая Дединовская-8 (14 кг/га), кострец б/о Моршанский-312 (10 кг/га).

Осушенная низинная выработанная торфяная почва опытного участка, вышедшего из-под торфодобычи в 1965 году, в период залужения характеризовалась слабокислой реакцией (рН_{сол.} 5,5) и содержала в расчете на 1 кг почвы (слой 0-20 см) 8 мг подвижного фосфора, 248 мг обменного калия, 1,84 % общего азота, 1,49 % –CaO, 2,2 мг –Al.

Схема опыта, представленная в таблице 1, содержит 15 вариантов минерального удобрения в различных дозах и сочетаниях. Вариант 1 (без удобрения) принят в исследованиях за контроль для всех вариантов. В вариантах 2-15 предусмотрено изучение различных приемов минерального удобрения злакового травостоя. Варианты 2, 6, 10 включены в схему для установления эффекта взаимодействия различных доз азота, фосфора и калия. Использование травостоя – двуукосное, в фазе колошения доминирующего злака, составляющего основу травостоя. Удобрение в подкормку вносили: суперфосфат – весной в один прием, аммиачную селитру и хлористый калий – равными частями под каждый укос. Все учеты и наблюдения проводили по методикам ВИК, утвержденным для исследований в луговодстве, Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа, с использованием пакета программ Excel.

Результаты исследований. Важнейшими факторами повышения продуктивности долголетних травостоев на осушенной низинной выработанной торфяной почве являются минеральные удобрения при поддержании уровня грунтовых вод 0,8-1,0 м.

В течение 51 года пользования травостоем в соответствии с применяемыми сочетаниями и дозами минерального удобрения сформировались различные по ботаническому составу и продуктивности фитоценозы. Необходимо отметить, что без внесения минерального удобрения хозяйственно-ценный урожай был получен только в первые три года пользования травостоем, за счет предпосевной заправки почвы. В последующие девять лет, из-за недостатка минерального питания, растительности не было (сеяные виды исчезали полностью). По мере исчезновения сеяных трав фитоценотическую нишу заполняли сине-зеленые водоросли, лишайники, мохообразные, осоки, разнотравье, поросль кустарниковой ивы, то есть проходил процесс естественного зарастания. Почвенные водоросли и мохообразные явились основой формирования будущего биогеоценоза. Им принадлежала основная роль продуцентов для вновь формирующегося биогеоценоза. Появление в небольшом количестве сеяных видов трав: костреца безостого – 0,2 %, тимopheевки луговой – 8,2 %, овсяницы луговой – 14,2 %, наблюдалось, начиная с тринадцатого года создания травостоя. По мере усиления минерализации остаточного слоя торфа и повышения эффективного плодородия почвы при экстенсивном уходе только на шестнадцатый год жизни сформировался хозяйственно ценный травостой пастбищного типа, в составе которого насчитывалось одиннадцать видов трав [8]. Формирование травостоя продолжается и в его современном составе насчитывается более 33 видов трав, участие сеяных видов трав в общей массе травостоя незначительно.

На фоне азотно-калийного удобрения в дозах $N_{120}K_{120}$ растительности не было в период с седьмого по четырнадцатый годы пользования, когда проходили процессы самовосстановления фитоценоза по такому же пути, как и на удобряемом травостое. Только на пятнадцатый год жизни травостоя в небольшом количестве появились сеяные виды трав: тимopheевка луговая (7 %), овсяница луговая (5 %), кострец безостый (40 %). Значительную часть травостоя занимали дикорастущие виды злаков (38 %) и разнотравье (20 %). К девятнадцатому году жизни травостоя кострец безостый стал абсолютным доминантом (84 % общей массы), однако отсутствие фосфорного удобрения способствовало угнетению растений, что отразилось на резком снижении

урожайности и привело к отрицательной сукцессии, характеризующейся не только вырождением сеяного травостоя и внедрением дикорастущих видов трав и разнотравья, но и их деградацией. На двадцатый год жизни травостоя дикорастущие виды злаков занимали 60 % общей массы, группа разнотравья – 40 %, участие сеяных видов трав было очень слабым (0,2-0,3 %), кострец безостый встречался единично.

При внесении фосфорно-калийного удобрения в дозах $P_{60}K_{120}$ по мере расходования запасов доступного азота, высвобождаемого в результате минерализации органического вещества торфа, численность водорослей, особенно зеленых, снижалась, и на поверхности торфа разрастались мхи. В данном случае, мхи можно считать пациентами, которые разрастаются при отсутствии доступного азота для растений и травы не покрывают всю поверхность почвы. Изменения, состава водорослевых сообществ и микробиологической активности в осушенных выработанных торфяниках свидетельствуют о постепенном превращении органогенной породы в почву. Систематические подкормки фосфорно-калийным удобрением в первые семь лет освоения осушенного низинного выработанного торфяника способствовали формированию травостоя долголетнего сенокоса в основном за счет сеяных видов трав: тимофеевки луговой, овсяницы луговой, костреца безостого, которые занимали 82-98 % ботанического состава травостоя. В этот период формирования травостоя доминирующее положение занимала тимофеевка луговая (65-66 %). Овсяница луговая развивалась слабее (19-26 %). В связи с отсутствием азотного удобрения долевое участие костреца безостого в травостое было незначительным (3-11 %). На восьмой год жизни травостоя и в течение четырех последующих лет растительности в опытном варианте, где вносилось фосфорно-калийное удобрение, не было, в том числе дикорастущих видов злаков и разнотравья. И только с двенадцатого года жизни, вследствие усиления минерализации органического вещества торфа под воздействием фосфорно-калийного удобрения происходило дополнительное, более высокое, обеспечение трав азотом и формирование агрофитоценоза, доминирующее положение в котором занимал кострец безостый (55-65 %). Тимофеевке луговой и овсянице луговой отводилась незначительная часть травостоя (до 7,5 %). Из несеяных видов злаков в травостой внедрялись: мятлик луговой, ежа сборная, пырей ползучий, полевица белая, вейник Лангсдорфа. В небольшом количестве в травостое появлялись бобовые, группа разнотравья занимала 21 % общей массы травостоя. Всего в травостое, сформированном на фоне $P_{60}K_{120}$, насчитывалось

около 20 видов трав, что свидетельствует о положительной сукцессии, характеризующейся сохранением хозяйственно-ценных видов трав и повышением продуктивности сенокоса.

Применение полной смеси минерального удобрения (NPK) четко проявлялось на формировании травостоя с доминированием костреца безостого, развитие которого усиливалось с повышением доз вносимого азота. По мере повышения доз азотного удобрения от 60 до 120 кг действующего вещества на 1 га роль костреца безостого в травостое заметно повышалась от 9-34 % на второй год пользования и до 90-100 % в последующие годы пользования сенокосом. При внесении азота в дозе 60 кг действующего вещества на 1 га в составе полной смеси доминирующая роль костреца безостого установилась на четырнадцатый год пользования (56,4 % от общей массы). Повышение дозы азота в составе полной смеси минерального удобрения от 120 до 180-240 кг действующего вещества на 1 га способствовало сокращению сроков активного развития костреца безостого в составе травостоя соответственно от девяти до трех лет. Это подтверждает утверждения других авторов [4, 5] о высокой отзывчивости костреца безостого на азотное удобрение.

Изучение различных доз фосфорного удобрения в составе NPK показало их важную роль на переформирование разнотравно-злакового травостоя (с преобладанием дикорастущих видов злаков, 55-91 %), созданного на фоне азотно-калийного удобрения ($N_{120}K_{120}$), в кострецовый.

На фоне естественного плодородия осушенного низинного выработанного торфяника продуктивность 1 га долголетнего злакового сенокоса в среднем за 51 год пользования была достаточно высокой (таблица 1).

Подкормки злакового травостоя фосфорно-калийным удобрением в дозах $P_{60}K_{120}$ позволяли повышать сбор сухого вещества, обменной энергии, кормовых единиц и сырого протеина – в 2,2-2,5 раза по сравнению с неудобренным травостоем. Внесение полного минерального удобрения, включая дозы азота 60-240 кг д. в. (действующее вещество) на 1 га способствовало повышению продуктивности злакового травостоя в 3,1-3,4 раза. Применение двойной смеси азотно-калийного удобрения в дозах $N_{120}K_{120}$ понижало урожайность злакового травостоя в 1,5 раза по сравнению с неудобренным травостоем, вследствие низкого содержания элемента фосфора в почвенной среде осушенного низинного выработанного торфяника (0,8 мг/кг). Роль фосфорного удобрения на долголетних злаковых травостоях,

расположенных на осушенных низинных выработанных торфяниках, проявлялась в существенном приросте урожайности травостоев (в 4,1-4,9 раза) по сравнению с фоном НК при внесении суперфосфата в дозах 30-90 кг д. в. на 1 га в составе полной смеси минерального удобрения. Внесение азотно-фосфорного удобрения в дозах $N_{120}P_{60}$ способствовало повышению продуктивности сенокоса в 2,2-2,6 раза по отношению к контролю (без удобрений). Систематическое внесение хлористого калия в дозах 45, 60, 120, 180 кг д. в. на 1 га к фону повышало продуктивность злакового сенокоса лишь в 1,7-1,9 раза по отношению к фону $N_{120}P_{60}$ в связи с более высокой обеспеченностью выработанного торфяника калием.

Таблица 1 – Продуктивность долголетнего злакового сенокоса на осушенной низинной выработанной торфяной почве

Удобрение (за сезон)	Сбор с 1 га за сезон				
	СВ, т/га	В % к контролю	ОЭ, ГДж	Кормовые единицы	СП, ц
Без удобрений	2,5	100	23	1998	3,1
$P_{60}K_{120}$	6,0	246	57	4541	7,0
$N_{60}P_{60}K_{120}$	7,6	309	75	6016	9,1
$N_{90}P_{60}K_{120}$	8,2	335	81	6461	10,1
$N_{120}P_{60}K_{120}$	8,3	337	85	6830	11,1
$N_{180}P_{60}K_{120}$	8,2	334	85	6824	12,0
$N_{240}P_{60}K_{120}$	8,0	326	84	6811	12,9
$N_{120}K_{120}$	1,7	69	16	1394	2,4
$N_{120}P_{30}K_{120}$	7,0	285	74	5978	9,8
$N_{120}P_{60}K_{120}$	8,3	337	85	6830	11,1
$N_{120}P_{90}K_{120}$	8,3	340	85	6778	11,4
$N_{45}P_{45}K_{60}$	7,1	290	75	5990	9,9
$N_{120}P_{60}$	4,7	190	51	4371	8,2
$N_{120}P_{60}K_{60}$	7,9	323	83	6653	11,4
$N_{120}P_{60}K_{45}$	7,3	299	75	6074	10,0
$N_{120}P_{60}K_{120}$	8,3	337	85	6823	11,1
$N_{120}P_{60}K_{180}$	8,7	355	87	7201	10,9
	HCP ₀₅ =5,2; Sx=1,8				

Исследования, проводимые с целью установления направленности дернообразовательного процесса показали, что уже к 34-му году пользования злаковым сенокосом на осушенной низинной выработанной торфяной почве сформировалась довольно мощная дернина и корневая система достигала равновесного состояния, с закреплением в ней 334 кг азота, 25 кг фосфора, 55 кг калия и 247 кг кальция (таблица 2).

Таблица 2 – Накопление подземной массы и питательных веществ в ней долголетним злаковым сенокосом в зависимости от уровня минерального питания

Удобрение за сезон	Подземная масса в слое 0-20 см, 2006 г. ц/га СВ	Подземная масса в слое 0-20 см, 2023 г. ц/га СВ	В % к контролю	КПД корней	Закрепление питательных веществ в подземной массе, кг/га			
					N	P ₂ O ₃	K ₂ O	Ca
Без удобрений	140	137	100	0,14	333,5	25,0	54,7	247,2
N ₁₂₀ P ₆₀	155	305	223	0,15	754,7	101,9	61,6	208,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	169	229	167	0,30	514,5	63,1	48,2	199,0
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	325	343	250	0,18	846,9	82,3	84,4	368,0
P ₆₀ K ₁₂₀	184	416	304	0,10	890,3	142,1	91,3	407,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	231	360	263	0,16	804,8	125,6	57,8	275,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	264	300	219	0,23	763,8	78,9	45,6	298,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	227	377	275	0,19	1042,5	113,9	49,5	396,3

При систематических подкормках долголетних злаковых травостоев двойными смесями минерального удобрения в дозах N₁₂₀P₆₀ и P₆₀K₁₂₀ накопление подземной массы заметно повышалось, однако продуктивное действие корней (КПД), выраженное соотношением урожайности и массы подземных органов (термин, введенный И.П. Мининой, 1972) было низким – 0,10-0,15, что связано с недостаточным уровнем питания растений и снижением урожайности травостоев. По утверждению Роботнова Т.А. [3] при ухудшении условий произрастания многие травянистые растения развивают более мощную корневую систему, что приводит к удлинению их жизни и сочетается со снижением их продуктивности. Однако закрепление питательных веществ в подземной массе этих травостоев по сравнению с неудобряемым травостоем повышалось в 2,3-2,7 раза по азоту, в 4,1-5,7 раза по фосфору, в 1,2-1,7 раза по калию.

При внесении полного минерального удобрения в дозах $N_{60-120}P_{30-60}K_{60-120}$ отмечалось увеличение подземной массы в 1,7-2,8 раза по сравнению с контролем. Увеличение подземной массы при внесении азотного удобрения связано с более интенсивным кущением злаковых трав и образованием молодых корней из узлов кущения. Высокий КПД корней (0,30) получен при ежегодном внесении полного минерального удобрения в перспективных дозах $N_{120}P_{60}K_{60}$, что указывает на положительное действие минерального удобрения, проявляющееся в увеличении не только подземной массы в 1,7-2,8 раза, но и увеличении урожайности надземной массы в 2,5-3,6 раза.

Систематические подкормки полным минеральным удобрением способствовали накоплению в подземной массе питательных веществ, которые при разложении корневой массы растений поступали в почву выработанного торфяника, повышая уровень его плодородия и накопления органического вещества. В почве неудобряемого травостоя отмечалось незначительное подкисление почвенного раствора в слое 0-20 см ($pH_{\text{сол.}}$ 5,4) и обогащение его фосфором и калием, что связано с поступлением этих элементов за счет минерализации торфа, с грунтовыми водами и после разложения растительных остатков, а также за счет аэрозольных источников с атмосферными осадками (таблица 3).

Под влиянием регулярного применения минерального удобрения отмечалось значительное увеличение кислотности почвы – снижение $pH_{\text{сол.}}$ на 0,3-1,2 по сравнению с исходным показателем. По сравнению с контролем (без удобрений) кислотность почвы также увеличивалась в зависимости от применяемых доз минерального удобрения. Содержание подвижного фосфора в почве при внесении его в дозах от 30 до 90 кг д. в. на 1 га повышалось в 1,8-8,8 раза по отношению к фону $N_{120}K_{120}$. По сравнению с контролем содержание подвижного фосфора в выработанной почве при использовании его в составе полного минерального удобрения увеличивалось в 1,3-6,3 раза. Содержание обменного калия в слое почвы 0-20 см по отношению к исходному состоянию выработанной торфяной почвы снижалось в 1,1- 3,4 раза независимо от доз вносимого калийного удобрения, вследствие большого выноса K_2O фитомассой, КИУ достигали 82-179 %. По отношению к неудобряемой почве выработанного торфяника повышение элемента калия в слое 0-20 см на 14-85 мг/кг отмечалось при внесении полного минерального удобрения в дозах $N_{120}P_{30-45}K_{120}$.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика почвы осушенного низинного выработанного торфяника при различном уровне минерального питания долголетнего злакового сенокоса, (слой почвы 0-20см)

Удобрение (за сезон)	Агрохимические показатели							
	pH (сол)	подвиж- ный фосфор, P ₂ O ₅ мг/кг	обмен- ный калий, K ₂ O мг/кг	общий азот, N %	золь- ность, %	орга- ничес- кое веще- ство, %	угле- род, %	C:N
Исходное содержание (1971г)	5,5	8,0	248	1,8	8,0	92,0	51,3	27,9
Без удобрений	5,4	1076	154	1,2	37,7	62,3	31,4	27,3
N ₁₂₀ P ₆₀	4,9	1580	142	1,2	23,3	76,7	46,3	38,0
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	5,0	2201	108	1,2	26,6	73,4	33,6	29,0
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	4,9	3280	160	1,3	23,5	76,5	43,5	33,0
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,9	3186	102	1,4	10,9	89,1	46,0	33,6
N ₁₂₀ K ₁₂₀	5,0	768	139	1,3	15,6	84,4	47,0	35,1
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	4,5	1400	239	1,6	18,6	81,4	33,4	20,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,9	3186	102	1,4	10,9	89,1	46,0	33,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	5,2	1435	142	1,1	24,6	75,4	39,6	34,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₆₀	4,5	6750	168	1,7	17,1	82,9	43,3	25,2
P ₆₀ K ₁₂₀	5,0	2184	118	1,1	15,8	84,2	43,1	39,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,9	3088	72	1,2	14,8	85,2	47,6	38,4
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,9	3186	102	1,4	10,9	89,1	46,0	33,6
N ₁₈₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,3	4520	114	1,8	23,3	76,7	45,5	24,7

Выработанный торфяник низинного типа в исходном состоянии представлял собой органогенную породу с низкой зольностью (8 %). На неудобряемом луге зольность почвы увеличивалась до 38 %, что указывает на активно протекающие процессы минерализации органического вещества торфа. Под влиянием минерального удобрения процессы минерализации органического вещества торфа проходили по-разному: зольность почвы увеличивалась в 1,4-3,3 раза по сравнению с исходным состоянием, по сравнению с контролем (без удобрений) она была ниже в 1,4-3,7 раза. В связи с этим содержание органического вещества в почве удобряемого выработанного торфяника повышалось на 11-27 % по отношению к неудобряемой почве, однако по сравнению с исходным состоянием

выработанного торфяника за 51 год сельскохозяйственного использования происходило снижение содержания органического вещества как в удобряемой (на 2,9-18,6 %), так и в неудобренной почве (на 29,7 %).

Органическое вещество в почве выработанного торфяника накапливалось в зависимости от наращивания фитоценозом подземной массы и изменения плотности верхнего слоя торфа. Под влиянием этих двух основных процессов в почве неудобренного выработанного торфяника наблюдалась убыль органического вещества, которая достигала 2,8-3,0 т/га в год по сравнению с исходным состоянием (рисунок).

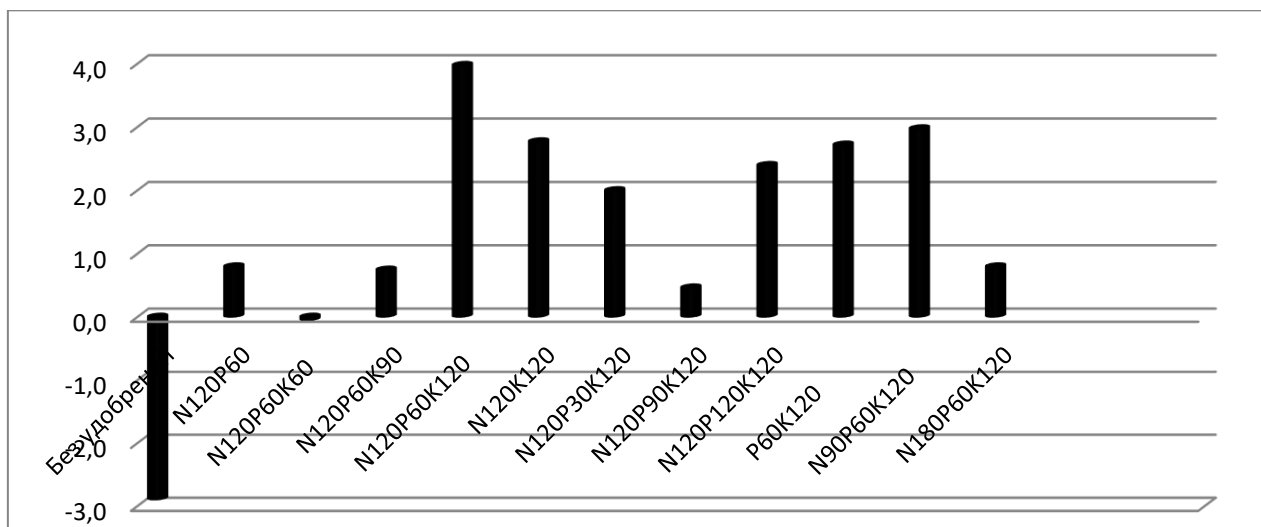


Рисунок – Среднегодовое накопление органического вещества (т/га) в почве выработанного низинного торфяника

Минеральное удобрение существенно повышало среднегодовые темпы накопления органического вещества в низинном выработанном торфянике за счет полезного действия корневой системы. Систематическое применение минерального удобрения в несбалансированных дозах способствовало повышению запаса органического вещества в почве только на 0,5-0,8 т/га в год к исходному уровню. При применении минерального удобрения в оптимальных дозах ($N_{120}P_{60}K_{120}$) установлено максимальное накопление органического вещества, около 4,0 т/га в год.

Таким образом, анализ накопления органического вещества торфа раскрывает стимулирующую роль минерального удобрения долголетних злаковых травостоев на осушенных низинных выработанных торфяниках.

Выводы. 1. На осушенных выработанных низинных торфяных почвах Северо-Востока Европейской части России, характеризующихся слабой

минерализацией органического вещества (около 11-15 % золы, невысокой плотностью 0,20-0,25 г/см³), низким содержанием подвижного фосфора (8-12 мг/кг) и обменного калия (240-250 мг/кг) при создании долголетних сенокосов необходимо включать в состав травосмесей самовозобновляющийся вид злака – костреца безостый (районированный сорт) в качестве ведущего компонента, обеспечивающего долготнее сохранение ценного состава травостоя.

2. Организация правильного ухода за сеянными травостоями на сенокосах, созданных на осушенных низинных выработанных торфяниках, обеспечивает увеличение их продуктивности в 1,9-2,5 раза и гарантирует долготнее эффективное использование мелиорируемых земель без дополнительных капитальных вложений на их улучшение.

4. Подкормки минеральным удобрением долголетних злаковых сенокосов, расположенных на осушенных низинных выработанных торфяниках способствуют не только повышению урожайности надземной массы в 2,5-3,6 раза, но и накоплению подземной массы в 1,7-2,8 раза, закреплению в ней азота в 1,5-3,1 раза, фосфора в 2,5-5,7 раза, кальция в 1,1-1,6 раза больше по сравнению с неудобренным травостоем, сохранению и накоплению органического вещества торфа до 3-4 т/год и повышению эффективного плодородия почвы выработанного торфяника.

Список литературы

1. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. М.: Росреестр, 2020. 206 стр.
2. Кутузова А.А. Итоги исследований по разработке новых приемов создания и использования высокопродуктивных сенокосов и пастбищ //Приемы создания и использования высокопродуктивных сенокосов и пастбищ: Сборник научных трудов /ВНИИ кормов. – М.: 1986. – Выпуск 34. – с. 3-18.
3. Работнов Т.А. Луговедение. Учебник – 2-е издание – М.: Издательство МГУ, 1984. С 9-11.
4. Кутузова А.А., Привалова К.Н. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству. М./ВНИИК. – 2011. 191 с.
5. Трофимова Л.С., Кулаков В.А. Продуктивный и средообразующий потенциал луговых агрофитоценозов и пути его повышения. Кормопроизводство. – 2008. - № 9. – С. 15-21.

6. Влияние изменения климата на экологическую устойчивость агроценозов. /Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России (под редакцией академиков Россельхозакадемии А.Л. Иванова и В.И. Кирюшина) – М.: Россельхозакадемия, 2009. С 234-235.

7. Иванов А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России //Земледелие, 2009, №1. – С.3 – 5.

8. Ковшова В.Н. Изменение продуктивности низинного выработанного торфяника в зависимости от минерального удобрения /Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН № 8 (66). Серия «Сельскохозяйственные науки» – Сыктывкар, 2023. – С.46-51

THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON THE FERTILITY OF THE DEVELOPED PEAT SOIL

V.N. Kovshova

Annotation. The results of research on the effect of mineral fertilizer of long-term seeded agrophytocenoses of hay use on changes in the botanical composition of the seeded herbage, its productivity, accumulation of underground mass and nutrients in it, preservation of organic matter of peat and fertility of the developed lowland peat bogs are presented.

Keywords: drained lowland developed peat bog; long-term seeded cereal grass; mineral fertilizer; soil fertility; removal of nutrients; productivity; botanical composition; aboveground mass; underground mass, organic matter.

УДК 631.811.1: 631.81.033: 633.11

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

С. А. Колбин^{1,2}, Л. В. Гарафутдинова¹, В. К. Каличкин¹

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

² Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН

E-mail: kolbin66@ mail.ru, lv.garafutdinova@mail.ru, vk.kalichkin@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты оценки эффективности использования азотных удобрений яровой пшеницей в стационарном полевом опыте, проведенном на черноземе выщелоченном в лесостепной зоне Новосибирского Приобья. Установлено, что агрономическая эффективность

применения азотных удобрений в засушливых условиях была в 1,4-2,2 раза ниже, чем в умеренно увлажнённых. Коэффициент использования азота удобрений при благоприятном увлажнении составлял 70-90%, в засушливых условиях – 43-54%. Физиологическая эффективность азотных удобрений составляла 25-40 кг зерна на 1 кг азота. Изучаемые индексы эффективности использования азота были максимальными при внесении N30 и уменьшались при увеличении дозы удобрения. Фактические значения NUE системы агроценоза пшеницы находились в области высокоэффективного использования азота и составляли 57-93%.

Ключевые слова: азотные удобрения, яровая пшеница, чернозем выщелоченный, эффективность использования азота удобрений

Урожайность сельскохозяйственных культур находится в зависимости от комплекса природных и агротехнических факторов, таких как обеспеченность растений влагой и элементами питания. Азот (N) один из основных макроэлементов и его недостаточное количество ограничивает рост, развитие и продуктивность растений. Потребность растений в азоте удовлетворяется за счет мобилизации азота почвы и поступления из других источников, основными из которых являются азотсодержащие удобрения. Объемы применения минеральных азотных удобрений в мире возрастают, по данным ФАО они ежегодно повышаются на 2-4%, но в то же время производство зерновых увеличивается только на 0,3% [1]. Решение задачи повышения урожайности сельскохозяйственных культур возможно лишь при более эффективном использовании удобрений, что одновременно позволит сократить затраты и загрязнение окружающей среды [2].

Определение эффективности использования азота (англ. nitrogen use efficiency – NUE) широко используют для оценки агрономических, физиологических и экологических результатов применения удобрений в агроэкосистемах. Однако единой методики расчета NUE не существует, в литературе описывается 18 методов его количественной оценки [3]. Отсутствие единого подхода к расчетам и интерпретации этого показателя приводит к тому, что исследователи принимают за оптимальные значения NUE полученные, например, в странах ЕС, без учета региональных почвенно-климатических условий возделывания культур. Однако известно, что климатические условия зоны возделывания культур являются наиболее существенным фактором, определяющим эффективность удобрений.

Усиление континентальности климата и снижение количества осадков существенно сказывается на эффективности их применения [4].

Наиболее известными является 3 метода оценки NUE: 1) определение NUE, исходя из процесса формирования биомассы пшеницы – отношение урожайности зерна к сумме доступного для растений количества N удобрений и минерального N почвы [5]; 2) NUE – как долевого фактора продуктивности – отношение выноса N биомассой к его поступлению с удобрениями, навозом, атмосферными осадками и в результате биологической фиксации; 3) NUE, рассчитываемый по принципу баланса масс в системе – отношение выноса азота с урожаем зерна к его приходу с удобрениями. При расчетах в системе обычно выделяют границы объекта, учтенные входные и выходные потоки, а также временные рамки. В качестве оцениваемой системы может рассматриваться отдельное поле или агротехнология, хозяйство, регион, а также продовольственная цепочка от производителя до потребителя [6]. В отечественных исследованиях для оценки эффективности азотных удобрений обычно используются следующие показатели: прибавка урожайности культуры от внесения удобрений; коэффициент использования удобрений, окупаемость 1 кг внесенного удобрения прибавкой зерна в кг.

В настоящее время, для оптимизации технологии возделывания сельскохозяйственных культур и осуществления прогноза их урожайности широко используют дистанционные методы, основанные на анализе спутниковых снимков. В частности, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI). Данный индекс зарекомендовал себя как эффективный предиктор состояния растительности, он позволяет оценить биомассу, плотность посевов и общее состояние растений. Но в настоящее время недостаточно изученной является проблема использования индекса NDVI для оценки обеспеченности азотом растений и связи данного показателя с выносом азота культурой.

Цель исследований – оценить показатели эффективности использования азота удобрений в системе агроценоза яровой пшеницы, возделываемой по интенсивной технологии в годы с различными условиями увлажнения.

Условия, объекты и методы. Исследования проводили в лесостепной зоне Новосибирского Приобья. Зона характеризуется умеренно холодным климатом с неравномерным выпадением осадков и проявлением разной степени засушливости вегетационного периода. Территория относится к зоне рискованного земледелия, с резкими и частыми изменениями погодных

условий, приводящие к значительным колебаниям урожайности зерновых культур.

Полевой опыт расположен в ОС «Элитная» СФНЦА РАН (54°55'27.45"с.ш. 82°57'14.05"в.д.). Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в пахотном слое – 5,8%, общего азота – 0,35%, реакция среды – близкая к нейтральной. Почва хорошо обеспечена фосфором и калием, содержание P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы, соответственно.

Опыт по оценке эффективности азотных удобрений проводили на 4 уровнях применения аммиачной селитры $N0$, $N30$, $N60$, $N90$. Удобрение вносили под предпосевную культивацию с помощью сеялки СЗП 3,6. Опыт представлял собой бессменный посев яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, которую возделывали по интенсивной технологии (на фоне применения протравителя семян, гербицидов, ретарданта и фунгицида). При уборке урожая комбайном солома пшеницы измельчалась и разбрасывалась. Площадь делянки $3,6 \times 18$ (м), повторность опыта 4-кратная. Опытный участок длительное время (более 40 лет) использовался для проведения опытов по изучению эффективности внесения минеральных удобрений и средств интенсификации в зерновых севооборотах (1984-2001 гг. в севообороте пар–пшеница–пшеница–ячмень, 2001-2017 гг. пар–пшеница–пшеница, 2017-2018 гг. уравнильный посев пшеницы, с 2019 г – бессменный посев пшеницы). В почве определяли: стартовый запас продуктивной влаги термостатно-весовым методом, содержание $N-NO_3$ – усовершенствованным дисульфифеноловым методом [7], урожайность пшеницы методом снопового анализа [8], содержание общего N в зерне и соломе определяли по Кьельдалю. Так же в опыте изучалось влияние возрастающих доз азотных удобрений на состояние посевов яровой пшеницы с использованием данных дистанционного зондирования высокого разрешения. В качестве источника информации использовались спутниковые снимки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 метров. На основании этих данных был вычислен вегетационный индекс NDVI

В исследовании изучались следующие показатели эффективности использования азота. Агрономическая эффективность (прибавка урожая зерна на 1 кг д.в удобрений, кг/кг) – $AE = (Y - Y_0) / F$. Коэффициент использования азота удобрений, % – $KIU = (U - U_0) \times 100 / F$. Физиологическая эффективность удобрений (прибавка урожая зерна на 1 кг увеличения выноса N биомассой

при внесении удобрений) – $PE=(Y-Y_0)/(U-U_0)$. Эффективность использования удобрений (кг урожая зерна/кг выноса N при внесении удобрений) – $NutE=Y/U$. Эффективность использования азота культурой (доля выноса N биомассой от суммы N удобрений и минерального N почвы, %) – $NUrE=(U/F+S)\times 100$. Эффективность использования азота удобрений и почвы урожая зерна (%) – $NUE_{yield}=NUrE\times NutE=Y_N/(F+S)\times 100$. Балансовый индекс N в системе (кг/га) – $Snbi=F-U-S$. Эффективность использования азота (NUE) основанный, на балансе массы в системе (%) – $NUE=Y_N/\sum$ поступления N в почву. Общепринятый для стран СНГ баланса азота в почве Б(N) рассчитывался как разница между приходными (П) и расходными (Р) его статьями (кг/га) – $B(N)=(F+N_{cem}+N_{cb}+N_{oc})-(Y_N+N_d)$ [9]. В формулах использованы следующие сокращения: Y – урожайность на участке с внесением удобрений (кг/га); Y_0 – урожайность на участке не удобренном азотом (кг/га); Y_N – вынос азота урожаем; U – вынос азота надземной биомассой растений при созревании на удобренном участке; U_0 – вынос азота биомассой на неудобренном участке (кг/га); F – азот удобрения; S – минеральный азот почвы; N_{cem} – поступление N с посевным материалом, кг/га; N_{cb} – азот синтезируемый свободноживущими азотфиксаторами (8 кг/га); N_{oc} – азот поступающий с атмосферными осадками (5 кг/га); N_d – потери от денитрификации 10% от дозы N удобрения.

Результаты и обсуждение. Вегетационные периоды 2019-2023 гг. по условиям увлажнения (ГТК Селянинова) можно охарактеризовать следующим образом 2019-2022 гг. были умеренно увлажненными (ГТК Селянинова 0,91-1,09), засушливым был 2023 г. (ГТК 0,69). В годы проведения исследований стартовые запасы продуктивной влаги в почве были хорошими и очень хорошими, запасы нитратного азота – низкими.

Урожайность яровой пшеницы в годы с умеренными условиями увлажнения составляла в варианте N0 – 1,87 т/га, при внесении N30, N60 и N90 повышалась в 1,4; 1,8 и 2,4 раза, соответственно. В засушливом 2023 г. урожайность пшеницы в вариантах с внесением удобрений была примерно в 1,5 раза ниже, чем в годы с умеренным увлажнением. Вынос азота надземной биомассой растений в варианте N0 составлял при умеренном увлажнении 48 кг/га, в засушливых условиях 42 кг/га, в варианте N90 он возрастал, соответственно, в 2,9 и 2,4 раза при этом урожайность пшеницы возрастала только в 2,4 и 1,7 раза. Следовательно, в засушливых условиях увеличение выноса азота биомассой растений не приводило к соответствующему увеличению урожайности пшеницы (таблица 1).

Поэтому закономерно, что агрономическая эффективность (АЕ) внесения азотного удобрения в засушливых условиях была в 1,4-2,2 раза меньше, чем в умеренно увлажнённые годы. В засушливых условиях при увеличении дозы N с 30 до 90 кг/га АЕ уменьшалась на 30-40%, а в годы с умеренным увлажнением наблюдалась тенденция к ее увеличению. Следует отметить, что среднемировая окупаемость 1 кг д.в. удобрений зерном составляет около 10 кг, в РФ она в 2 раза ниже [10]. По результатам обобщения исследований в странах применяющих интенсивные технологии возделывания культур, АЕ составляет 25-30 кг зерна/кг N, а среднее мировое значение – 20,8 кг/кг [11]. Основой причиной низкой окупаемости удобрений в зоне проведения исследований является низкий уровень выпадения осадков в годы с засушливыми условиями вегетации яровой пшеницы.

В наших исследованиях коэффициент использования азотных удобрений (КИУ) был очень высоким, в годы с умеренным увлажнением он составлял 70-90%, в засушливых условиях – 43-54%, это противоречит результатам исследований с использованием удобрения меченого ^{15}N , которые показали, что КИУ азотных удобрений в Сибири в среднем составляет 40% (от 18 до 50%) [12].

Таблица 1 – Влияние азотного удобрения на урожайность, вынос азота и агрономическую эффективность использования азота удобрений яровой пшеницы

Вариант	Урожайность зерна, т/га	Вынос азота, кг/га		Агрономическая эффективность (АЕ), кг
		надземной биомассой	урожаем зерна	
Умеренно увлажненные условия вегетации (в среднем за 2019-2022 гг.)				
N0	1,87 (1,62–2,26)*	48 (43–55)	36 (33–41)	-
N30	2,58 (2,20–3,05)	69 (64–77)	53 (46–61)	23,7 (16–27)
N60	3,28 (2,84–3,58)	97 (81–106)	75 (60–82)	23,5 (20–27)
N90	4,53 (4,40–4,75)	138 (133–145)	108 (103–114)	29,7 (23–34)
Засушливые условия увлажнения (2023 г.)				
N0	1,64	42	31	-
N30	2,15	55	44	17,1
N60	2,39	72	53	12,4
N90	2,85	90	67	13,4

**Здесь и далее приведены верхний и нижний предел значений данных в годы исследований.*

Этот факт связан с тем, что под влиянием азотных удобрений усиливается потребление азота почвы в результате изменения физиологического состояния растений [13]. За счет дополнительно использованного растениями «добавочного» почвы происходит повышение КИУ, рассчитанного разностным методом (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние доз азотного удобрения и условий увлажнения вегетационного периода на индексы эффективности использования азота

Вариант	Коэффици- ент использова- ния азота удобрений (КИУ),%	Физиологичес- кая эффектив- ность удобрений (РЕ), кг зерна/кг выноса N	Эффективность использования азота		
			удобрений (NutE), кг зерна/ кг выноса N	культурой (NUpE),%	урожаем зерна (NUE _{yield}), %
Умеренно увлажненные условия вегетации (в среднем за 2019-2022 гг.)					
N30	70 (50–84)	34,1 (30–40)	37,3 (34–39)	191 (121–287)	46 (39–62)
N60	75 (63–91)	29,3 (26–32)	34,0 (32–35)	122 (101–158)	38 (30–45)
N90	90 (91–106)	29,6 (26–32)	32,9 (32–34)	111 (87–134)	38 (35–42)
Засушливые условия увлажнения (2023 г.)					
N30	43	39,4	39,0	115	45
N60	51	24,6	32,9	93	31
N90	54	24,9	31,4	84	26

Показатели физиологической эффективности удобрений (РЕ) и эффективность использования N удобрений (NutE) применяются для определения способности растений распределять ресурсы N в процессе вегетации для получения урожая зерна. РЕ это способность растения преобразовывать дополнительный вынос азота удобрений, в прибавку урожая зерна. В наших исследованиях физиологическая эффективность удобрений составляла 25-40 кг зерна на 1 кг N, что примерно в 1,5-2 раза ниже оптимальных значений, принятых в мире для высокоинтенсивных агротехнологий (50-60 кг/ кг).

NutE это отношение выноса N урожаем зерна к общему выносу N биомассой растения, он оценивает эффективность использования N растениями, в целом из почвы и удобрений. Значения показателя NutE были несколько выше, но имели те же закономерности изменения, что и РЕ. А именно, чем выше доза азота удобрений, тем ниже было их значение, особенно, в засушливых условиях.

$NUrE$ – это доля выноса растениями доступного азота почвы (доза N удобрений и запас N в почве), в наших исследованиях он варьировал от 84 до 287%. Высокие значения $NUrE$ (более 100%) в умеренно увлажнённые годы, вероятно, связана с мобилизации азота почвы в течение вегетации растений, в результате которой в систему поступает значительное количество минерального азота. Для $NUrE$ характерно, что с увеличением дозы N его значения снижались примерно в 1,5 раз, а также в засушливый год значения его были в 1,3-1,7 раза ниже, чем при умеренном увлажнении.

NUE_{yield} это доля азота, поступающего из почвы, используемая для создания товарной продукции (зерна). В опыте, вне зависимости от условий увлажнения, его максимальное значение (45%) наблюдалось в варианте N30, при увеличении дозы до N90 значения NUE_{yield} снижались в 1,5 раза.

В дополнении к уже использованным индексам, эффективность азота NUE оценивалась нами по балансу масс в системе агроценоза (таблица 3).

Результаты расчетов показали, что балансовый индекс азота ($Snbi$), на контроле (N0) имел отрицательные значения, при внесении N30 он был бездефицитным (таблица 3). При внесении N60 и N90 сальдо баланса было положительным, и в засушливых условиях повышалось, соответственно, на 12 и 30 кг/га, по сравнению с умеренными условиями увлажнения.

Таблица 3 – Эффективность использования азота удобрений, рассчитанная по балансу масс в системе

Вариант	Балансовый индекс азота в системе ($Snbi$), кг/га	Баланс азота в почве Б(N), кг/га	Эффективность использования азота по балансу масс с учетом всех источников поступления азота (NUE), %
Умеренно увлажненные условия вегетации (в среднем за 2019-2022 гг.)			
N0	-8 (-22 – 2)	-17 (-22 – -13)	-
N30	5 (-12 – +15)	-6 (-15 – 0)	72 (60–93)
N60	13 (-3 – +33)	-1 (-9 – +13)	74 (57–89)
N90	11 (-2 – +22)	-8 (-14 – -3)	84 (76–93)
Засушливые условия увлажнения (2023 г.)			
N0	-13	-12	-
N30	-4	+2	68
N60	+25	+20	58
N90	+41	+33	57

Расчет баланса N в почве Б(N) показал, что он имел такие же закономерности изменения, но его значения были в соответствующих

вариантах опыта ниже, чем у индекса $Snbi$. В умеренно увлажненные годы сальдо баланса $B(N)$ было отрицательным. В засушливый год при внесении N удобрений он был положительным, в варианте $N90$ достигал $+33$ кг/га. Различия в методике расчета $Snbi$ и $B(N)$ определяют несоответствие значений баланса азота в почве. По нашему мнению, использование в индексе $Snbi$ запаса минерального азота в почве ошибочно, так как он является частью системы почва-растение, а не поступает в систему из внешних источников.

Анализ эффективности использования азотных удобрений по балансу масс (NUE) показал, что в зависимости от условий увлажнения и дозы N он изменялся от 57 до 93%, что является относительно высокими показателями. Для примера можно привести исследования [15], в которых приведены результаты расчётов NUE по балансу масс на уровне поля в Ленинградской области, где значение его составило 34%. В наших исследованиях относительно высокий NUE объясняется тем, что пшеница возделывалась по интенсивной технологии (с использованием комплекса агрохимических средств защиты растений), что существенно снижает воздействие биотических лимитирующих факторов (сорняков, болезней, вредителей и полегания растений) на урожайность культуры.

Концептуальная структура NUE , представленная Группой экспертов ЕС по азоту [14], графически можно изобразить с помощью двумерной диаграммы «вход-выход» (рисунок). Приведенные лимиты NUE являются примером системы и могут варьировать в зависимости от почвы, погоды и урожайности культуры. Угол наклона диагональных линий представляет собой диапазон желаемого значения NUE от 50% до 90%. При значениях $NUE < 50\%$ наблюдается загрязнение почвы и окружающей среды, при $NUE > 90\%$ существует риск истощения запасов N в почве. Горизонтальная линия представляет собой вынос азота зерном при желаемой урожайности культуры, в наших условиях для яровой пшеницы он составляет 60 кг N /га при урожайности в среднемноголетнем цикле 3-3,5 т/га. В наших исследованиях фактические значения NUE находились в интервале приоритетной области внесения азотных удобрений или “безопасного рабочего пространства”, в которой показатели выноса N урожаем, одновременно имеют высокую эффективность использования N , высокую урожайность, и при этом избыток N находится на низком уровне.

Для оценки влияния возрастающих доз азотных удобрений на изменение спектральных диапазонов и параметров состояния посевов пшеницы были

проведены исследования с использованием данных дистанционного зондирования.

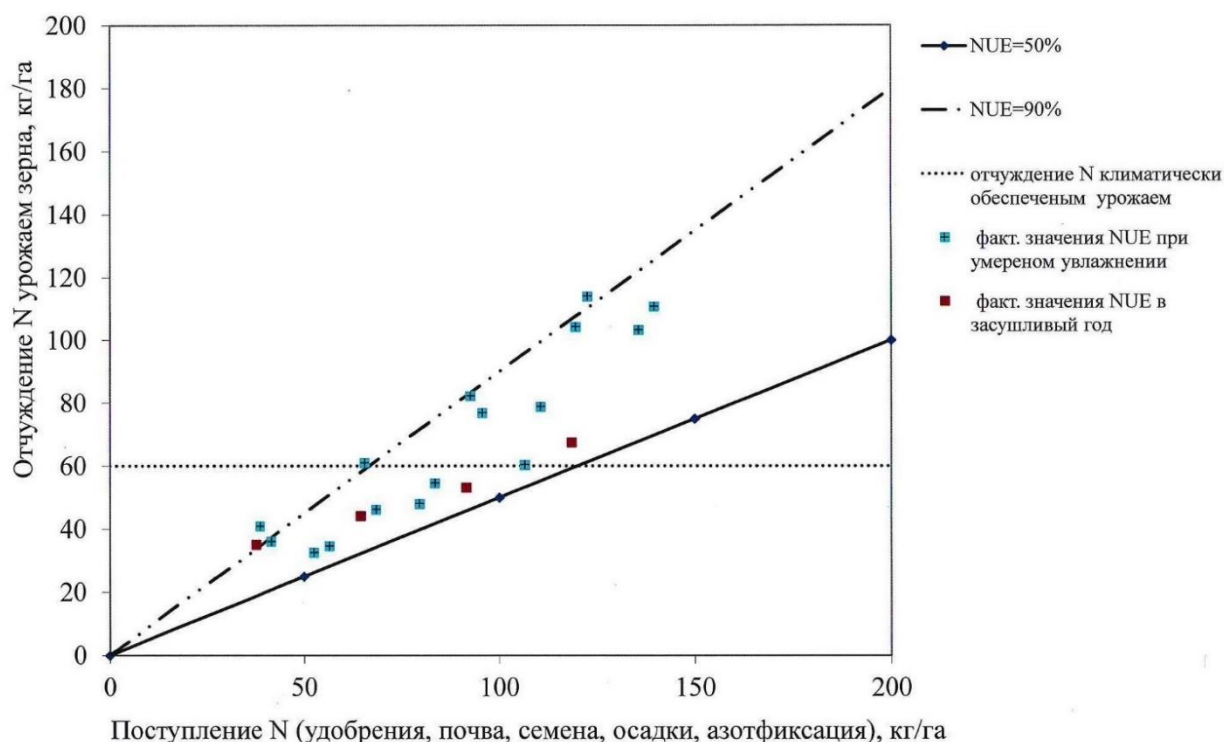


Рисунок. Влияние условий увлажнения и доз азотных удобрений на эффективность использования азота посевом пшеницы (NUE), %

Исследования показали, что условия увлажнения вегетационного периода пшеницы существенно влияли на динамику значений индекса NDVI. В годы с относительно хорошими условиями увлажнения (2019-2022 гг.) средние значения индекса NDVI в июне (в начальном этапе развития растений) составляло 0,46 ед., индекс NDVI в июле (при активном накоплении биомассы) увеличивался до 0,58-0,65 ед. эта стабильная положительная динамика указывает на благоприятные условия роста и развития пшеницы. В засушливом 2023 г. индекс NDVI в июне составлял 0,17-0,21 ед., что указывает на угнетение растений из-за недостатка влаги. В июле, несмотря на увеличение индекса до 0,31-0,41 ед., его значения были ниже, чем в умеренно увлажнённые годы. Наблюдаемое снижение NDVI соответствовало низким значениям урожайности пшеницы и выноса азота растениями в 2023 г. (таблица 1).

Между значениями индекса NDVI и выносом азота надземной биомассой пшеницы в годы с умеренными условиями увлажнения существует высокая корреляционная связь ($R=0,77$ при уровне значимости $0,48$). В засушливые годы корреляционная связь была средней $R=0,42$. Наиболее значимым фактором, влияющим на тесноту связи этих признаков, оказывают условия увлажнения вегетационного периода, а в частности осадки июня и июля.

С помощью регрессионного метода анализа была оценена связь индекса NDVI с выносом азота посевом пшеницы. В качестве признаков были приняты стартовые запасы влаги (W) в почве, осадки июня (O_6) и июля (O_7), среднее значение индекса $NDVI_{6-7}$ за июнь-июль.

Уравнение регрессии для лет с различными условиями увлажнения (2019-2023 гг.) имело следующий вид:

$$Y = 1395,2 - 4,19 \cdot W - 13,76 \cdot O_{(6)} - 9,80 \cdot O_{(7)} + 1148,59 \cdot NDVI_{6-7}$$

Уравнение регрессии показывает, что связь между индексами NDVI и выносом азота пшеницы имеет высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,65$), при условии учета условий увлажнения вегетационного периода, то есть факторов стартового запаса влаги и осадки июня-июля.

Выводы

1. В лесостепи Приобья агрономическая эффективность применения азотных удобрений в посевах яровой пшеницы в засушливых условиях была в 1,4-2,2 раза меньше, чем в умеренно увлажнённые годы.

2. Коэффициент использования азотных удобрений в годы с умеренным увлажнением составлял 70-90%, в засушливых условиях – 43-54%.

3. Физиологическая эффективность азотных удобрений (PE) в северной лесостепи Приобья составляла 25-40 кг зерна на 1 кг N, что примерно в 1,5-2 раза ниже оптимальных значений, принятых в мире. Эффективность использования удобрения (NUE) имела более высокие значения, чем индекс PE. Значения данных индексов снижались по мере увеличения дозы азотных удобрений.

4. Максимальные значения индекса NUE_{yield} (45%) наблюдались в варианте с внесением N30. При повышении дозы до N90 величина его уменьшались примерно в 1,5 раза.

5. Фактические значения NUE находились в интервале от 57 до 93%, что показывает высокую эффективность использования азотных удобрений яровой пшеницей при возделывании ее по интенсивной технологии.

Список литературы

1. Статистика ФАО. Данные по удобрениям по питательным веществам [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/data/Fertilizers> (дата обращения: 18.10.2024).
2. Mălinaş A., Vidican R., Rotar I., Mălinaş C., Moldovan C.M., Proorocu M. Current Status and Future Prospective for Nitrogen Use Efficiency in Wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Plants*. 2022. Т. 11. № 2. С. 217.
3. Башкин В. Н. Повышение эффективности использования азота. Сообщение 1. Агрохимические подходы // *Агрохимия*. 2022. № 7. С. 82–96.
4. Шеуджен А.Х. Географические закономерности действия удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Л.М. Онищенко, С.В. Есипенко. Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2017. – 95 с.
5. Хокесфорд М. Дж. Сортные различия в эффективности использования азота растениями пшеницы и существующий потенциал улучшения сортов // *Вестник Международного института питания растений*. 2014. № 3. URL: <http://eeca-ru.ipni.net/article/EECARU-2244> (дата обращения: 18.10.2024).
6. Congreves K.A., Otchere O., Ferland D., Farzadfar S., Williams S., Arcand M.M. Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 637108. doi: 10.3389/fpls.2021.637108.
7. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // *Агрохимия*. 1994. № 4. С. 95-97.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1985. Вып. 1, 2. 267 с.
9. Сычев В. Г., Музыкантов П. Д., Панкова Н. К. Методические указания по определению баланса питательных веществ, азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. – М.: РАСХН, 2000. 40 с.
10. Кирюшин В. И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 3. С. 19-25.
11. Liang G., Sun P., Waring B. G. Nitrogen agronomic efficiency under nitrogen fertilization does not change over time in the long term: Evidence from 477 global studies// *Soil and Tillage Research*. 2022. Vol. 223. P. 105468. doi: 10.1016/j.still.2022.105468.
12. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири. – М.: Изд-во Наука, 1981. 267 с.

13. Назарюк В. М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 257 с.

14. EU Nitrogen Expert Panel. Nitrogen Use Efficiency (NUE) – An Indicator for the Utilization of Nitrogen in Agriculture and Food Systems // Wageningen University. 2015. P. 1-47. URL: <https://www.eunep.com/wp-content/uploads/2023/12/N-ExpertPanel-NUE-Session-1.pdf> (дата обращения: 18.10.2024).

15. Васильев Э.В., Козлова Н.П. Эффективность использования азота – индикатор экологического воздействия на окружающую среду сельскохозяйственного предприятия // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2(115). С. 4-23.

EFFICIENCY OF USE OF NITROGEN FERTILIZERS BY SPRING WHEAT ON LEACHED CHERNOZEM IN THE FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK OB REGION

S. A. Kolbin, L. V. Garafutdinova, V. K. Kalichkin

Annotation. The article presents the results of assessing the efficiency of using nitrogen fertilizers by spring wheat in a stationary field experiment conducted on leached chernozem in the forest-steppe zone of the Novosibirsk Priobye. It was found that the agronomic efficiency of using nitrogen fertilizers in dry conditions was 1.4-2.2 times lower than in moderately moistened conditions. The coefficient of nitrogen use of fertilizers under favorable moisture was 70-90%, in dry conditions - 43-54%. The physiological efficiency of nitrogen fertilizers was 25-40 kg of grain per 1 kg of nitrogen. The studied indices of nitrogen use efficiency were maximum when applying N30 and decreased with an increase in the fertilizer dose. The actual NUE values of the wheat agrocenosis system were in the area of highly efficient nitrogen use and amounted to 57-93%.

Keywords: nitrogen fertilizers, spring wheat, leached chernozem, efficiency of nitrogen fertilizer use

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ КУКУРУЗЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

М.Е. Ламмас, А.С. Пономарева

ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

E-mail: lammas.me@mail.ru ,anik_ponomareva@mail.ru

Аннотация. Статья носит обзорный характер и посвящена освещению значимости культуры кукуруза в мире и в нашей стране. Кукуруза (*Zea mays*) — это одна из значимых сельскохозяйственных культур, которая в последние десятилетия завоевала популярность и широкое распространение в России. Её важность в аграрном секторе страны проявляется в нескольких аспектах, касающихся как продовольственной безопасности, так и экономического развития. Кукуруза является одной из важнейших продовольственных культур в мире и вместе с рисом и пшеницей обеспечивает не менее 30% калорий в пище для более чем 4,5 млрд человек в 94 развивающихся странах. В некоторых частях Африки и Мезоамерики кукуруза сама по себе обеспечивает более 20% калорий в пище. Кукуруза также является ключевым ингредиентом в кормах для животных и широко используется в промышленных продуктах, включая производство биотоплива. Растущий спрос и дефицит производства в мировых поставках кукурузы ухудшили волатильность рынка и способствовали росту мировых цен на кукурузу. Изменчивость и изменение климата, а также последующий рост абиотических и биотических стрессов еще больше усложняют проблему. Если не будут приняты согласованные и энергичные меры для решения этих проблем и ускорения роста урожайности, результатом станет голод и отсутствие продовольственной безопасности для миллионов бедных потребителей. Мы рассматриваем исследовательские проблемы обеспечения глобальной продовольственной безопасности в кукурузе, особенно в контексте изменения климата. В статье отражена важность кукурузы для продовольственной, питательной и жизнеобеспеченной безопасности страны. Необходимо обратить внимание на создание высокоурожайных, стрессоустойчивых и широко адаптированных сортов кукурузы посредством разумного сочетания традиционных и молекулярных подходов к селекции.

Ключевые слова: кукуруза, продовольственная безопасность

Введение. Сельское хозяйство — это важный сектор российской экономики, а кукуруза, как одна из ключевых культур, играет значительную роль в этом процессе. Выращивание кукурузы создает рабочие места в сельских районах, способствуя экономическому развитию и повышению уровня жизни. Экспорт кукурузы, как и ее переработанных продуктов, может принести существенные доходы в бюджет страны, что сделает экономику более устойчивой. [1,2]

Кукуруза является основным источником кормового сырья для животноводства. С развитием отрасли мясного и молочного производства в России, её значение возрастает. Кукурузные силос и зерно используются в кормлении скота, что позволяет повысить продуктивность животных и улучшить качество получаемых продуктов. В условиях растущего спроса на мясо и молоко особенно актуально развитие кормоохранительных технологий, в том числе на базе кукурузы. [1,2,3,6]

Кукуруза обладает высокой устойчивостью к различным климатическим условиям, что позволяет ей успешно расти в южных и умеренных регионах России. Благодаря своим агрономическим свойствам, она может эффективно использовать ресурсы почвы и минимизировать риски, связанные с изменением климата. В условиях глобального потепления кукуруза может стать важным компонентом адаптивного земледелия, способствуя экологической устойчивости. Кукуруза в России не только служит кормом для животных, но и используется в производстве продуктов питания. Она входит в состав муки, круп и других пищевых продуктов, что делает её актуальной для потребления населением. Продовольственная безопасность страны во многом зависит от внутреннего производства этих культур, которое, в свою очередь, связано с достижением стабильных урожаев кукурузы [4,5].

В последние годы в России активно развиваются научные исследования, связанные с селекцией кукурузы и внедрением современных агрономических технологий. Использование генетически улучшенных сортов, современных методов обработки почвы и ухода за растениями позволяет существенно повышать урожайность и качество кукурузы. Эти инновации способствуют устойчивому развитию сельского хозяйства и повышению его конкурентоспособности на международной арене [3,6].

Обсуждение. Ведущая роль в вопросе обеспечения продовольственной безопасности принадлежит аграрному сектору, который в условиях введения антироссийских экономических санкций был вынужден в короткие сроки мобилизоваться и начать ускоренными темпами производить те виды

сельскохозяйственной продукции, дефицит которых ранее восполнялся за счет импорта продовольствия из-за рубежа. Главным и важным для развития всех отраслей АПК является увеличение валового сбора зерна. Производство зерна является одной из важнейших основ растениеводства и всего сельскохозяйственного производства. Существует тесная взаимосвязь зернового производства с отдельными отраслями АПК и промышленностью. И главное стратегическое значение в производстве зерна и обеспечении продовольственной безопасности нашей страны имеет решение ряда важных вопросов - увеличение и повышение эффективности производства зерна, повышение валового сбора различных зерновых культур, а также расширение посевных площадей в сельском хозяйстве [5,7].

В таблице отражена статистика площадей, сборов, урожайности, импорта, экспорта, потребления в зависимости от цели использования (на продовольственные цели и на корм животным), запасов на начало и конец года по данным USDA. Самообеспеченность рассчитана АБ-Центр по данным USDA как отношение производства к потреблению и представлена в процентном выражении [1,2,3,7].

Рост потребления кукурузы на корм в АБ-Центр обуславливают динамичным развитием отрасли животноводства (в первую очередь - птицеводства и свиноводства) (рисунок 1). За последние десять лет производство свинины в России в убойном весе выросло на 76,8%, за двадцать лет - в 2,8 раза. По мясу птицы также отмечается существенный рост производства - на 46,1% и в 5,6 раза соответственно. В последнее время можно наблюдать как происходит частичное переориентирование этих отраслей с потребления пшеницы, овса, ржи, ячменя и некоторых других зерновых на потребление кукурузы.

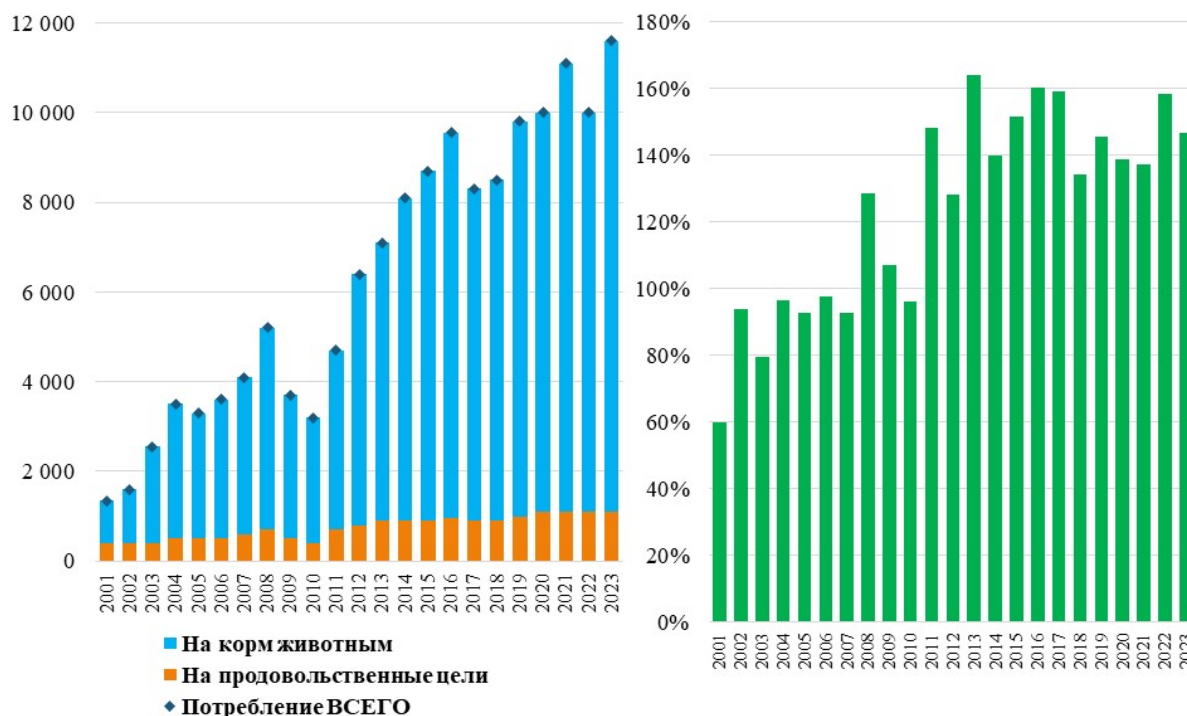
Кукуруза, будучи силосной культурой, имеет важное сельскохозяйственное значение виду того, что силос из початков молочной зрелости считается одним из самых лучших по питательности. В 100 кг силоса из початков молочной зрелости содержится до 50 кормовых единиц. Также силос можно использовать в качестве концентрированного корма. Кукуруза как зерновая культура также имеет важное продовольственное значение, она является одной из трех ведущих зерновых культур на Земле, наряду с пшеницей и рисом. Одна из самых древних злаковых культур на Земле имеет крайне широкое распространение, что связано с довольно неприхотливостью самого растения. В зернах кукурузы может содержаться до 70 % углеводов, 15 % белков, около 10 % жиров, а также минеральные соли, клетчатка и вода.

Баланс российского рынка кукурузы в 2001-2023 гг.

Период	Посевные площади, тыс. га	Урожайнос ть, ц/га	Валовые сборы, тыс. тонн	Импорт, тыс. тонн	Экспорт, тыс. тонн	Потребление, тыс. тонн			Запасы на начало периода, тыс. тонн	Запасы на конец периода, тыс. тонн	Самообесп еченность, %
						На продоволь ственные цели	На корм животным	ВСЕГО			
2001	450,0	18,0	808,0	534,0	0,0	400,0	950,0	1 350,0	98,0	90,0	59,9%
2002	530,0	28,3	1 499,0	99,0	12,0	400,0	1 200,0	1 600,0	90,0	76,0	93,7%
2003	640,0	31,7	2 031,0	496,0	0,0	400,0	2 150,0	2 550,0	76,0	53,0	79,6%
2004	840,0	40,2	3 373,0	226,0	44,0	500,0	3 000,0	3 500,0	53,0	108,0	96,4%
2005	800,0	38,3	3 060,0	306,0	53,0	500,0	2 800,0	3 300,0	108,0	121,0	92,7%
2006	970,0	36,2	3 510,0	108,0	77,0	500,0	3 100,0	3 600,0	121,0	62,0	97,5%
2007	1 300,0	29,2	3 798,0	341,0	49,0	600,0	3 500,0	4 100,0	62,0	52,0	92,6%
2008	1 730,0	38,6	6 682,0	51,0	1 331,0	700,0	4 500,0	5 200,0	52,0	254,0	128,5%
2009	1 120,0	35,4	3 963,0	32,0	427,0	500,0	3 200,0	3 700,0	254,0	122,0	107,1%
2010	1 020,0	30,2	3 075,0	112,0	37,0	400,0	2 800,0	3 200,0	122,0	72,0	96,1%
2011	1 604,0	43,4	6 962,0	43,0	2 027,0	700,0	4 000,0	4 700,0	72,0	350,0	148,1%
2012	1 937,0	42,4	8 213,0	51,0	1 917,0	800,0	5 600,0	6 400,0	350,0	297,0	128,3%
2013	2 322,0	50,1	11 635,0	52,0	4 194,0	900,0	6 200,0	7 100,0	297,0	690,0	163,9%
2014	2 596,0	43,6	11 325,0	46,0	3 213,0	900,0	7 200,0	8 100,0	690,0	748,0	139,8%
2015	2 671,0	49,3	13 168,0	44,0	4 691,0	900,0	7 800,0	8 700,0	748,0	569,0	151,4%
2016	2 777,0	55,1	15 305,0	53,0	5 598,0	950,0	8 600,0	9 550,0	569,0	779,0	160,3%
2017	2 694,0	49,0	13 201,0	47,0	5 532,0	900,0	7 400,0	8 300,0	779,0	195,0	159,0%
2018	2 373,0	48,1	11 415,0	37,0	2 770,0	900,0	7 600,0	8 500,0	195,0	377,0	134,3%
2019	2 504,0	57,0	14 275,0	50,0	4 072,0	1 000,0	8 800,0	9 800,0	377,0	830,0	145,7%
2020	2 731,0	50,8	13 872,0	38,0	3 989,0	1 100,0	8 900,0	10 000,0	830,0	751,0	138,7%
2021	2 900,0	52,5	15 225,0	50,0	4 000,0	1 100,0	10 000,0	11 100,0	751,0	926,0	137,2%
2022	2 640,0	60,0	15 832,0	50,0	5 900,0	1 100,0	8 900,0	10 000,0	926,0	908,0	158,3%
2023	2 575,0	66,0	17 000,0	50,0	5 300,0	1 100,0	10 500,0	11 600,0	908,0	1 058,0	146,6%

Источник: USDA (Foreign Agricultural Service), самообеспеченность - расчеты АБ-Центр

Потребление кукурузы и самообеспеченность в России по годам



Источник: USDA (Foreign Agricultural Service), самообеспеченность - расчеты АБ-Центр

Рисунок 1

Человеком кукуруза используется для получения крупы, муки. Но для хлеба кукурузная мука не годится, так как глютена мало, она может служить лишь добавкой к муке. Человек также консервирует кукурузу, для этого используется в основном сахарная кукуруза. Кукуруза-основная силосная культура в России. Силос для животных обладает хорошими диетическими свойствами. Тем не менее, содержание белка зачастую малое, а потому к силосу добавляют бобовые. Кукуруза-хороший предшественник в севооборотах. Кукуруза также хороша тем, что почти не имеет общих с другими зерновыми вредителей. В некоторых регионах кукуруза также хорошо используется в качестве парозанимающей культуры на зеленые корма. После кукурузы всегда остается много органического материала, способного поднимать плодородие почв [1].

Сейчас производство кукурузы по всему миру растет. Кукуруза выращивается почти во всех странах мира, что показывает важность этой зерновой культуры. Лидером по производству кукурузы является США. Также США-крупнейший экспортер кукурузы в мире. Доля США в производстве кукурузы составляет около трети. Объемы производства кукурузы в США также растут сравнительно быстрыми темпами. За три года

(с 2015 по 2018) производство кукурузы в США увеличилось на 13 %. По данным USDA, в ближайшие годы также будет наблюдаться рост производства этой сельскохозяйственной культуры в США. Тем не менее, USDA прогнозировала меньший темп производства кукурузы, в 2025 году ожидалось объемы в 383 млн тонн, тогда как в 2018 году уже эти данные были побиты [3].

Вторым государством-производителем кукурузы является Китай с долей в мировом производстве кукурузы около 20 %. За период 2010–2015 гг. Китай демонстрировал более высокий темп прироста производства кукурузы, но, однако, тенденция в 2015–2018 гг. сменилась, Китай стал сокращать производство кукурузы, что странно ввиду постоянно растущих потребностей населения КНР в зерновых культурах, в т. ч. и маиса [3]. Ведущими государствами по производству кукурузы являются также те страны, которые знают ее применение с давних времен: это Бразилия и Аргентина. Ввиду максимальных потребностей населения в ключевой зерновой культуре данного региона-кукурузе, понятен столь резкий темп прироста производства маиса. Бразилия также является лидером по производству биотоплива в мире, что также открывает большой рынок сбыта производителям кукурузы. Вместе с тем, стоит заметить, что существенную конкуренцию кукурузе при производстве биогаза составляет сахарный тростник.

Очевидно, что потенциал России реализован не полностью. Россия не входит даже в топ-10 стран по производству одной из важнейших сельскохозяйственных культур. Причин тому достаточно: в первую очередь, неподходящие климатические условия страны, ведь кукурузу в основном собирают, как видно из графика, на Кубани и в Черноземье, а для большинства регионов Сибири кукуруза возможна для выращивания в крайне скромных масштабах (в основном, кормовые сорта). Средняя урожайность кукурузы в России составляет 57 ц/га. Урожайность продемонстрировала скачок за год, ведь в 2018 урожайность составляла около 48 ц/га. Некоторые агропредприятия Кубани отчитываются о рекордных урожайностях в 120 центнеров с гектара земли! В целом, урожайность за последние 10 лет выросла на 60 %, что связано с интенсификацией производства кукурузы, с более активными агромероприятиями, направленными прежде всего на улучшение плодородности почвы. Ключевым фактором увеличения урожайности в России стоит считать инновации в АПК, а не природно-климатические

факторы. [2] Но надо сказать, что урожайность кукурузы не равна площадям, отводимым под эту сельскохозяйственную культуру. В Краснодарском крае, лидере по валовому сбору кукурузы, урожайность в 1.8 раз меньше, чем в регионах Центрально-Черноземного района: Курской и Брянской областей-лидеров по урожайности кукурузы в России. Также выделяется Калининградская область, где также зафиксированы аномальные значения в 84 ц/га, тогда как в самых плодородных почвах Курской и отчасти Брянской областей фиксируются значения в 85–87 ц/га [2]. Таким образом, производство кукурузы в целом является довольно распространенной отраслью растениеводства. Выращивание кукурузы допустимо для почти всех стран и регионов мира. Крайне различимы между собой показатели урожайности даже в пределах одной страны (есть Курская область с урожайностью 87 ц/га, а есть Ставропольский край с 42 ц/га). Но тем не менее, эта отрасль высоко развивающаяся, что подтверждается нарастанием объемов выращивания кукурузы, а также лидирующей позицией двух крупнейших стран мира-США и Китая. Кукуруза-важнейшая не только продовольственная, но и промышленная культура. Кукуруза имеет широкий спектр применения, что также подталкивает к выращиванию данной сельскохозяйственной культуры.

Прогноз площадей, урожайности и сборов кукурузы в России на 2024 год. В 2024 году, согласно оценкам USDA, отмечается некоторое сокращение размеров посевных площадей кукурузы на зерно в России. По сравнению со значениями, представленными по данным Росстата за 2023 год, они сократятся на 2,5%.

Корректировка в размере посевных площадей может быть обусловлена низким уровнем мировых цен на кукурузу, снижением рентабельности ее производства. Кроме того, в России, по состоянию на начало нового сельскохозяйственного года, по данным USDA, будет наблюдаться рекордно высокий уровень переходящих запасов кукурузы (новый сельскохозяйственный год по кукурузе на зерно в USDA отсчитывают начиная с октября). Балансы рынка зерна по виду, масличных, растительных масел, жмыхов и шротов в 2001-2023 гг., включая прогнозные значения на 2024 год представлены в материале: Баланс российского рынка зерновых, масличных, растительных масел, жмыхов и шротов масличных культур в 2001-2023 гг., прогноз на 2024 год (ab-centre.ru)

В то же время сокращение площадей не выглядит значительным, так как отмечается высокий спрос на данную культуру как на внутреннем рынке России, так и на мировых рынках.

Валовые сборы снизятся более ощутимо - на 3,8% до 16 000 тыс. тонн. Тем не менее это будет второй по величине показатель (после 2023 года) за всю историю возделывания данной культуры в стране.

Снижение сборов произойдет как в условиях сокращения площадей, так и с ожидаемым снижением урожайности - до 61,5 ц/га против 69,3 ц/га годом ранее (снижение на 11,2%). Урожайность в 61,5 ц/га - второй по величине показатель за весь рассматриваемый в данном материале период. Это также существенно выше среднегодовых за прошедшие 5 лет значений.

Примечание. Снижение сборов всего на 3,8% при сокращении площадей на 2,5% и падении урожайности на 11,2% выглядит не вполне пропорционально. Это связано с тем, что прогнозные значения USDA за 2024 год сравниваются не с данными этого же ведомства за 2023 год, а с фактическими данными Росстата за 2023 год, которые, по нашим оценкам, выглядят более достоверными.

Ниже рассмотрим вопросы рентабельности производства кукурузы, технологий ее выращивания в условиях снижения затрат, а также предметно остановимся на динамике площадей, сборов и урожайности, в том числе по регионам России, на прогнозных значениях площадей, сборов и урожайности в целом по стране.

Рентабельность производства кукурузы и повышении эффективности ее возделывания. По официальным данным Росстата на 2021 год, рентабельность возделывания кукурузы в стране достигала 34,6%. Статистика за 2022-2023 гг. данным ведомством по кукурузе не публикуется. В условиях ощутимого снижения цен на кукурузу и существенного роста затрат можно предположить, что рентабельность в 2023 году также заметно снизилась [2,3].

С учетом удешевления стоимости товарной продукции кукурузы и снижения рентабельности производства, фермеры постоянно находятся в поиске снижения затрат на всех этапах производства. Одной из самых затратных статей расхода является посевная кампания, все больше хозяйств останавливают свой выбор на минимальной подготовке почвы, урезают севооборот, ограничивают использование удобрений, что приводит к снижению потенциала урожайности и общей деградации технологии [1,2,3].

Не является секретом и тот факт, что природа периодически преподносит аграриям неприятные погодные сюрпризы. Яркий пример погодных экстримов - возвратные холода, пик которых, как правило, приходится на май, когда культуры находятся в стадии активной вегетации. Растения подвергаются сильному холодовому стрессу, что зачастую влечет за собой их гибель и пересев. В текущем году заморозки привели к объявлению режима ЧС в Воронежской, Волгоградской, Липецкой и Тамбовской областях [3].

Селекционеры создают гибриды кукурузы с хорошей адаптацией к пониженным температурам, обладающие энергичным стартом и быстрым развитием даже в условиях раннего сева. Кроме улучшения холодостойкости, селекция гибридов кукурузы, развивается в направлении засухоустойчивости, а также получения высоких урожаев не только в условиях интенсификации производства, но и хороших результатов при использовании достаточно экстенсивных технологий [3,4,5,6].

Посевные площади кукурузы на зерно в России. В 2023 году посевные площади кукурузы на зерно в России, по данным Росстата, находились на уровне 2 667,2 тыс. га, что на 6,5% (на 184,7 тыс. га) меньше, чем в 2022 году. За 5 лет они выросли на 8,8% (на 215,2 тыс. га), за 10 лет - на 9,3% (на 226,0 тыс. га), к 2001 году - в 4,0 раза (на 2 002,9 тыс. га).

Согласно оценкам USDA, посевные площади кукурузы на зерно в 2024 году могут составить 2 600,0 тыс. га, что на 2,5% (на 67,2 тыс. га) меньше, чем в 2023 году (рис 2). Для справки, ниже представлен рейтинг ТОП-10 регионов РФ по посевным площадям кукурузы на зерно за 2023 год:

1. Краснодарский край (посевные площади - 413,8 тыс. га, доля в общероссийской площади - 15,5%). За год размеры площадей сократились на 4,5% (на 19,6 тыс. га).
2. Воронежская область (219,7 тыс. га, 8,2%).
3. Курская область (179,4 тыс. га, 6,7%).
4. Тамбовская область (154,2 тыс. га, 5,8%).
5. Саратовская область (153,8 тыс. га, 5,8%).
6. Ставропольский край (136,4 тыс. га, 5,1%).
7. Кабардино-Балкарская Республика (133,2 тыс. га, 5,0%).
8. Брянская область (127,8 тыс. га, 4,8%).
9. Белгородская область (125,5 тыс. га, 4,7%).
10. Ростовская область (118,3 тыс. га, 4,4%).



Рисунок 2.

Посевные площади кукурузы на зерно в других регионах составили 905,1 тыс. га (33,9% от общих размеров площадей) (рисунок 3).

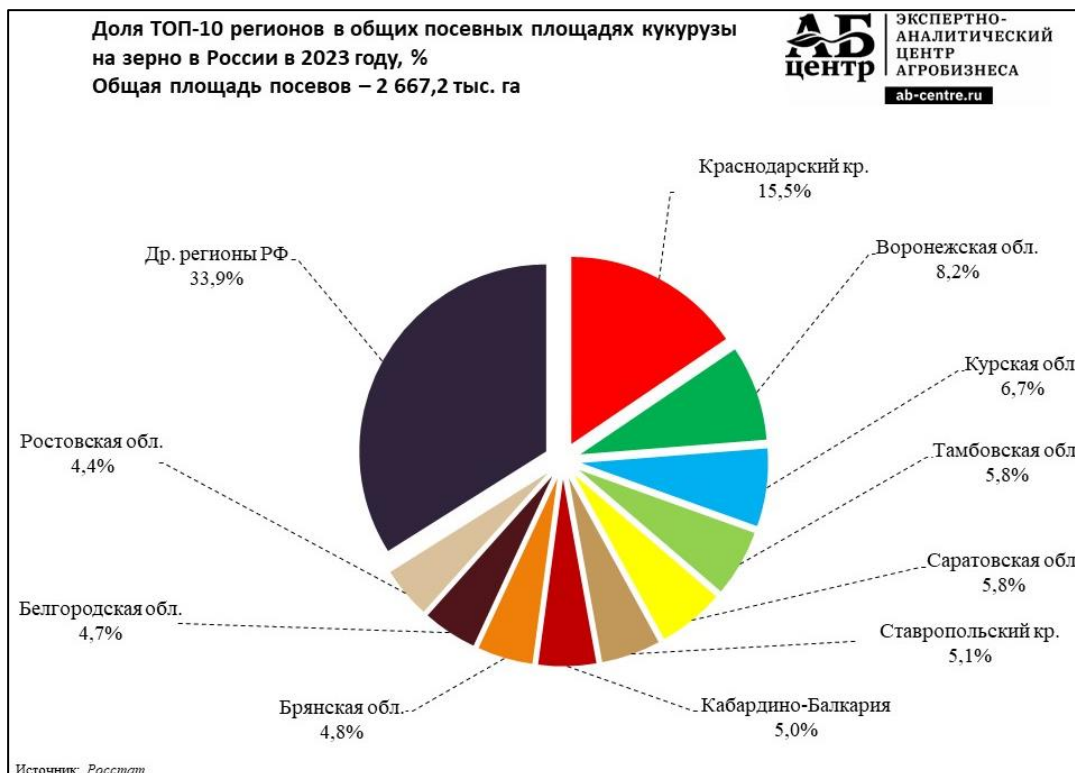


Рисунок 3.

Валовые сборы кукурузы на зерно в России. В 2023 году, по данным Росстата, валовые сборы кукурузы на зерно в России составили 16 623,8 тыс. тонн, что на 5,3% (на 836,7 тыс. тонн) больше, чем в 2022 году. За 5 лет сборы выросли на 45,6% (на 5 204,8 тыс. тонн), за 10 лет - на 43,2% (на 5 017,5 тыс. тонн), к 2001 году - в 20,6 раза (на 15 815,5 тыс. тонн).

Согласно оценкам USDA, валовые сборы кукурузы на зерно в 2024 году могут составить 16 000,0 тыс. тонн, что на 3,8% (на 623,8 тыс. тонн) меньше, чем в 2023 году (рисунок 4).

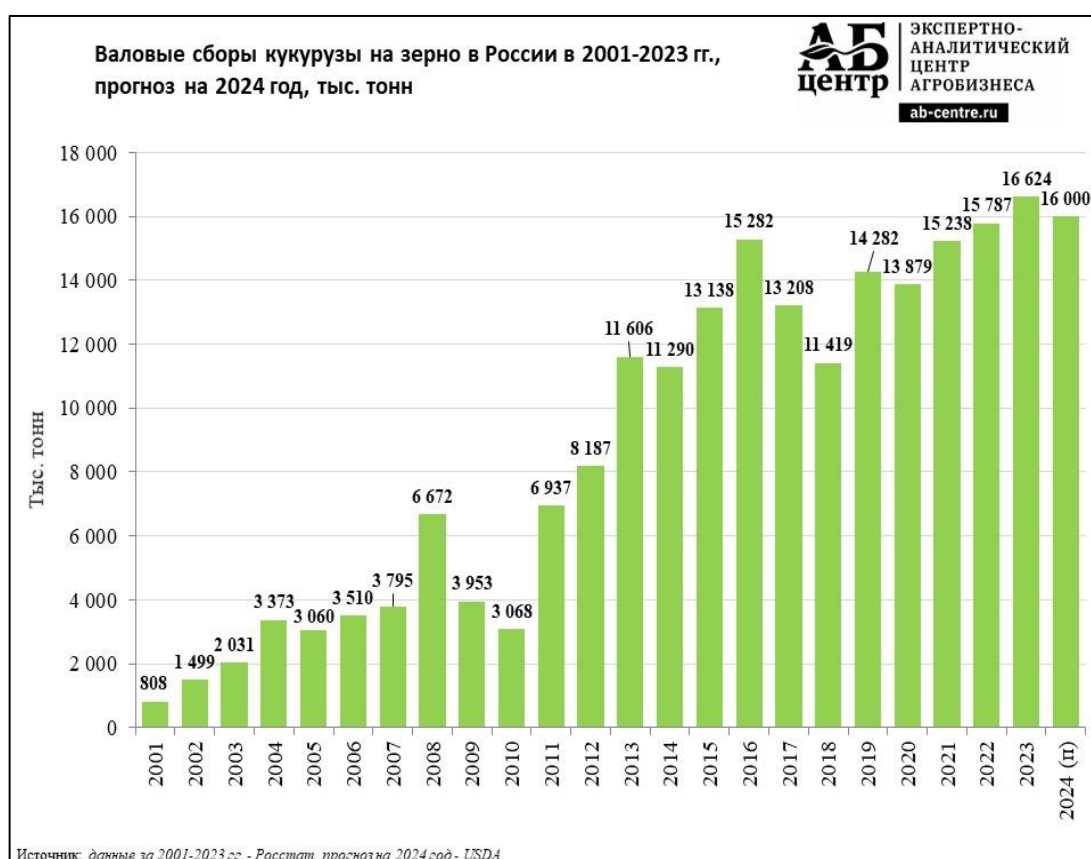


Рисунок 4.

Для справки, ниже представлен рейтинг ТОП-10 регионов РФ по валовым сборам кукурузы на зерно за 2023 год:

1. Краснодарский край (валовые сборы - 2 458,2 тыс. тонн, доля в общих сборах - 14,8%). За год сборы снизились на 9,0% (на 243,5 тыс. тонн).
2. Курская область (1 517,0 тыс. тонн, 9,1%).
3. Воронежская область (1 205,6 тыс. тонн, 7,3%).
4. Тамбовская область (1 145,1 тыс. тонн, 6,9%).
5. Брянская область (1 137,9 тыс. тонн, 6,8%).

6. Кабардино-Балкарская Республика (1 047,9 тыс. тонн, 6,3%).
7. Белгородская область (956,0 тыс. тонн, 5,8%).
8. Ставропольский край (866,5 тыс. тонн, 5,2%).
9. Саратовская область (730,1 тыс. тонн, 4,4%).
10. Республика Северная Осетия-Алания (712,6 тыс. тонн, 4,3%).

Валовые сборы в других регионах составили 4 847,1 тыс. тонн (29,2% в общем объеме сборов) (рисунок 5).

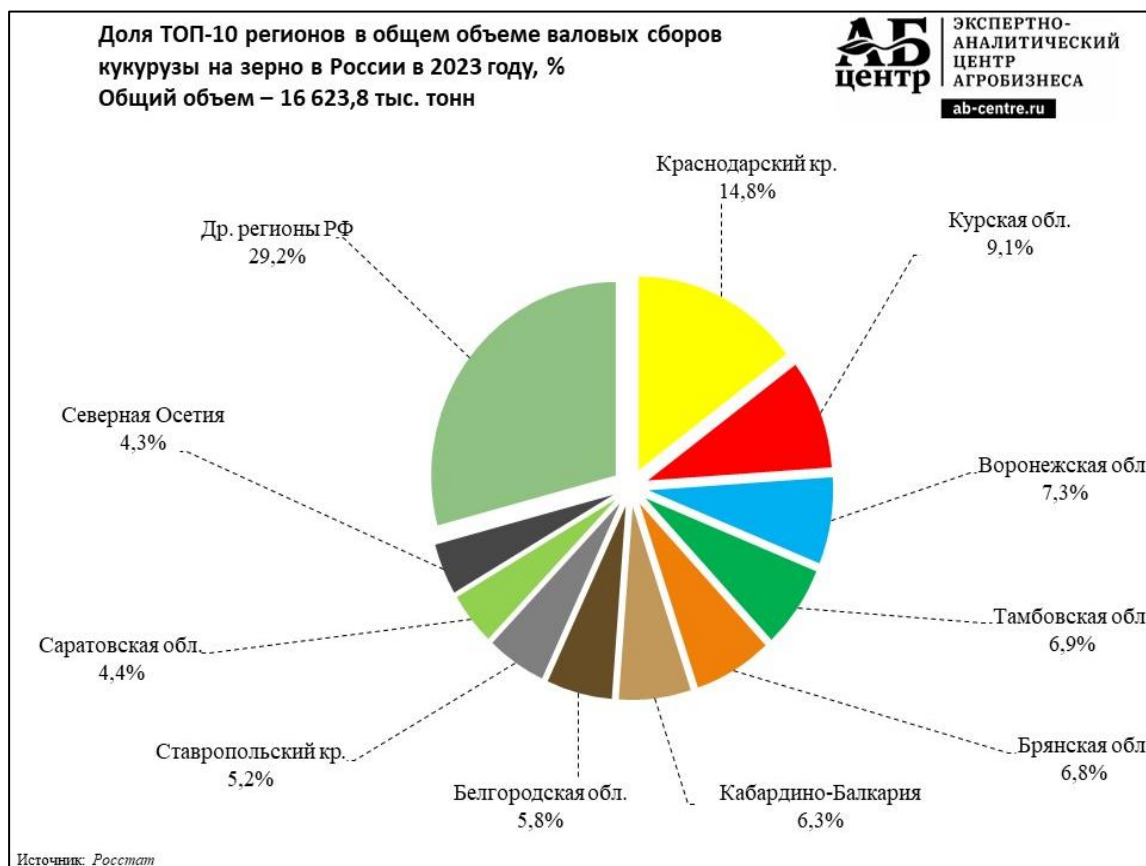


Рисунок 5.

Урожайность кукурузы на зерно в России. Урожайность кукурузы на зерно в 2023 году в России, по данным Росстата, составила 69,3 ц/га, что на 15,6% (на 9,4 ц/га) выше, чем в 2022 году. За 5 лет она выросла на 44,1% (на 21,2 ц/га), за 10 лет - на 38,3% (на 19,2 ц/га). По отношению к 2001 году, показатели увеличились на 3,8% (на 51,3 ц/га).

Согласно оценкам USDA, урожайность кукурузы на зерно в 2024 году может составить 61,5 ц/га, что на 11,2% (на 7,8 ц/га) меньше, чем в 2023 году (рисунок 6).

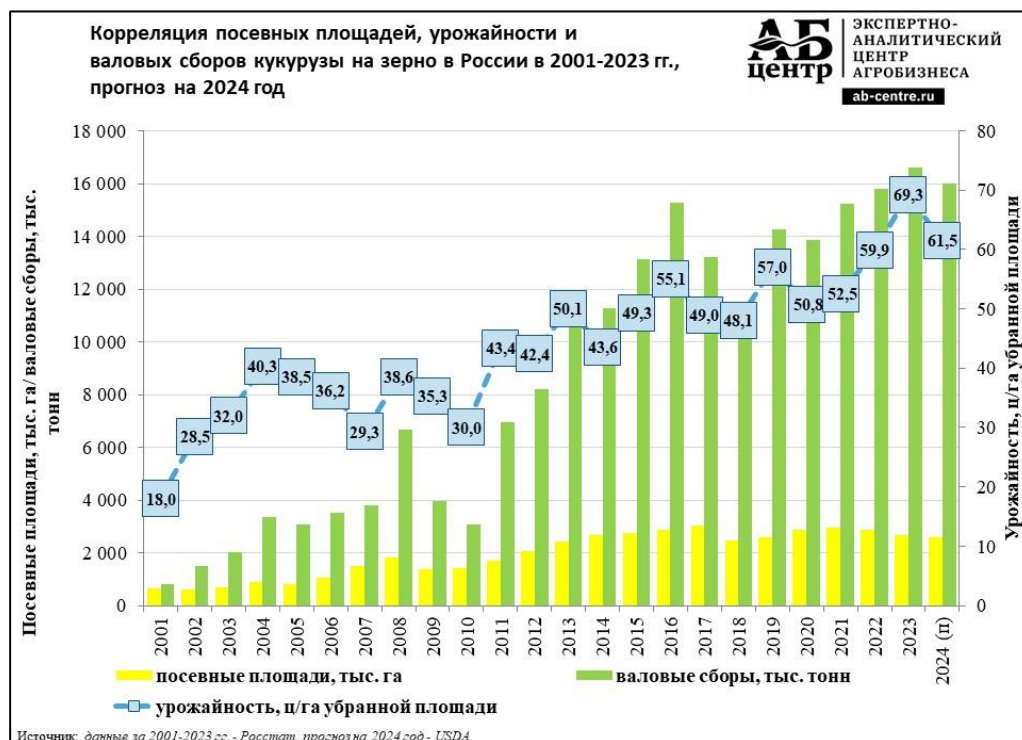


Рисунок 6.

Для справки, выше представлена статистика урожайности кукурузы на зерно по регионам России (ключевые регионы-производители) в 2022-2023 гг. (рисунок 7)

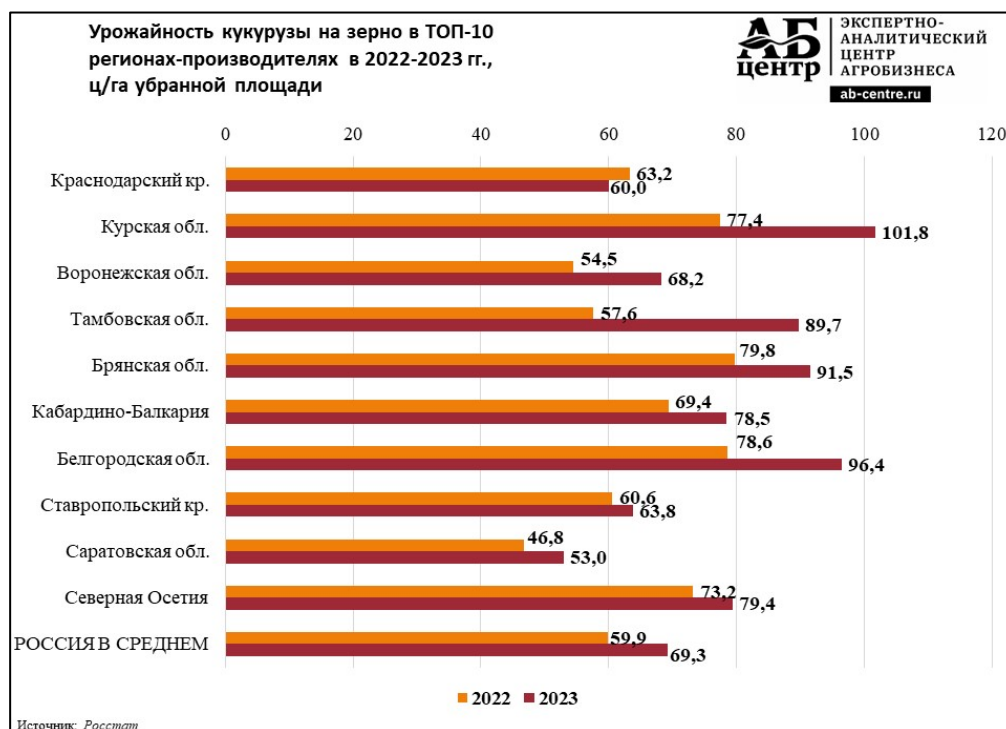


Рисунок 7.

Наиболее высокая урожайность среди ключевых регионов-производителей отмечалась в Курской области - 101,8 ц/га и в Белгородской области - 96,4 ц/га. Наиболее низкая урожайность наблюдалась в Саратовской области - 53,0 ц/га и в Ставропольском крае - 63,8 ц/га. [1,2,3]

Выводы. Будущий рост производительности для удовлетворения растущего спроса на кукурузу потребует комплексных подходов, которые не только помогут поддерживать текущую урожайность, но и существенно повысят производительность сельскохозяйственных культур в условиях изменчивого и меняющегося климата. В долгосрочной перспективе необходимы крупные государственные и частные инвестиции и устойчивая политическая приверженность для обеспечения сильной поддержки селекции растений и инноваций в системах поставок семян и ресурсов. Это расширит доступ фермеров к улучшенным семенам и дополнительным ресурсам и расширит их использование, а также улучшит методы управления посевами, которые защитят почвы и справятся с непредсказуемыми климатическими условиями.

Эффективное реагирование на угрозы изменения климата для производства кукурузы и продовольственной безопасности, а также управление скачками цен потребуют постоянных и увеличенных инвестиций для решения многочисленных проблем (например, засуха плюс жара, болезни и повреждение насекомыми), а также масштабирование/расширение некоторых проверенных технологий и институциональных инноваций. Существует значительный потенциал для увеличения производства во многих регионах, где фермеры не внедрили доступные и прибыльные технологии, в основном из-за ограничений в доступе к информации, семенам и рынкам ресурсов, а также из-за недостаточно развитых цепочек создания стоимости для сбыта излишков продукции. Инвестиции в разработку будущих технологий должны дополняться стратегиями и твердыми обязательствами правительств и партнеров развивающихся стран по масштабированию этих инноваций. Затем они должны быть предоставлены фермерам и мелким производителям посредством усиленной поддержки расширения, увеличения ресурсов и развития цепочек создания стоимости с целью снижения транзакционных издержек и устранения рыночных препятствий, которые в настоящее время ограничивают доступ фермеров к улучшенным технологиям и услугам.

Список литературы

1. Серов, К. Н. Современное состояние производства кукурузы / К. Н. Серов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 22 (364). — С. 78-79. — URL: <https://moluch.ru/archive/364/81506/> (дата обращения: 20.11.2024).
2. Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. Растениеводство; Под ред. ПП Вавилова. 5-е изд., перераб. и доп. — 1986. <https://ab-centre.ru/page/proizvodstvo-kukuruzu-v-mire-strany-proizvoditeli-kukuruzu> www.fao.org
3. Экспертно-аналитический центр агробизнеса "АБ-Центр" www.ab-centre.ru. При частичном или полном использовании материалов активная гиперссылка на данную статью обязательна.
4. Bagrintseva V. N., Kuznetsova S. V., Guba E. I. Dependence of corn yield on weeds // Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. No. 2(106). pp. 82-91.
5. Evaluation of new promising corn hybrids in breeding nurseries under irrigation in the steppe zone of Kabardino-Balkaria / B. R. Shomakhov, F. H. Bzhinaev, A. H. Gyaurgiev, O. H. Mataeva // Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. No. 5(109). pp. 149-157.
6. Gubin, S. V. The effect of plant density on the yield of corn hybrids of various ripeness groups / S. V. Gubin, A.M. Loginova, G. V. Getz // Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2022. No. 3(47). pp. 24-32.
7. Semina, S. A., Gavryushina I. V., Paliychuk A. S. Yield and biochemical status of corn depending on the mineral nutrition and the plant population density // Volga Region Farmland. 2022. No. 2(13). P. 1002.

THE ROLE AND IMPORTANCE OF CORN IN ENSURING FOOD SECURITY OF THE THE RUSSIAN FEDERATION

Lammas M.E., A.S. Ponomareva

Abstract. This article provides an overview of the importance of maize in the world and in our country. Maize (*Zea mays*) is one of the important agricultural crops that has gained popularity and widespread use in Russia in recent decades. Its importance in the country's agricultural sector is manifested in several aspects related to both food security and economic development. Maize is one of the most important food crops in the world and, together with rice and wheat, provides at

least 30% of the calories in food for more than 4.5 billion people in 94 developing countries. In some parts of Africa and Mesoamerica, maize itself provides more than 20% of the calories in food. Maize is also a key ingredient in animal feed and is widely used in industrial products, including biofuel production. Growing demand and production shortages in global maize supplies have worsened market volatility and contributed to the rise in world maize prices. Climate variability and change, as well as the subsequent increase in abiotic and biotic stresses, further complicate the issue. Unless concerted and vigorous action is taken to address these challenges and accelerate yield growth, the result will be hunger and food insecurity for millions of poor consumers. We review the research challenges of global food security in maize, especially in the context of climate change. The article summarizes the importance of maize for food, nutrition and livelihood security. It calls for attention to the development of high-yielding, stress-tolerant and widely adapted maize varieties through a judicious combination of conventional and molecular breeding approaches.

Keywords: corn, food security

УДК 631.8: 631.45: 633.63: 631.582

**АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДОБРЕНИЙ В
ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОМ СЕВООБОРОТЕ ЦЧР**

О. А. Минакова

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной
свеклы им. А.Л. Мазлумова»*

olalmin2@rambler.ru

Аннотация. Длительное сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного в 9-польном зерносвекловичном севообороте без применения удобрений способствовало значительному ухудшению ряда показателей почвенного плодородия (снижению содержания гумуса, NPK, ухудшению физико-химических свойств) относительно целинного участка. Длительное внесение удобрений (насыщенность 1 га пашни $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза) способствовало стабилизации гумусового состояния почвы, обогащению подвижными формами P_2O_5 и K_2O , но некоторому ухудшению кислотно-основных свойств по сравнению с целиной. Наибольшее изменение плодородия отмечалось в слое 0-20 см, наименьшее – в слое 40-60 см.

Ключевые слова: удобрения, выщелоченный чернозем, почва, удобрения, гумус, элементы питания, физико-химические свойства.

Применение удобрений и химических мелиорантов – главный фактор повышения урожайности сельскохозяйственных культур наряду с сортом, средствами защиты растений и способами обработки почвы. Без повышения плодородия почв и внесения удобрений нельзя добиться получения намеченных урожаев [1].

Наиболее полную и объективную информацию о влиянии систематического применения удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур, почвенное плодородие и экологическое воздействие на окружающую среду можно получить только в длительных полевых опытах по изучению систем применения удобрений в севооборотах [2, 3].

В мировой практике научных исследований длительные стационарные опыты являются национальным достоянием страны, в которой они заложены и проводятся [4].

Стационарные опыты объединены в Геосеть, в них изучается широкий спектр вопросов, в том числе функционирование агроэкосистем при длительном сельскохозяйственном использовании; эффективность систем удобрений на различных типах почв в условиях изменяющегося климата; изучение длительной временной динамики гумуса, содержания NPK и других показателей почвенного плодородия; фитосанитарное состояние посевов; реакции новых сортов и гибридов; взаимодействие между почвой, растениями и удобрениями; проверка моделей эффективности ведения систем земледелия [5].

Исследования в стационарных опытах позволяют выявить значительных изменения почвенного плодородия и неразрывно связанное с ним повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и пашни в целом, в том числе и при последствии [6, 7].

Особенно значительные изменения плодородия почвы и продуктивности культур отмечаются в севооборотах с сахарной свеклой вследствие использования высоких доз удобрений [8, 9, 10].

Таким образом, изучение динамики почвенного плодородия при длительном использовании удобрений в севооборотах с возделыванием сахарной свеклы, а также сравнение с целинным аналогом почвы, является актуальной задачей в земледелии ЦЧР.

Исследования проводились в 2021-2024 гг. в стационарном опыте по использованию удобрений в 9-польном зерносвекловичном севообороте, заложенном на черноземе выщелоченном в 1936 году, который продолжается по настоящее время. Опыт расположен в лесостепной зоне ЦЧР (север Воронежской области). Минеральные удобрения вносятся 2 раза за ротацию под основную обработку сахарной свеклы, навоз – 1 раз, в черном пару.

Почва целинного участка относилась к среднегумусной (содержание гумуса выше 6,0%) (таблица 1), обеспеченность подвижным P_2O_5 – повышенная, K_2O – очень высокая, pH_{KCl} – близкая к нейтральной, отмечалась выраженная потенциальная кислотность, степень насыщенности основаниями – высокая. Большинство показателей снижалось с глубиной, кроме соотношения C:N, которое возрастало, что свидетельствует об обеднении гумуса азотом.

Таблица 1 – Плодородие чернозема выщелоченного на целине

Слой, см	Гумус	N общ.	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{KCl}	Нг	ЕКО	V
	%			мг/100 г почвы			ммоль(экв)/100 г почвы		
0-20	6,07	0,310	11,4	14,9	21,3	5,9	2,91	36,5	93
20-40	5,21	0,215	14,1	11,2	17,6	5,7	3,18	32,8	90
40-60	4,52	0,154	17,0	8,26	10,3	5,8	2,78	28,4	88

Изменение гумусового состояния выщелоченного чернозема в результате сельскохозяйственного использования без применения удобрений выражалось в снижении показателя на 1,07 % в слое 0-20 см (таблица 2), на 0,38 – в слое 20-40 см, на 0,48% – в слое 40-60 см, а при использовании удобрений – на 0,45-1,37, 0,38-0,49 и 0,09-0,48 % соответственно. Из удобренных вариантов минимальное снижение отмечалось при использовании системы $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза, максимальное – $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза. В целинном аналоге почве снижение показателя от 0-20 до 40-60 см было наибольшим, составив 1,55%, тогда как в вариантах с использованием удобрений оно было значительно ниже, 0,63-1,06% возрастая с увеличением удобренности; в контроле оно составило 0,96%. Данная динамика свидетельствует о более значительном уменьшении содержания гумуса в слое 0-20 см удобренных вариантов относительно целины, где происходит интенсивное накопление органического вещества

вследствие поступления растительных остатков разнотравно-злаковой растительности, тогда как при сельскохозяйственном использовании большая часть растительной продукции отчуждается.

Таблица 2 – Содержание общего гумуса и азота по вариантам опыта, %

Вариант	Слой, см	Гумус	Азот	С : N
N ₀ P ₀ K ₀	0-20	5,00	0,238	12,2
	20-40	4,83	0,188	14,9
	40-60	4,00	0,140	16,6
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 2,8 т/га навоза	0-20	4,70	0,263	10,4
	20-40	4,87	0,195	14,5
	40-60	4,07	0,141	16,7
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 2,8 т/га навоза	0-20	5,02	0,259	11,2
	20-40	5,17	0,202	14,8
	40-60	4,51	0,148	17,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 2,8 т/га навоза	0-20	5,20	0,275	11,0
	20-40	5,65	0,211	15,5
	40-60	4,47	0,151	17,2
N _{26,6} P _{26,6} K _{26,6} + 5,6 т/га навоза	0-20	5,62	0,290	11,2
	20-40	5,70	0,220	15,0
	40-60	4,61	0,155	17,3
N _{42,2} P _{42,2} K _{42,2}	0-20	5,17	0,280	10,7
	20-40	5,13	0,219	13,6
	40-60	4,11	0,142	16,8
НСР ₀₅	0-20	0,15	0,011	-
	20-40	0,22	0,008	-
	40-60	0,10	-	-

Содержание общего азота в слое 0-20 см вариантов с удобрениями относительно целинного участка снизилось на 0,20-0,51% в слое 0-20 см, на 0,04-0,20% – в слое 20-40 см и на 0,03-0,13% – в слое 40-60 см, что свидетельствует об ослаблении влияния удобрённости с глубиной. Высокие дозы удобрений способствовали стабилизации данного показателя, т.е. наименьшее снижение было отмечено именно в этих вариантах. Система N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6 т/га навоза и, в меньшей степени, N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза и N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2} способствовали наименьшему снижению содержания общего азота. Максимальное уменьшение показателя относительно целинного

участка было отмечено в варианте без удобрений, в слое 0-20 см на 0,72%, в слое 20-40 см – на 0,27%, в слое 40-60 см – на 0,11%, что также свидетельствует о наибольшем влиянии возделывания культур на слой 0-20 см, но в контроле вследствие отсутствия поступления органики негативные изменения были выражены в большей степени по сравнению с вариантами с использованием удобрений. Сельскохозяйственное использование пашни в сочетании с применением удобрений способствовало снижению содержания общего азота в слое 0-60 см по сравнению с целиной на 5,31-10,6 отн. %, без использования – на 15,9%, тогда как относительно контроля удобренные варианты имели содержание этой формы азота на 6,32-16,8% больше, что свидетельствует о некоторой компенсации потерь. Вариант $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза обеспечивал содержание элемента в слое 0-60 см практически на уровне целины.

Оценка соотношения C:N в вариантах опыта относительно целины показала, что в варианте без удобрений происходило достоверное обеднение гумуса азотом в слое 0-20 см, тогда как в вариантах с использованием удобрений оно оставалось на уровне целинной почвы, либо происходило небольшое обогащение. В слое 20-40 см как в контроле, так и в большинстве вариантов с удобрениями (кроме $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$) было отмечено снижение обогащенности гумуса азотом, так как показатель повышался. В слое 40-60 см в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза отмечена тенденция к снижению C:N, а в варианте $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза и в контроле – к повышению.

Длительное использование выщелоченного чернозема без применения удобрений снижало содержание P_2O_5 по отношению к целине следующим образом: в слое 0-20 см на 59,3% (таблица 3), в слое 20-40 см – на 46,6%, в слое 40-60 см – на 39,9%. В вариантах $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза с удобрениями в верхнем слое снижение составило 18,9-40,0%, тогда как в других вариантах величина показателя была на уровне целины. Похожая динамика отмечалась и в слое 20-40 см, где в вариантах $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза и $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза было отмечено снижение на 31,4 и 5,6% соответственно, тогда как в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ было отмечено повышение на 6,0-25,0%. В слое 40-60 см во всех вариантах кроме $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза показатель увеличивался на 6,54-50,1%. Наибольшее обогащение подвижным P_2O_5 слоя 0-60 см отмечалось в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$; действие удобрений

проявилось в увеличении показателя на 45,6-136 % относительно контроля. Варианты $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ также способствовали обогащению этим элементом относительно контроля на 16,8 и 15,1%, что свидетельствует о том, что P_2O_5 минеральных удобрений полностью компенсировал и даже несколько восполнял затраты элемента на создание урожая.

Таблица 3 – Содержание в почве опыта P_2O_5 и K_2O , мг/100 г почвы

Вариант	Слой, см	P_2O_5	K_2O
$N_0P_0K_0$	0-20	6,07	17,5
	20-40	6,00	16,9
	40-60	4,96	14,0
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	0-20	8,95	19,5
	20-40	7,70	17,8
	40-60	8,15	16,0
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	0-20	12,1	19,8
	20-40	11,9	18,7
	40-60	10,4	15,5
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	0-20	13,8	19,2
	20-40	14,0	18,6
	40-60	12,4	15,8
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза	0-20	10,4	23,9
	20-40	10,6	20,8
	40-60	8,80	16,6
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	0-20	15,3	19,4
	20-40	13,7	20,6
	40-60	10,7	15,2
HCP_{05}	0-20	0,50	1,7
	20-40	0,45	0,8
	40-60	0,40	0,5

Длительное сельскохозяйственное использование выщелоченного чернозема без применения удобрений снижало содержание K_2O в слое 0-20 см на 17,8% относительно целины, в слое 20-40 см – на 9,2% и в слое 40-60 см – на 11,4%. В вариантах с удобрениями в верхнем слое снижение было небольшим и составило 7,0-9,9%, а в варианте $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза было отмечено повышение показателя на 12,2%. В слое 20-40 см в вариантах

$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ выявлено повышение на 11,8 и 10,8% соответственно, тогда как в вариантах с меньшей насыщенностью показатель оставался на уровне целины. В слое 40-60 см во всех вариантах, кроме $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и контроля, показатель был примерно равен его содержанию в почве целинного участка, тогда как в контроле снижение было значительным, составив 11,4%, а при $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза – было отмечено повышение на 5,1%. Наибольшее обогащение подвижным K_2O слоя 0-60 см отмечалось в варианте $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (+9,67% к целине); действие удобрений проявилось в увеличении показателя на 10,6-26,7 % относительно контроля. Вариант $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза в наибольшей степени обогащал K_2O относительно контроля, что свидетельствует о том, что при повышенном внесении органики K_2O удобрений полностью компенсировал и даже несколько восполнял затраты элемента на создание урожая.

В слое 0-60 см снижение pH_{KCl} в почве вариантов опыта (таблица 4) относительно целины составило 0,2-0,5 ед., в наибольшей степени — в варианте $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$, эта же закономерность была отмечена и при сравнении удобренных вариантов с неудобренным контролем, но достоверно показатель снижался только при $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (на 0,3 ед.).

Таблица 4 – Физико-химические свойства почвы опытного участка

Вариант	Слой, см	рН _{KCl}	Нг	Сумма обменных оснований	ЕКО	V
						%
N ₀ P ₀ K ₀	0-20	5,6	4,02	27,4	31,4	91
	20-40	5,7	3,32	27,2	30,5	91
	40-60	5,6	4,05	25,7	29,8	92
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 2,8 т/Га навоза	0-20	5,5	3,90	25,2	29,1	89
	20-40	5,6	4,08	24,8	28,9	86
	40-60	5,6	3,56	24,7	28,3	88
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 2,8 т/Га навоза	0-20	5,5	3,84	26,0	29,8	89
	20-40	5,4	4,30	25,7	30,0	88
	40-60	5,6	3,60	25,7	29,3	87
N30P30K30 + 2,8 т/Га навоза	0-20	5,5	4,33	26,9	31,2	89
	20-40	5,5	4,06	26,7	30,8	89
	40-60	5,4	4,47	25,8	30,3	89

Продолжение таблицы 4.

N _{26,6} P _{26,6} K _{26,6} + 5,6 т/га навоза	0-20	5,7	3,59	29,9	33,5	89
	20-40	5,3	3,24	28,1	31,3	90
	40-60	5,9	3,26	26,6	29,9	89
N _{42,2} P _{42,2} K _{42,2}	0-20	5,2	4,95	25,9	30,9	84
	20-40	5,3	5,17	25,1	30,3	83
	40-60	5,3	4,55	24,7	29,3	84
HCP ₀₅	0-20	-	0,20	1,1		1
	20-40	0,2	0,20	0,7		1
	40-60	0,1	0,15	-		2

В слое 0-20 см было отмечено наибольшее снижение показателя относительно целины — на 0,2-0,7 ед., в слоях 20-40 и 40-60 см — в меньшей степени и примерно одинаково, на 0,1-0,4 и 0,2-0,5 ед. соответственно.

Гидролитическая кислотность в вариантах с удобрениями повысилась относительно неудобренного контроля на 0,31-0,93, 0,74-1,86 и 0,42-0,50 ммоль(экв)/100 г почвы послойно, а относительно целины — на 0,68-2,04, 0,06-1,99 и 0,79-1,77 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно. В варианте N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6 т/га навоза отмечалось подщелачивание по всем трем слоям (по сравнению с N₀P₀K₀), в вариантах N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза и N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза верхний слой не был практически подвержен подкислению. Наибольшие величины Нг по всей глубине отмечались в варианте N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}, наиболее оптимальные показатели, свидетельствующие о наименьшей потенциальной кислотности — N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6 т/га навоза. В среднем по слою 0-60 см отмечалось повышение Нг относительно целины на 13,5-65,2%, в наибольшей степени — при N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2} и N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза; по отношению к контролю в этих же вариантах показатель повышался на 12,9 и 28,7% соответственно, в N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6 т/га навоза — снижался на 11,6%.

ЕКО почвы вариантов с удобрениями уменьшалась на 3,0-7,4 ммоль(экв)/100 г почвы в слое 0-20 см, на 1,5-3,9 ммоль(экв)/100 г почвы — в слое 20-40 см и практически не было подвержено изменению в слое 40-60 см; тогда как относительно неудобренного варианта изменения составили 0,5-2,3, 0,2-1,6 и 0,5-1,5 ммоль(экв)/100 г почвы, при том, что в варианте N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6 т/га навоза было отмечено повышение до 2,1 ммоль(экв)/100 г почвы. В слое 0-60 см снижение показателя относительно целины составило 1,8-3,8 ммоль(экв)/100 г почвы, а относительно N₀P₀K₀ —

0,4-1,8 ммоль(экв)/100 г почвы (кроме $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза, где он повышался на 0,8 ммоль(экв)/100 г почвы).

Степень насыщенности основаниями относительно целины в наибольшей степени снижалась в слоях 0-20 и 40-60 см – на 2-7 и 4-8% соответственно, в слое 20-40 см — в меньшей степени, на 1-5%. Среднее содержание в слое 0-60 см уменьшалось на 3-7%, а относительно $N_0P_0K_0$ – только в варианте $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (на 4%). Система $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза обеспечивала самое высокое, практически на уровне целины значение показателя.

Следовательно, при возделывании культур зерносвекловичного севооборота без удобрений в большей степени отмечалось снижение ряда показателей плодородия чернозема выщелоченного (уменьшение содержания гумуса, элементов питания, ухудшение кислотно-основного состояния), чем при длительном использовании удобрений, которое способствовало компенсации негативных изменений; система с повышенной дозой навоза ($N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза) обеспечивала значения ряда показателей на уровне целины. Удобрения способствовали накоплению подвижных форм P_2O_5 и K_2O , но несколько ухудшали физико-химическое состояние почвы. Действие удобрений в наибольшей степени проявилось в слое почвы 0-20 см, в наименьшей – в слое 40-60 см.

Список литературы

1. Плодородие почв России и пути его регулирования // Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13.
2. Гамзиков Г.П. Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // Длительное применение удобрений. Агрохимические, агрономические и экологические аспекты. Новосибирск, 2011. С.32-46.
3. Длительное применение удобрений и извести в плодосменном севообороте на серой лесной почве Прибайкалья / Г.П. Гамзиков, Н.Н. Дмитриев, В.Т. Мальцев, Е.Н. Дьяченко // Плодородие. 2014. №6 (81). С. 25-26.
4. Гамзиков Г.П. Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири // Плодородие. 2016. №5. С. 6-8.
5. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур:

результаты длительных полевых опытов географической сети России / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова, О. В. Рухович, М. В. Беличенко / Почвоведение. 2020. № 12. С. 1521-1536.

6. Ефимова Л.А., Морозова Т.С., Лицуков С.Д. Экологические аспекты применения удобрений на черноземе типичном юго-западной части Центрально-Черноземного региона // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. №1(13). С. 81-88.

7. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 11-14.

8. Продуктивность культур свекловичного севооборота при длительном и систематическом применении минеральных удобрений / Елешев Р.Е., Рамазанова С.Б., Балгабаев А.М., Салыкова А.С. // Почвоведение и агрохимия. 2015. № 2. С. 54-59.

9. Длительное 32-летнее применение удобрений на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность сахарной свеклы / Нецадим Н.Н., Бершатская С.И., Гаркуша С.В., Квашин А.А., Дереха Ф.И. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 117. С. 1338-1353.

10. Баланс гумуса при длительном использовании чернозема выщелоченного в равнинном агроландшафте в зависимости от агротехнологий возделывания полевых культур / Загорулько А.В., Слюсарев В.Н., Кравцов А.М., Василько В.П. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 137. С. 91-105.

AGROGENIC TRANSFORMATION OF FERTILITY OF LEACHED CHERNOZEM WHEN USING FERTILIZERS IN GRAIN- BEET CROPE ROTATION CENTRAL CHERNOZEM REGION

O. A. Minakova

Annotation. Long-term agricultural use of leached chernozem in a 9-full grain-beet crop rotation without the use of fertilizers contributed to a significant deterioration in a number of indicators of soil fertility (a decrease in humus, NPK, deterioration of physico-chemical properties) relative to the virgin land. Long-term fertilization at a saturation of 1 ha of arable land N26,6P26,6K26,6 + 5.6 t/ha of

manure and N30P30K30 + 2.8 t/ha of manure contributed to the stabilization of the humus state of the soil, enrichment with mobile forms of P2O5 and K2O, but some deterioration of acid-base properties compared with virgin soil. The greatest change in fertility was observed in the 0-20 cm layer, the smallest in the 40-60 cm layer.

Keywords: fertilizers, leached chernozem, soil, fertilizers, humus, nutrition elements, physico-chemical properties.

УДК 631.821:631.851

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОГИПСА, КАК
КОМПЛЕКСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ И
ХИМИЧЕСКОГО МЕЛИОРАНТА В АГРОЦЕНОЗАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Можаренко М.Н.¹, Аканова Н.И.², Холомьева Л.Н.²

¹ АО «Апатит», Москва, Россия

² ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н.Прянишникова», г. Москва

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования побочного продукта химической промышленности – фосфогипса (ФГ) в качестве мелиоранта и комплексного фосфор-серосодержащего минерального удобрения в овощных севооборотах. Урожай корнеплодов моркови при внесении доз 1,5-4,5 т/га ФГ повышался от 65,5 до 70,9 т/га, при этом отмечено существенное улучшение качества продукции. Экологическая оценка эффективности ФГ не выявила загрязнения почв и растений сои тяжелыми металлами.

Ключевые слова: фосфогипс, морковь, урожайность, фосфор, сера, качество корнеплодов.

В сложившихся экономических условиях в настоящее время, вызванных санкциями против нашей страны, крайне актуальным становится проблема повышения плодородия почв и обостряется продовольственная проблема.

Для разработки эффективных мер при решении поставленных задач по повышению плодородия почв экономически целесообразно включать в технологии возделывания сельскохозяйственных культур кальцийсодержащих отходов и побочных продуктов промышленности, что позволит не только существенно улучшить физико-химические свойства, но и обеспеченность посевов элементами минерального питания.

При переработке фосфатных руд методом кислотной обработки образуется фосфогипс (ФГ), по составу может характеризоваться как комплексное фосфор-серосодержащее удобрение и химический мелиорант. ФГ состоит до 75-80% из дегидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 1,5-3% подвижного фосфора (P_2O_5), до 15% оксида кремния (SiO_2) и до 21% серы, мезо-, микро- и ультрамикроэлементы. Сера помогает растениям усваивать макро- и микроэлементы из почвы и удобрений, принимает участие в метаболических процессах и фотосинтезе. ФГ содержит кальций, влияющий на формирование клеточных стенок, обеспечивает активность ферментов, положительно воздействует на структуру почвы. Содержащийся в ФГ фосфор, благотворно влияет на развитие сильной корневой системы. Такой состав комплексного удобрения способствует повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Фосфогипс может обеспечить благоприятные условия произрастания растений, восполнить дефицит питательных элементов, оптимизировать кальциевый режим почв и их кислотно-основные свойства. Применение ФГ в сельскохозяйственном производстве становится распространенной практикой. Однако, не все еще вопросы по эффективному использованию ФГ решены.

Потребность земледелия страны в фосфогипсе, как минеральном удобрении и химическом мелиоранте для устранения засоленности почв и повышения урожайности с/х культур на сегодняшний день, по расчётам учёных, составляет порядка 2,5-3,2 млн. тонн. Накопленный в настоящее время экспериментальный материал показывает потенциально экологическую безопасность и высокую агрономическую эффективность применения ФГ в различных регионах страны, в том числе в Волгоградской области.

В этой связи исследование эффективности применения нейтрализованного фосфогипса ФГ в технологиях овощных культур, является актуальной задачей. Современный этап развития отечественной аграрной сферы требует агроэкологической оценки эффективности фосфогипса в конкретных почвенно-климатических зонах. Так, в условиях Волгоградской области для восстановления баланса кальция, обогащения фосфором и серой, был внесен фосфогипс Балаковского филиала АО «Апатит»

Исследования проведены на светло-каштановых слабосолонцеватая, тяжелосуглинистая почвах сухостепной зоны Нижнего Поволжья. В качестве

объекта исследований была морковь столовая сорта Олимпо. Содержание гумуса в пахотном горизонте почв экспериментального поля 1,6-1,7%, общего азота 0,11...0,13%, валового фосфора 0,10...0,12%), обменного калия 1,53...1,67%, реакция почвенного раствора нейтральная и слабощелочная pH = 6,5- 8,2. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы (до закладки опыта)

Гумус, %	pH	мг/100 г		
		NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1,71	7,44	3,26	9,86	43,16

Содержание гумуса по всем вариантам опыта было около 1,71 %, гранулометрический состав почвы представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав почвы (до закладки опыта на моркови)

Генетический горизонт	Глубина по профилю, м	Содержание фракций в %, от абс. сухой почвы					
		1-0,25	0,25-0,5	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
Апах	0-0,20	0,5	32,3	21,1	12,7	17,9	27,6
В 1	0,20-0,35	0,2	14,5	15,8	9,3	15,8	25,3
В 2	0,35-0,65	0,2	17,6	18,0	8,8	18,3	24,4

Вегетационный период сложился, как не типичный для Волгоградской области: с апреля по май выпало 80,1 мм осадков. Вследствие этого посев моркови был отложен на более поздние сроки. В июне выпало 53,8 мм осадков, а температура составила 21,4°C. В июне отмечена температура (III декады) – 24,6°C, в июле до 26,8°C, в августе 25,1-29,7°C.

Площадь опытной делянки 100 м², площадь учетной делянки 50 м². Повторность вариантов в опыте - 4-х кратная, размещение - систематическое. Схема опыта представлена в таблице 3.

По продолжительности межфазных периодов моркови более раннее наступление отмечено на вариантах № 4-5, где применяли высокие лозы фосфогипса.

Листовая поверхность растений моркови невелика, что связано с усиленным ростом корня. Внесение ФГ стимулировало развитие и формирование более мощного листового аппарата.

Таблица 3 – Схема опыта

№ п/п	Вариант опыта	Способ и сроки внесения удобрений
1.	Контроль	-
2.	N60K60- фон	Внесение аммофоса под основную обработку до посева
3.	фон + 1,5 т/га ФГ	Внесение фосфогипса и аммофоса под основную обработку до посева культуры
4.	фон + 3,0 т/га ФГ	
5.	фон + 4,5 т/га ФГ	

К концу вегетации наибольшее среднее количество листьев на одном растении отмечено на варианте с внесением ФГ в дозе 4,5, меньшее – в контрольном варианте.

По высоте розетки листьев достоверных различий не выявлено, однако, следует отметить тенденцию положительного влияния ФГ. В фазу товарной спелости можно выделить варианты № 3-4, где вносили высокие дозы ФГ (таблица 4). На количество листьев использование ФГ влияния не оказало.

Таблица 4 – Динамика формирования наземной массы столовой моркови

Варианты	Высота розетки листьев, см			Кол-во листьев в розетке, шт.		
	фенофазы			фенофазы		
	пучковая спелость	формирование корнеплода	товарная спелость	пучковая спелость	формирование корнеплода	товарная спелость
Контроль	14,0	32,0	44,0	5,0	7,0	7,0
N60K60- фон	17,0	38,1	46,4	6,0	8,0	8,0
фон + 1,5 т/га ФГ	17,0	38,0	46,6	6,0	8,0	8,0
фон + 3,0 т/га ФГ	17,2	38,5	46,8	6,0	8,0	8,0
фон + 4,5 т/га ФГ	17,4	38,2	47,0	6,0	8,0	8,0

Урожай моркови усиленно формируется в последнюю четверть периода вегетации, когда происходит отток органических веществ из листовой массы растений. Исследованиями установлено, что масса листьев розетки растений моркови во всех вариантах опыта снижалась от середины к концу вегетации в разной степени. Максимальное количество ботвы на растениях моркови к концу вегетации отмечено в варианте с внесением ФГ в дозе 4,5 т/га (61,0 г), минимальное – в контрольном варианте (46,3 г).

Внесение ФГ способствует улучшению водопроницаемости почвы и воздушного режима почв, что благоприятно действует на развитие корней растений. Это особенно важно в условиях дефицита влаги.

В начальные этапы роста и развития морковь отличается невысокой требовательностью к элементам минерального питания. Темпы выноса и потребления элементов питания, особенно фосфора и калия, усиливаются у моркови по мере формирования корнеплодов. Результаты исследований показали, что к середине вегетации средняя масса корнеплодов моркови в вариантах с внесением ФГ существенно отличалась в большую сторону по сравнению с контрольным вариантом

В условиях применения ФГ отмечена положительная тенденция в динамике формирования корнеплода моркови. В фазу «товарная спелость» моркови наибольший диаметр корнеплода 5,6 см отмечен в варианте № 5 с внесением 4,5 т/га ФГ, что на 24,4% больше, чем в контрольном варианте. По длине корнеплода, в этом же варианте № 5 отмечен высокий показатель 19,6 см к моменту уборки культуры (таблица 5).

Таблица 5 – Динамика формирования корнеплода столовой моркови

Варианты	Диаметр корнеплода, см			Длина корнеплода, см.		
	фенофазы			фенофазы		
	пучковая спелость	форми- вание корнеплода	товарная спелость	пучковая спелость	форми- вание корнеплода	товарная спелость
Контроль	1,1	2,7	4,5	5,4	13,2	15,4
N60K60- фон	1,7	2,9	5,4	6,4	14,8	18,8
фон + 1,5 т/га ФГ	1,7	3,0	5,5	6,6	15,1	18,8
фон + 3,0 т/га ФГ	1,8	3,0	5,6	7,2	15,4	19,0
фон + 4,5 т/га ФГ	1,8	3,0	5,6	7,0	15,6	19,6

В период уборки и учета урожая максимальная масса корнеплода на растении отмечена в варианте с внесением ФГ в дозе 4,5 т/га. Товарная урожайность моркови в варианте № 5 составила 70,9 т/га, что на 8,2% или в 1,1 раза больше, чем в контрольном варианте и на 2,8 т/га выше, чем в фоновом варианте № 2. Варианты с внесением ФГ в дозе 1,5 и 3,0 т/га превысили по этому показателю значения в контрольном и фоновом варианте. Максимальная величина фуражной продукции 0,72 т/га была в контрольном варианте (таблица 6).

Урожайность является результирующим показателем эффективности применения агротехнических приемов в земледелии и растениеводстве. Результаты исследований и определения урожайности корнеплодов моркови показали, что ФГ обеспечивает достоверную прибавку урожая.

Таблица 6 - Урожайность моркови

Варианты	Общий урожай	Товарная фракция	% от общего урожая	Прибавка урожая			Фуражная морковь	
	т/га			т/га	%	%	т/га	%
Контроль	66,22	65,5	98,9	-	-	-	0,72	1,9
N60K60- фон	68,44	68,1	99,5	2,22	3,4	-	0,34	0,5
фон + 1,5 т/га ФГ	69,76	69,4	99,5	3,54	5,3	2,0	0,36	0,5
фон + 3,0 т/га ФГ	70,24	69,8	99,4	4,02	6,1	2,6	0,44	0,6
фон + 4,5 т/га ФГ	71,30	70,9	99,4	5,08	7,7	4,2	0,40	0,6

Анализ качества корнеплодов моркови на изучаемых вариантах опыта показал (таблица 7), что внесение ФГ способствует повышению содержания в продукции основных и наиболее ценных компонентов: сухого вещества, общего сахара и витамина С.

Таблица 7 - Показатели качества корнеплодов моркови по вариантам опыта

Вариант	Определяемый показатель		
	содержание сухого вещества, %	массовая доля общего сахара, %	массовая доля витамина С, мг %
Контроль	12,08	5,6	2,65
N60K60- фон	12,35	6,6	3,07
фон + 1,5 т/га ФГ	12,61	7,2	3,33
фон + 3,0 т/га ФГ	12,68	7,6	4,06
фон + 4,5 т/га ФГ	12,94	8,1	5,13
<i>HCP₀₅</i>	0,06	0,5	0,34

Результатами исследований установлено, что по определяемым в опыте показателям качества продукции (содержание сухого вещества, массовая доля общего сахара, массовая доля витамина С) максимальное их содержание отмечено в варианте с внесением ФГ в дозе 4,5 т/га. Корнеплоды моркови на этом варианте содержали сухого вещества в 1,06 раза, общего сахара - в 1,44 раза и витамина С - в 1,54 раза больше, чем в контрольном варианте.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF PHOSPHOGYPSUM AS A COMPLEX MINERAL FERTILIZER AND CHEMICAL AMELIORANT IN AGRICULTURAL CROPS AGROCENOSIS

Mozharenko M.N., Akanova N.I., Kholomyeva L.N.

Abstract. The article discusses the possibility of using a by-product of the chemical industry – phosphogypsum (PG) as an ameliorant and complex phosphorus-sulfur-containing mineral fertilizer in vegetable crop rotations. The yield of carrot root crops with the introduction of doses of 1.5-4.5 t/ha of FG increased from 65.5 to 70.9 t/ha, while a significant improvement in the quality of products was noted. The environmental assessment of the effectiveness of FG did not reveal contamination of soils and soybean plants with heavy metals.

Key words: phosphogypsum, carrots, yield, phosphorus, sulfur, quality of root crops

УДК 633.11

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НАВОЗА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Е.В. Навольнева¹, Пойменов А.С.², Логвинов И.В.³, Каторгин Д.И.⁴

ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»

¹Navekavika@gmail.com, ²laboratoria.plodorodia@mail.ru,

³laboratoria.plodorodya@yandex.ru, ⁴belglaboratoria.plodorody@mail.ru

Аннотация. На чернозёме типичном в пятипольных севооборотах, которые в структуре посевных площадей содержат 40 и 60 % пропашных культур, за шесть ротаций потери гумуса составили без применения удобрений 0,27 и 0,35 % соответственно, а содержание фосфора сократилось на 9,16 и 3,33 мг/кг. В зернотравянопропашном севообороте содержание гумуса сохранялось на уровне закладки опыта (увеличение на 0,09 %), а подвижного фосфора уменьшилось на 14,03 мг/кг. Минеральные удобрения в севообороте с многолетними травами обеспечили дальнейшее накопление гумуса в почве, а в зернопропашном стабилизировали его. Сочетание минеральных удобрений в количестве $N_{90}P_{60}K_{60}$ с разным фоном навоза способствовало формированию оптимальных уровней подвижного фосфора и калия в чернозёме типичном, что привело к достижению значительных показателей урожайности озимой пшеницы.

Ключевые слова: полевой опыт, навоз, минеральные удобрения, плодородие, чернозём типичный, урожайность, озимая пшеница.

Одновременное обеспечение населения продовольствием и необходимость защиты экологической среды требуют безусловного повышения продуктивности сельскохозяйственного производства. Это возможно только через внедрение комплексных мер, направленных на усовершенствование хозяйственного механизма. Важным аспектом также является увеличение плодородия земель и применение интенсивных технологий в агрономии, основанных на научных исследованиях. Разработка эффективных стратегий и методов позволит улучшить качество и доступность продовольствия, а также обеспечить устойчивое развитие сельских территорий. Необходимость интеграции современных технологий с традиционными подходами в сельском хозяйстве становится особенно актуальной в условиях изменяющегося климата. Системный подход к производству пищи и забота о природе должны идти рука об руку, что обеспечит не только текущие потребности населения, но и сохранение ресурсов для будущих поколений. Создание эффективной системы сельскохозяйственного производства требует серьезного внимания к вопросам экологии и охраны окружающей среды [1].

В разработке системы удобрения для севооборота в разнообразных почвенно-климатических условиях важное значение имеют результаты долгосрочных исследований. Эти эксперименты помогают выяснить, какое влияние регулярное применение удобрений оказывает на продуктивность севооборота, качество выращиваемых культур и свойства почвы. [2].

На экспериментальных полях Белгородского федерального аграрного научного центра Российской академии наук, с 1987 года, проводится исследование воздействия севооборотов и удобрений на ключевые характеристики почвенного плодородия и урожайность озимой пшеницы.

Почва опытного участка – чернозём типичный среднемошный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке с содержанием в пахотном слое 5,2-5,3 % гумуса, 67-78 мг/кг подвижного фосфора и 95-112 мг/кг подвижного калия.

Экспериментальные пятипольные севообороты в структуре посевных площадей имели различную насыщенность пропашными культурами: 20 % в зернотравянопропашном, 40 % - зернопропашном, 60 % - зернопаропропашном. Чередование культур в зернотравянопропашном

севообороте: озимая пшеницы – сахарная свёкла – ячмень+мн. травы (эспарцет) – мн. травы 1 г.п. – мн. травы 2 г.п. В зернопропашном севообороте вместо трав кукуруза на силос и горох, в зернопаропропашном кукуруза на силос, кукуруза на зерно и чёрный пар.

В опыте изучали три системы удобрений: органическую, минеральную и органоминеральную с тремя уровнями удобренности (1. без удобрений; 2. $N_{90}P_{60}K_{60}$; 3. $N_{180}P_{120}K_{120}$; 4. Навоз КРС 8 т/га севооборотной площади (с.п.); 5. Навоз КРС 8 т/га с.п. + $N_{90}P_{60}K_{60}$; 6. Навоз КРС 8 т/га с.п. + $N_{180}P_{120}K_{120}$; 7. Навоз КРС 16 т/га с.п.; 8. Навоз КРС 16 т/га + $N_{90}P_{60}K_{60}$; 9. Навоз КРС 16 т/га с.п. + $N_{180}P_{120}K_{120}$).

Для оценки плодородия почвы большое значение имеет содержание в ней гумуса и основных питательных элементов. Так как при систематическом длительном применении удобрений в урожае возделываемых культур суммируются прямое действие удобрений с их последствием и с косвенным действием через влияние на свойства почвы, нами было рассмотрено в-первую очередь изменение содержания гумуса, подвижного фосфора и калия за шесть ротаций пятипольных севооборотов.

Наши исследования показали, что за шесть ротаций зернотравянопропашного севооборота, где многолетние травы занимают 40 % площади, независимо от удобрений наблюдался положительный баланс гумуса (рисунок 1).

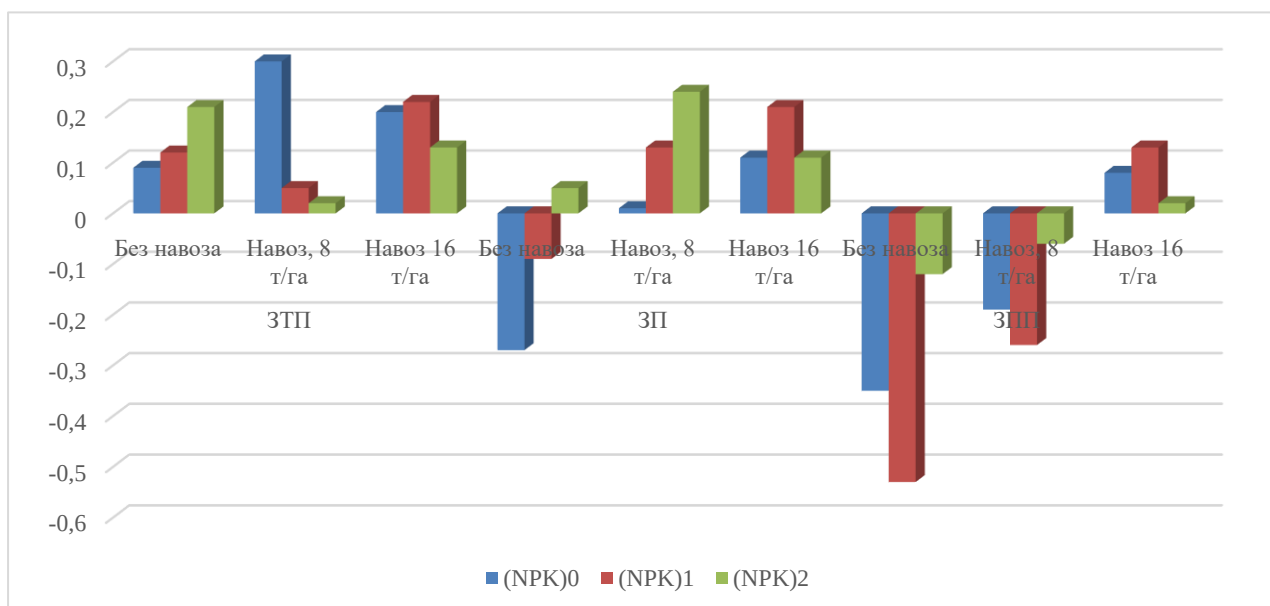


Рисунок 1 – Влияние севооборотов и удобрений на изменение содержания гумуса после шести ротаций севооборотов, % (слой 0-30 см)

Содержание его в слое почвы 0-30 см увеличилось в среднем на 0,15 абсолютных процента, при среднем исходном содержании 5,25 %. Без применения удобрений прирост гумуса в этом севообороте составил 0,09 %. Минеральная система удобрений в среднем обеспечила увеличение на 0,17 %, а при использовании только органических удобрений – на 0,25 %. Совместное применение органических и минеральных удобрений обеспечило рост гумуса на 0,11 %. В зернопропашном и зернопаропропашном севооборотах содержание гумуса снизилось как без применения удобрений, так и с применением $N_{90}P_{60}K_{60}$, при этом снижение составило в зернопропашном севообороте 0,09-0,27 %, а в севообороте с паром 0,35-0,53 %. Наибольшее снижение этого показателя произошло в зернопаропропашном севообороте, при внесении одной дозы минеральных удобрений. В зернопропашном севообороте использование органических или совместно органических и минеральных удобрений, а также удвоенной дозы минеральных – способствует накоплению гумуса или стабилизирует его содержание на прежнем уровне. В то время, как в зернопаропропашном севообороте положительный баланс достигался лишь по фону применения 16 т/га с.п. навоза и временное изменение составило 0,02-0,13 % с большим ростом при использовании 16 т/га с.п. навоза и $N_{90}P_{60}K_{60}$. Так же следует отметить, что по фону 16 т/га с.п. навоза, за счёт внесения одинарных доз минеральных удобрений, во всех севооборотах обеспечивался ещё больший рост органического вещества (0,13-0,22 %), чем при отдельно вносимом навозе (0,08-0,20 %), а при удвоении доз минеральных удобрений рост содержания гумуса падает и составляет в пределах стабилизации 0,02-0,13 %.

В своём большинстве без применения удобрений происходит убыль подвижного и валового фосфора на всех типах почв [3,4]. Вместе с тем, имеются сведения, показывающие стабильность подвижного фосфора во времени и без применения удобрений или при их наличии, но при отрицательном балансе фосфора нередко количество подвижного фосфора увеличивается или не уменьшается [5].

После прохождения шести ротаций севооборотов были проанализированы образцы почвы на глубину пахотного слоя – 0-30 см. Длительное применение органических и минеральных удобрений привело к увеличению содержания в почве подвижного фосфора. Действие навоза в этом отношении оказалось несколько слабее, чем минеральных удобрений.

Длительное применение одной дозы минеральных удобрений способствовало накоплению и доведению чернозёма типичного до

оптимальных показателей. Данный факт отмечался во всех севооборотах и содержание подвижного фосфора составляло в пределах 102,74-123,83 мг/кг, в зависимости от изучаемого севооборота, при этом разница с годом закладки опыта составила 49,94-69,03 мг/кг (рисунок 2).

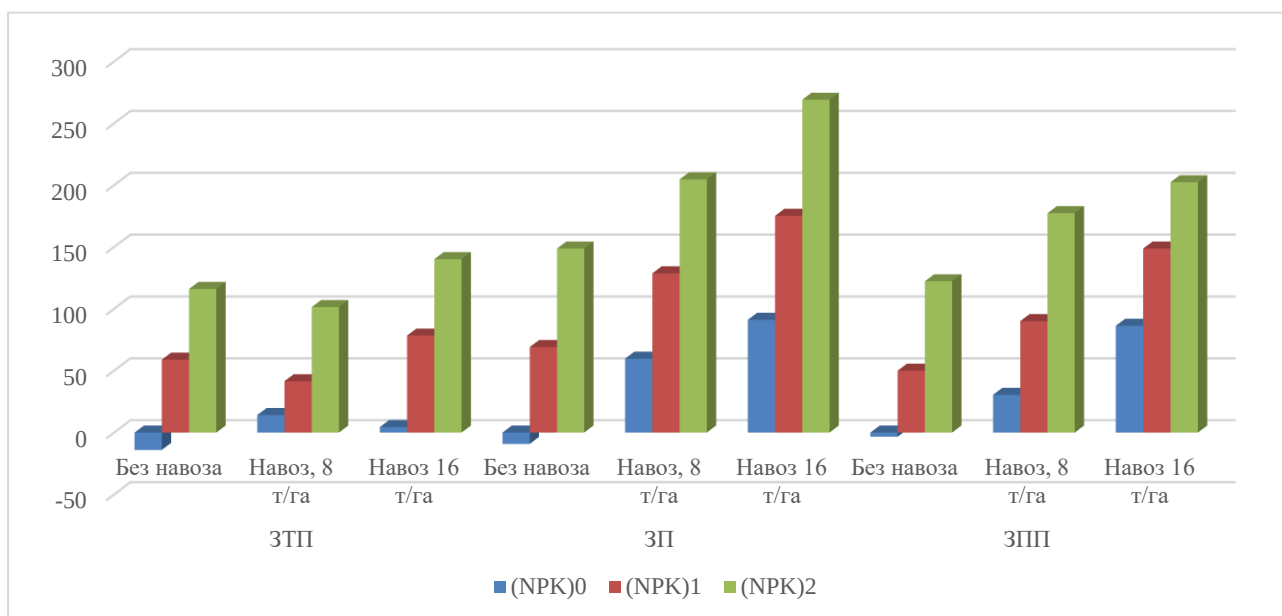


Рисунок 2 – Влияние севооборотов и удобрений на изменение содержания подвижного фосфора после шести ротаций севооборотов, мг/кг (слой 0-30 см)

Дальнейшее увеличение дозы минеральных удобрений способствовало росту содержания подвижного фосфора и переходу по группе обеспеченности почвы данным элементом в группу с высоким содержанием. Фактическое содержание составляло 173,52-204,82 мг/кг, а изменение за более чем тридцатилетний период времени – 116,02-148,72 мг/кг.

Периодическое внесение навоза КРС, также характеризовалось увеличением данного показателя. Однако, если в зернотравянопропашном севообороте рост дозы данного удобрения не отразился на содержании фосфора и был примерно на одном уровне, не зависимо от дозы внесения (58,2-64,32 мг/кг, при росте во времени 4,5-14,12 мг/кг), то в двух других севооборотах увеличение содержания фосфора было пропорционально росту доз органических удобрений, а разница с годом закладки опыта колебалась от 30,43 до 91,05 мг/кг.

Использование органоминеральной системы удобрений характеризовалось дальнейшему росту содержания фосфора, при этом за счёт внесения максимальных доз органических и минеральных удобрений

рассматриваемая почва относилась к градации с очень высоким содержанием фосфора. А рост данного элемента за шесть ротаций пятипольных севооборотов составил 140,13-269,08 мг/кг.

Рассматривая действие севооборотов, следует отметить, что без применения удобрений в севообороте с чёрным паром содержание оставалось практически на уровне года закладки опыта, в то время как в зернотравянопропашном и зернопропашном произошло снижение на 9,16-14,03 мг/кг. Причиной данного воздействия послужила более усиленная мобилизация почвенных запасов в паровом поле, а также меньший вынос фосфора с урожаем культур за ротацию севооборота в сравнении с другими севооборотами. В то же время на всех удобренных вариантах, максимальное накопление было отмечено в зернопропашном севообороте. Так, например при совместном использовании одной дозы минеральных и одной дозы органических удобрений, накопление фосфора за шесть ротаций зернотравянопропашного севооборота составило 41,43 мг/кг, зернопаропропашного – 90,02 мг/кг, а зернопропашного – 128,66 мг/кг.

Под влиянием длительного применения удобрений изменяется и содержание подвижного калия в почве. Согласно многочисленным исследованиям, калийные удобрения независимо от дозы увеличивают содержание калия практически во всех типах почв, а накопление подвижных форм калия происходит не только в пахотном горизонте, но и до больших глубин 30-50 см [6].

Проведённые исследования показали, что на вариантах без применения удобрений, в противоположность подвижному фосфору произошло небольшое увеличение количества подвижного калия во всех севооборотах, рост составил 0,85-8,25 мг/кг (рисунок 3).

Содержание подвижного калия без использования удобрений после прохождения шести ротаций севооборотов составило 104,05-112,25 мг/кг и было на уровне повышенного. Использование минеральных удобрений характеризовалось ростом данного элемента как относительно контрольного варианта, так и во времени и способствовало переходу почвы в градацию высокого содержания (при дозе $N_{180}P_{120}K_{120}$). Содержание составило 154,47-161,13 мг/кг, что больше года закладки опыта на 49,47-66,93 мг/кг. Внесение органических удобрений также обеспечило рост содержания этого элемента до высокого уровня, исключением является лишь Зернотравянопропашной севооборот, где использование 16 т/га с.п. характеризовалось величиной

108,71 мг/кг – повышенное содержание. Однако все используемые дозы характеризовали рост содержания калия во времени на 11,71-60,35 мг/кг.

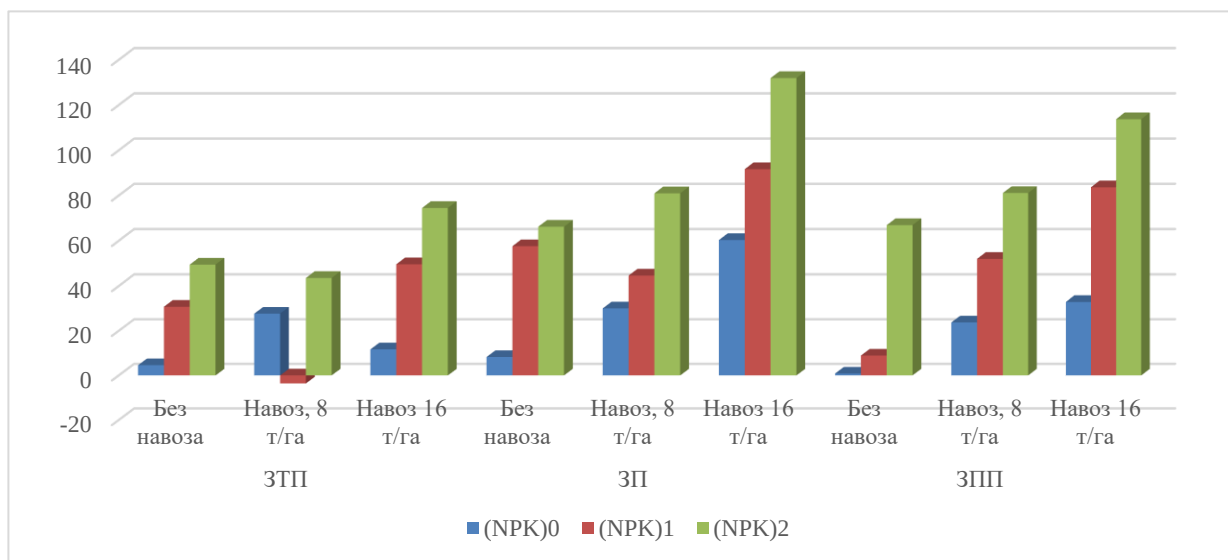


Рисунок 3 – Влияние севооборотов и удобрений на изменение содержания подвижного калия после шести ротаций севооборотов, мг/кг (слой 0-30 см)

Оптимальные показатели содержания калия были достигнуты при совместном использовании навоза КРС (8 т/га с.п.) с $N_{90}P_{60}K_{60}$ в зернопропашном и зернопаропропашном севооборотах и были практически на одном уровне – 146,73-149,03 мг/кг, в данном случае изменение выросло на 44,63-52,03 мг/кг, сравнимо с годом закладки опыта. Максимальный рост содержания калия во времени отмечен при совместном применении удвоенных доз органических и минеральных удобрений и составил 74,51-131,95 мг/кг при фактическом содержании 180,51-228,95 мг/кг (градиация очень высокого содержания данного элемента в почве).

Рассматривая тип севооборота, следует отметить, что в зернотравянопропашном севообороте накопление калия было наименьшим, что объяснимо высоким потреблением калия многолетними травами, и составило в среднем по уровням удобрённости – 32,07 мг/кг. А в зернопропашном севообороте рост содержания подвижного калия в чернозёме типичном был наибольший – 63,53 мг/кг.

Длительное систематическое применение удобрений под каждую культуру при соответствующем чередовании данных культур севооборота в сильной степени сказалось и на урожайности. Результаты наших исследований показали, что без использования каких-либо удобрений самая большая урожайность была достигнута в зернопаропропашном севообороте

и составляла в 4,11 т/га, с уменьшением к севообороту с меньшим содержанием в своей структуре пропашных культур, соответственно в зернопропашном она составила 3,82 т/га, а в зернотравянопропашном – 3,50 т/га (таблица 1). И если разницу между пропашными севооборотами можно отмечать лишь как тенденция, то для севооборотов с многолетними травами данное уменьшение математически доказано.

Последствие навоза КРС способствовало получению прибавки в пределах 0,24-0,82 т/га, в зависимости от севооборота и дозы вносимых удобрений, в связи с чем рост урожайности культуры возможно считать, как тенденциозная закономерность, так как закономерно проявляется во всех трёх севооборотах и растёт с ростом дозы навоза. Внесение минеральных удобрений привело к росту на 1,46-2,05 т/га зерна озимой пшеницы (таблица).

Таблица – Урожайность озимой пшеницы в шестой ротации севооборотов, т/га

Варианты удобрённости	ЗТП		ЗП		ЗПП	
	Урожай- ность	Прибав- ка	Урожай- ность	Прибав- ка	Урожай- ность	Прибав- ка
Без удобрений	3,50	-	3,82	-	4,11	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,05	1,55	5,57	1,76	5,58	1,46
N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,47	1,97	5,86	2,05	5,71	1,59
Навоз КРС 8 т/га с.п.	4,01	0,52	4,06	0,24	4,41	0,30
Навоз КРС 8 т/га с.п. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,62	2,12	5,64	1,82	5,80	1,69
Навоз КРС 8 т/га с.п. + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,79	2,29	6,01	2,19	5,61	1,50
Навоз КРС 16 т/га с.п.	4,32	0,82	4,34	0,52	4,61	0,50
Навоз КРС 16 т/га + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,81	2,31	5,77	1,95	5,83	1,72
Навоз КРС 16 т/га с.п. + N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	6,11	2,61	5,95	2,13	5,79	1,68
НСР ₀₅ (севооборот) = 0,41; НСР ₀₅ (удобрения) = 0,72						

Применение органоминеральной системы удобрений способствовало дальнейшему увеличению урожайности культуры. При внесении совместно одной дозы минеральных удобрений и одной дозы органических урожайность достигла — 5,62-5,80 т/га, с большим показателем в

зернопаропропашном севообороте. Максимальная урожайность была достигнута в разных севооборотах при различных комбинациях увеличенных доз удобрений. Так, в зернотравянопропашном севообороте с прибавкой 2,61 т/га максимальная урожайность была достигнута при использовании навоза КРС 16 т/га с.п. + $N_{180}P_{120}K_{120}$; в зернопропашном севообороте – при дозах навоз КРС 8 т/га с.п. + $N_{180}P_{120}K_{120}$ 6,01 т/га с прибавкой 2,19 т/га; в зернопаропропашном севообороте за счёт – навоза КРС 16 т/га + $N_{90}P_{60}K_{60}$ и составляла 5,83 с прибавкой 1,82 т/га.

Таким образом, навоз и минеральные удобрения оказывают существенное влияние на основные показатели плодородия чернозёма типичного. Навоз повышает содержание в нём гумуса в севооборотах с 20 и 40 % пропашных культур, а использование его в повышенной дозе (16 т/га с.п.) обеспечивает рост гумуса и в севообороте с чёрным паром, который содержит в своей структуре 60 % пропашных культур. Минеральные удобрения в небольших дозах не оказывают заметного влияния на данный показатель, а в повышенных дозах – увеличивают содержание органического вещества в почве за счёт большого количества корневых и пожнивных остатков, что характерно для зернотравянопропашного и зернопропашного севооборота. Совместное внесение обоих удобрений усиливает действие их на свойства почвы, а использование минеральных удобрений по фону навоза способствует достижению уровня оптимальных показателей подвижных элементов для чернозёма типичного. При этом, сопоставляя показатели почвенного плодородия и урожайность озимой пшеницы, рекомендуется применение одной дозы минеральных удобрений по фону навозу, доза которого зависит от типа используемого севооборота.

Список литературы

1. Акулов П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность чернозёмов. – М.: Колос, 1992. – 223 с.
2. Найдин П.Г. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – М.: Министерство сельского хозяйства СССР, 1960. – 472 с.
3. Боева Н.Н. Влияние органических и минеральных удобрений на плодородие чернозёма типичного и продуктивность озимой пшеницы // Автореф. Дисс...канд. с.-х. наук. – Курск, 2000. – 25 с.
4. Влияние систем земледелия на динамику подвижного фосфора в черноземе типичном юго-западной части ЦЧЗ / С. И. Тютюнов, Е. В.

Навольнева, А. С. Пойменов [и др.] // Агрохимический вестник. – 2022. – № 6. – С. 10-14. – DOI 10.24412/1029-2551-2022-6-002

5. Никитин В.В., Соловиченко В.Д. Изменение фосфатного режима чернозёма типичного под влиянием длительного применения удобрений в юго-западной части Центрально-Чернозёмного региона // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. - №3, - С. 56-58

6. Лесовая Г.М. Оптимизация содержания нитратов в овощах и картофеле, выращиваемых на чернозёме выщелоченном // Дисс... канд. с.-х. наук. – Краснодар, 2002. – 223 с.

THE EFFECT OF LONG-TERM USE OF MANURE AND MINERAL FERTILIZERS ON THE FERTILITY OF TYPICAL CHERNOZEM AND THE YIELD OF WINTER WHEAT

E.V. Navolneva, A.S. Poimenov, I.V. Logvinov, D.I. Katorgin

Annotation. On typical chernozem in five-field crop rotations, which in the structure of sown areas contain 40 and 60% of row crops, over six rotations, humus losses amounted to 0.27 and 0.35%, respectively, without the use of fertilizers, and the phosphorus content decreased by 9.16 and 3.33 mg/kg. In the grain-grass crop rotation, the humus content remained at the level of the experiment (an increase of 0.09%), and mobile phosphorus decreased by 14.03 mg / kg. Mineral fertilizers in the crop rotation with perennial grasses ensured further accumulation of humus in the soil, and in the grain-tillage stabilized it. The combination of mineral fertilizers in the amount of N90P60K60 with a different manure background contributed to the formation of optimal levels of mobile phosphorus and potassium in typical chernozem, which led to the achievement of significant winter wheat yields.

Keywords: field experience, manure, mineral fertilizers, fertility, typical chernozem, yield, winter wheat.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ТОМАТА И КАРТОФЕЛЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В ОВОЩНОМ СЕВООБОРОТЕ

¹*С.М. Надежкин, ¹М.Ю. Маркарова, ²С.А. Тюлейкин, ²Е.В. Кашинова*

¹ФГБНУ "Федеральный научный центр овощеводства"

²Западно-сибирская овощная опытная станция (ЗСООС) – филиал ФГБНУ
ФНЦО, г.Барнаул

E-mail: nadegs@yandex.ru, myriam@mail.ru, nauka.zsoos@mail.ru

Аннотация. В многолетнем опыте с различными системами удобрения на черноземе выщелоченном проведена сравнительная оценка их влияния на показатели плодородия почвы, урожайность и качество продукции томата и картофеля. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных, что позволило определить оптимальные дозы минеральных удобрений при минеральной и органо-минеральной системах удобрения.

Ключевые слова: удобрения, томат, картофель, плодородие, биохимический состав.

Введение. Длительные опыты с внесением удобрений в стационарных севооборотах позволяют разработать объективные научные принципы построения систем удобрения, получить максимальную продуктивность овощных культур и обеспечить наибольшую агроэкономическую эффективность удобрений [1, 2]. Обобщение данных многолетних опытов в системе Географической сети позволяет на строго объективной научной основе подойти к разработке научных принципов построения системы удобрения в севообороте с учетом зональных особенностей.

Цель исследований – выявление оптимальной системы удобрения томата и картофеля, обеспечивающей получение максимальных урожаев товарной продукции.

Методика. Исследования проводились на Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСООС) - филиале ФГБНУ ФНЦО (Алтайский край) в полевом опыте, заложенном в 1942 г, с использованием общепринятых методик проведения полевых опытов. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый иловато–пылеватый с реакцией почвенного раствора, близкого к нейтральной. Агротехника возделывания овощных культур и картофеля – общепринятая в регионе.

Обработка почвы заключалась в проведении послеуборочного дискования, зяблевой вспашки на глубину 25-27 см, ранневесеннего боронования в 2 следа, внесения минеральных и органических удобрений согласно схеме и повторной перепашке на 20-22 см или культивации с целью заделки удобрений.

Из минеральных удобрений вносили аммиачную селитру 34,4%, суперфосфат двойной гранулированный (P_2O_5) 44%, и сульфат калия (K_2O - 50%), в качестве органических удобрений (ОУ) использовали торфопомётный компост со средним содержанием NO_3 - 0,97%, P_2O_5 -0,48, K_2O -0,48%. Опыт проведён в пятипольном овощном севообороте. Чередование культур в севообороте: томат, капуста, морковь, картофель, огурец. Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянок 169 м², учётная - 30 м².

Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Количество удобрений, внесенное под культуры севооборота, кг (т)/га

№ вариантов	Томат	Картофель	На 1 га севооборотной пашни
1	Без удобрения (контроль)	Без удобрения (контроль)	Без удобрения (контроль)
2	$N_{60}P_{135}K_{60}$	$N_{30}P_{60}K_{60}$	$N_{56}P_{81}K_{66}$
3	$N_{60}K_{60}$	$N_{30}K_{60}$	$N_{56}K_{66}$
4	$P_{135}K_{60}$	$P_{60}K_{60}$	$P_{81}K_{60}$
5	$N_{90}P_{203}K_{90}$	$N_{45}P_{90}K_{90}$	$N_{84}P_{121}K_{99}$
6	ОУ 20 т/га	ОУ 40 т/га	ОУ 32 т/га
7	ОУ 20 т/га + $N_{60}P_{135}K_{90}$	ОУ 40 т/га + $N_{30}P_{60}K_{60}$	ОУ 32 т/га + $N_{56}P_{81}K_{66}$
8	Последействие удобрений	Последействие удобрений	Последействие удобрений
9	$N_{60}P_{135}$	$N_{30}P_{60}$	$N_{56}P_{81}$

ГТК за период вегетации составил: в 2008 г. – 0,93; 2009 – 1,10; 2010 – 0,98; 2011 – 0,68; 2012 – 0,61; 2013 – 1,14; 2014 -1,06; 2015 – 0,97; 2016 – 0,93; 2017 – 0,94, 2018- 0,76, 2019 – 0,63, 2020 – 0,80, 2021 – 0,57, 2022 –0,74, 2023 – 0,71, при среднемноголетнем значении 1,08.

Результаты исследований.

Плодородие почвы. Содержание подвижных форм фосфора в пахотных почвах определяется как уровнем их применения, так и выносом с товарной частью урожая. как правило, в экстенсивном земледелии отмечается отрицательный баланс фосфора, а при длительном применении удобрений - нулевой или положительный [3, 4]. В условиях длительного стационарного опыта в пахотном горизонте почвы контрольного варианта, где удобрения не вносились с 1942 года, содержание подвижных форм фосфора в 14-15-ой ротациях севооборота оставалось на высоком (> 200 мг/кг почвы), а обменного калия на очень низком (< 150 мг/кг) уровне.

Длительное систематическое внесение фосфорных удобрений в составе органической (вариант 6) и органоминеральной (вариант 7), систем удобрения способствовало увеличению в 1,5 - 2 раза содержания подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы и поддержанию обеспеченности на высоком уровне по сравнению с контрольным вариантом в течение всей вегетации.

На протяжении всей вегетации наименьшая обеспеченность подвижным калием пахотного горизонта почвы отмечена на контрольном варианте и варианте с внесением азотно-фосфорных удобрений и находилась на очень низком уровне < 150 мг/кг почвы. Самое высокое содержание отмечено при использовании органической и органоминеральной систем удобрения (варианты 6, 7) 218-235 мг/кг почвы. Эти значения соответствуют среднему уровню обеспеченности почвы подвижным калием (200-300 мг/кг). На остальных вариантах опыта обеспеченность почвы калием находилась на низком и среднем уровне.

При длительном систематическом внесении удобрений наиболее структурная почва в пахотном горизонте отмечена на 6 и 7 вариантах с внесением органических и органоминеральных удобрений, коэффициент структурности почвы составил 1,65-2,02, по годам исследований. Наибольший коэффициент структурности в подпахотном горизонте отмечен также на 6 и 7 вариантах 1,58-1,74 и 2,28-2,45.

Длительное использование органической и органоминеральной систем удобрения способствует повышению суммы водопрочных агрегатов в пахотном горизонте почвы по сравнению с контрольным вариантом. Наибольшая сумма водопрочных агрегатов в подпахотном горизонте почвы отмечена также на 6 и 7 вариантах с внесением органических удобрений и их

сочетаний с минеральными. Как правило, длительное применение удобрений улучшает агрофизические свойства почв [5-6]

Длительное внесение минеральных и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях оказывает положительное влияние на водно-физические свойства почвы. Оно позволяет поддерживать плотность скелета пахотного и подпахотного горизонтов почвы на оптимальном уровне, а также положительно влияет на общую порозность и капиллярную влагоемкость почвы [7, 8].

В результате применения органических и органоминеральных удобрений величина рН солевой вытяжки не претерпевает значительных изменений. Применение же рекомендованной дозы минеральных удобрений привело к подщелачиванию почвенного раствора. При этом величина рН солевой вытяжки, как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах почвы изменилась до слабощелочной (рН 7,54-7,64). Этот процесс можно считать отрицательным, так как для большинства овощных культур оптимальной реакцией среды является слабокислая среда почвенного раствора.

Длительное применение органических и органоминеральных удобрений привело к уменьшению гидролитической кислотности пахотного и подпахотного горизонтов почвы.

Урожайность. Товарная урожайность томата в 12-14-ой ротациях овощного севооборота на варианте без использования удобрений колебалась от 7,0 до 24,8 т/га. При этом наименьшая урожайность - 7,0 т/га была получена в 2009 г., когда в среднем за вегетацию ГТК составил 1,0 ед., т.е. был близок к среднегодовым значениям. Однако недостаток тепла в августе месяце и повышенное количество осадков вызвали интенсивное развитие фитофтороза, что оказало резкое негативное влияние на сбор товарных плодов томата. Наибольшая урожайность товарной продукции за три ротации севооборота получена в 2008 г. - от 24,8 до 46,3 т/га соответственно на контроле и при использовании органо-минеральной системы удобрения.

В среднем за три ротации севооборота урожайность томата на варианте без использования удобрений составила 15,1 т/га (табл. 2). Использование полного минерального удобрения в одинарной и полуторной нормах способствовало росту урожайности на 5,4-5,8 т/га (или на 35,8-38,4%). При этом повышение уровня NPK не обеспечивало статистически доказуемый рост урожайности в сравнении с одинарной нормой. Эффективность парных сочетаний азотно-фосфорной и азотно-калийной систем удобрения была

сопоставима с применением полного минерального удобрения в одинарной норме - прирост урожайности составил 23,4-29,5% в сравнении с контролем.

Таблица 2 – Урожайность томата, среднее за 13-15 ротации севооборота (2008-2019 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности	
		т/га	%
1.Контроль – без удобрений	15,1	-	-
2. N ₆₀ P ₁₃₅ K ₆₀	20,5	5,4	35,8
3. N ₆₀ K ₆₀	19,9	4,8	23,4
4. P ₁₃₅ K ₆₀	18,9	3,8	19,1
5. N ₉₀ P ₂₀₃ K ₉₀	20,9	5,8	30,7
6. Компост - 20 т/га (N ₁₄ P ₉ K ₁₁)	20,1	5,0	23,9
7. Компост - 20 т/га + N ₆₀ P ₁₃₅ K ₉₀	23,3	8,2	40,8
8.Последействие удобрений (N ₁₃ P ₁₅ K ₁₄)	18,3	3,2	13,7
9. N ₆₀ P ₁₃₅	20,5	5,4	29,5
НСП ₀₅	1,92		

В среднем за 13-15-ую ротацию севооборота урожайность картофеля под влиянием полного минерального удобрения возрасла на 7,1-8,4 т/га, или на 51,7-60,4% к контролю (табл. 3).

Таблица 3 – Товарная урожайность картофеля, среднее за 13-15 ротации севооборота (2011-2022 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности	
		т/га	%
Контроль – без удобрений	13,9		
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	21,0	7,1	51,7
N ₃₀ K ₆₀	21,1	7,2	51,8
P ₆₀ K ₆₀	19,7	5,8	41,7
N ₄₅ P ₉₀ K ₉₀	22,3	8,4	60,4
ОУ 40 т/га	22,6	8,7	62,6
ОУ 40 т/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	26,1	12,2	87,7
Последействие удобрений N ₁₃ P ₁₅ K ₁₄	20,3	6,4	46,0
N ₃₀ P ₆₀	17,7	3,8	27,3
НСП ₀₅	1,9		

Использование бинарных систем удобрения также обеспечивало достоверный прирост урожайности в сравнении с контролем на 5,8-7,2 т/га. Наибольшая прибавка урожайности характерна для органо-минеральной системы удобрения - 12,2 т/га, или 87,7% к контролю. Следует особо отметить последствие длительного применения удобрений - на этом варианте прирост урожайности составил 27,3% к контролю.

Качество продукции. По содержанию сухого вещества и сахара в плодах томата за три ротации существенного различия на всех вариантах опыта не отмечено. Содержание сухого вещества составило в среднем 5,7-6,6%, а сахара – от 2,55-3,05 %. Наибольшее накопление сахаров отмечено на контрольном варианте и с ежегодным внесением азота и калия.

Наибольшее количество витамина С в плодах томата было характерно для контрольного варианта – 25,2 мг/100г. Под влиянием всех изучаемых систем удобрения происходило его снижение, причем максимальное – при ежегодном использовании органических удобрений. Применение органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях существенного влияния на кислотность плодов томата не оказывает. Содержание нитратов в плодах томата не превышало ПДК (150 мг/кг).

Длительное систематическое применение удобрений оказало влияние на качество продукции картофеля. Содержание в клубнях картофеля сухого вещества по всем вариантам опыта составило от 17,8 до 23,5%. Максимальное его содержание ротации отмечалось на 6 и 7 вариантах. Наибольшее содержание витамина С характерно для варианта с внесением рекомендованной дозы минеральных удобрений и составило по годам 27,9-30,6 мг%.

Содержание нитратов в клубнях картофеля не превышало ПДК (250 мг/кг) и колебалось от 53 до 242 мг/кг сырой массы. Наибольшее содержание нитратов было характерно для варианта с внесением органических и минеральных удобрений.

Существенного различия в содержании крахмала по всем вариантам опыта не наблюдалось и составляло по годам исследований 12,1-15,6%.

Математическая обработка результатов исследований.

На основании экспериментальных данных построены математические модели, характеризующие взаимосвязь урожайности овощных культур с применением удобрений и уровнем плодородия почвы

Использование многолетних экспериментальных данных позволило разработать уравнения регрессии, позволяющие описать изменение

урожайности и качества продукции томата и картофеля в зависимости от норм и сочетаний применения минеральных удобрений с органическими (таблица 4). Эти уравнения позволяют определить оптимальные уровни минерального питания овощных культур для получения максимальной урожайности продукции с высокими показателями качества.

Таблица 4 – Зависимость урожайности и качества продукции томата и картофеля от применения удобрений и показателей плодородия почвы

Показатель (Y)	Фактор (X)	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
Урожайность томата (с учетом содержания NPK в ОУ)	Доза азота	$Y = 17,06 + 0,051x - 0,0012x^2$	0,821
	Доза фосфора	$Y = 17,64 + 0,016x - 0,00023x^2$	0,689
	Доза калия	$Y = 17,60 + 0,034x - 0,00031x^2$	0,843
Урожайность томата (без учета содержания NPK в ОУ)	Доза азота	$Y = 16,6 + 0,083x - 0,0038x^2$	0,934
	Доза фосфора	$Y = 17,5 + 0,026x - 0,00047x^2$	0,713
	Доза калия	$Y = 17,5 + 0,036x + 0,000047x^2$	0,804
Урожайность картофеля (с учетом содержания NPK в ОУ)	Доза азота	$Y = 17,02 + 0,103x - 0,0031x^2$	0,712
	Доза фосфора	$Y = 17,5 + 0,058x - 0,0018x^2$	0,688
	Доза калия	$Y = 16,0 + 0,085x - 0,0020x^2$	0,926
Урожайность картофеля (без учета содержания NPK в ОУ)	Доза азота	$Y = 16,0 + 0,171x - 0,00111x^2$	0,753
	Доза фосфора	$Y = 17,6 + 0,085x - 0,0068x^2$	0,497
	Доза калия	$Y = 15,4 + 0,125x - 0,0057x^2$	0,925

Графическая интерпретация части уравнений регрессии приведена на рисунке, решение которых позволяет определить оптимальные дозы удобрений для получения максимальной урожайности овощных культур.

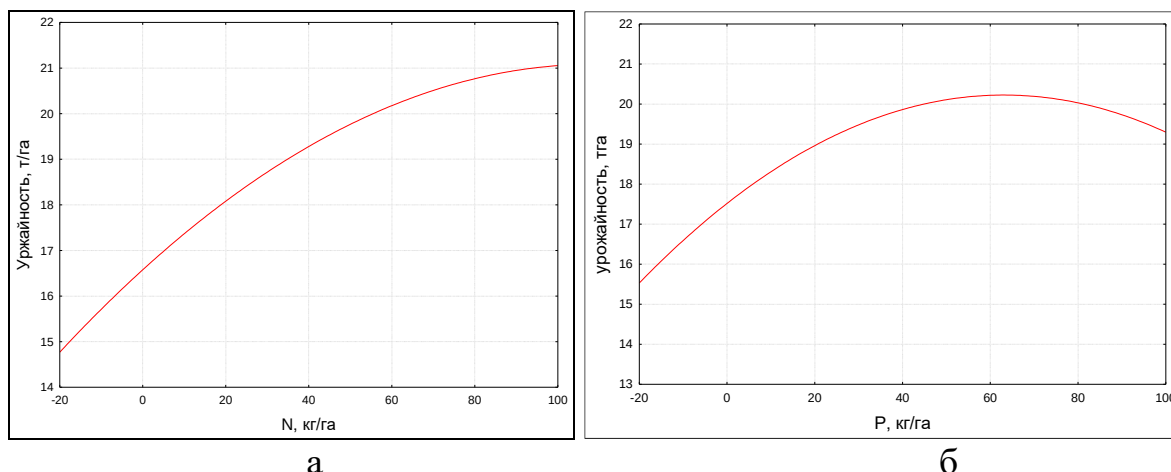


Рисунок – Влияние (без учета вариантов с использованием компоста) доз азотных удобрений на урожайность томата (а) и фосфорных (б) картофеля

Закключение. Результаты длительных опытов с внесением удобрений в стационарных севооборотах позволяют разработать объективные научные принципы построения системы удобрения для конкретной почвенно-климатической зоны, получить максимальную продуктивность овощных культур. Наибольший прирост урожайности томата и картофеля получен при использовании органо-минеральной системы удобрения. Изучаемые системы удобрения не оказывают существенного влияния на биохимический состав плодов томата и картофеля.

Литература

1. Надежкин С.М., Маркарова М.Ю., Воронкин Е.В. Биологическая активность и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений. /Плодородие почв России: состояние, тенденции и прогноз. Материалы международной конференции . Под редакцией В.Г. Сычева. М., 2019. С. 219-224.
2. Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М., Воронкин Е.В., Солдатенко А.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество овощных культур. // Плодородие, 2021. № 3. С. 89-92
3. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 328 с.
4. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. Агробιοхимический цикл фосфора. - М.: Россельхозакадемия, 2012. - 510 с.

5. Оленченко Е.А., Рижная Е.А., Бучина Н.П., Балашов Е.В. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее физические свойства и урожайность сельскохозяйственных культур в агрофизическом стационаре // Агрофизика. 2012. № 4. С. 8-18.

6. Теории и методы физики почв / под ред. Е.В.Шейна и Л.О.Карпачевского. М., "Гриф и К", 2007. 616 с.

7. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. - М.: Агропромиздат, 1988.

8. Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов лесостепной зоны Европейской России в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. 2014. № 1. с. 81-81

YIELD AND QUALITY OF TOMATOES AND POTATOES WITH LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS IN VEGETABLE CROP ROTATION

S.M. Nadezhkin, M.Yu. Markarova, S.A. Tyuleikin, E.V. Kashnova

Abstract. In a long-term experiment with various fertilizer systems on leached chernozem, a comparative assessment of their impact on soil fertility indices, yield and quality of tomato and potato products was carried out. Statistical processing of experimental data was carried out, which allowed determining the optimal doses of mineral fertilizers for mineral and organo-mineral fertilizer systems.

Key words: fertilizers, tomato, potato, fertility, biochemical composition.

УДК 631.81:631.84:631.86+63:54

О ПИТАНИИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР МИНЕРАЛЬНЫМ АЗОТОМ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ОПОЛЬЯ

В.В. Окорков

*Верхневолжский ФАНЦ,
E-mail: Okorkovvv@yandex.ru*

Аннотация. На основании длительных исследований, проводимых на серых лесных почвах Владимирского ополья, дано развитие представлений о питании полевых культур минеральными формами азота. Установлено, что после длительного применения высоких доз удобрений в опыте с применением умеренных доз органических и минеральных удобрений в 1-й

и 2-й ротациях 8-польного севооборота и 3-й 7-польного в питании полевых культур наряду с N-NO_3 участвовал и N-NH_4 , в 4-й ротации – преимущественно лишь N-NO_3 . Предложено оценивать участие минеральных форм азота в питании полевых культур по соотношению содержания N-NO_3 в почве к содержанию N-NH_4 в водной вытяжке 1:1 (нитратно-аммониевое соотношение NAR). Выполнена оценка формирования N-NO_3 за периоды вегетации культур и за вегетацию.

Ключевые слова: нитратный азот; аммонийный азот; отношение содержаний нитратного азота в почве к аммонийному в водной вытяжке 1:1; мобильный фонд азота; запасы N-NO_3 в почве за периоды вегетации культур и вегетацию.

В работах [1, 2] выявлена определяющая роль азотных минеральных удобрений в повышении урожайности полевых культур 7- и 8-польных севооборотов. При этом, главенствующее влияние на урожай и его качество оказывали запасы N-NO_3 в слое почвы 0-40 см, накопленные в ранние фазы роста и развития возделываемых культур, хотя исследованиями Д.Н. Прянишникова [3] в водных культурах выявлена возможность активного поглощения ими как нитратного, так и аммонийного азота.

Данные по влиянию удобрений на средние за 1-ю и 2-ю ротации продуктивность 8-польного севооборота и запасы минеральных форм азота в слое почвы 0-40 см в опыте, заложенном в 1991-1993 гг., подтвердили определяющую роль N-NO_3 в повышении урожайности возделываемых культур (таблица 1).

Средние за 1-ю и 2-ю ротации запасы N-NO_3 в слое почвы 0-40 см в вариантах 1-3 без применения азотных минеральных удобрений составляли 45-47 кг/га, при внесении одинарной и двойной доз полного минерального удобрения возросли в 2,2-3,3 раза (до 100-150 кг/га), при сочетании с ними доз навоза 40-80 т/га – в 2,3-3,5 раз (до 104-159 кг/га). Дозы навоза, их сочетания с РК удобрениями слабо увеличивали эти запасы. Средняя продуктивность севооборота резко повышалась (с ростом запасов N-NO_3) при применении доз полного минерального удобрения и их сочетания с навозом КРС (на 7,9-12,3 ц/га з.е.). От доз навоза продуктивность севооборота возросла на 3,3-4,9 ц/га з.е., их сочетания с РК удобрениями – на 4,1-5,9 ц/га з.е. Чем выше была продуктивность севооборота, тем сильнее происходило снижение запасов N-NO_3 в середине вегетации культур по сравнению с 1-м сроком.

Таблица 1 – Влияние систем удобрения на продуктивность культур 8-польного севооборота и средние запасы N-NO₃ и N-NH₄ в слое почвы 0-40 см в начале и середине их вегетации (в среднем за 1 и 2 ротации, 1991-2008 гг.)

Вариант	Средняя продукт., ц/га з.е.	Запасы N-NO ₃ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов N-NO ₃ во 2-й срок по сравнению с 1-м		Запасы N-NH ₄ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов N-NH ₄ во 2-й срок по сравнению с 1-м	
			кг/га	%		кг/га	%
1.Контроль	31,0	45	25	56	178	14	7,9
2.Известь (Ф)	30,1	47	23	49	174	13	7,5
3.Ф+РК	32,6	46	23	50	182	19	10
4.Ф+NPK	38,0	100	63	63	185	24	13
5.Ф+2 NPK	40,8	150	83	55	194	25	13
6.Ф+H40	33,4	46	27	59	184	20	11
7.Ф+H60	35,0	50	28	56	188	24	13
8.Ф+H80	34,6	50	27	54	189	21	11
9.Ф+H40+РК	34,2	46	25	54	180	16	8,9
10.Ф+H40+NPK	39,8	104	64	62	186	29	16
11.Ф+H40+2NPK	42,2	155	86	55	191	25	13
12.Ф+H60+ РК	34,9	50	27	54	190	18	10
13.Ф+H60+ NPK	40,5	104	63	60	187	26	14
14.Ф+H60+2 NPK	41,6	150	83	55	192	21	11
15.Ф+H80+РК	35,9	59	35	59	182	19	10
16.Ф+H80+ NPK	41,1	110	69	63	186	23	12
17.Ф+H80+2 NPK	42,4	159	85	53	201	26	13

Примечания. 1. 1-й срок: фаза всходов, отрастания; 2-й срок: колошение зерновых, бутонизация-цветение трав.

2. Ежегодное применение под культуры севооборота: РК – Р40К40, NPK – N40P40K40, 2NPK – N80P80K80 (N40P80K80 – под травы 1-го года пользования).

3. H40, H60 и H80 – применение соответственно 40, 60 и 80 т/га навоза КРС после уборки занятого пара.

4. 8-польный севооборот: занятый пар – озимая рожь – картофель – овес с подсевом трав – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования – озимая рожь – ячмень.

В вариантах применения NPK и сочетания его с навозом КРС оно достигало 63-86 кг/га или 53-63%. В то же время снижение запасов N-NH₄ в слое почвы 0-40 см во 2-й срок наблюдения по сравнению с 1-м варьировало от 13 до 29 кг/га или 7,5-16%, то есть было в несколько раз более низким.

В таблица 2 и 3 приведены данные по влиянию систем удобрения на продуктивность культур 7-польного севооборота и средние запасы N-NO₃ и

N-NH₄ в слое почвы 0-40 см в начале и середине их вегетации за 3-ю и 4-ю ротации.

Таблица 2 – Влияние систем удобрения на продуктивность культур 7-польного севооборота и средние запасы N-NO₃ и N-NH₄ в слое почвы 0-40 см в начале и середине их вегетации (в среднем за 3-ю ротацию, 2007-2015 гг.)

Вариант	Средняя продукт., ц/га з.е.	Запасы N-NO ₃ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов N-NO ₃ во 2-й срок по сравнению с 1-м		Запасы N-NH ₄ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов N-NH ₄ во 2-й срок по сравнению с 1-м	
			кг/га	%		кг/га	%
1.Контроль	30,8	42,2	24,1	57	98,1	13,8	14
2.Известь (Ф)	30,2	42,4	22,8	54	98,2	13,4	14
3.Ф+РК	33,5	44,1	25,1	57	96,0	12,8	13
4.Ф+NPK	39,7	90,0	61,3	68	107	8,0	7,5
5.Ф+2 NPK	42,6	123	78,2	64	118	11,4	11
6.Ф+N40	33,8	46,5	26,0	56	104	11,3	11
7.Ф+N60	35,0	50,6	28,3	56	106	14,2	13
8.Ф+N80	35,3	51,3	31,5	61	105	14,0	13
9.Ф+N40+РК	35,6	47,1	27,7	59	109	13,1	12
10.Ф+N40+NPK	40,9	97,5	64,5	66	114	20,0	18
11.Ф+N40+2NPK	43,0	144	97,1	67	123	30,2	25
12.Ф+N60+ РК	36,3	51,0	30,2	59	110	16,3	15
13.Ф+N60+ NPK	41,0	101	65,7	65	115	25,1	22
14.Ф+N60+2 NPK	44,0	150	102	68	136	30,5	22
15.Ф+N80+РК	37,1	56,8	32,9	58	102	20,2	20
16.Ф+N80+ NPK	41,4	111	77,6	70	116	22,6	20
17.Ф+N80+2 NPK	45,5	160	109	68	127	33,1	26

Видно, что закономерности в изменении запасов N-NO₃ в 1-й срок наблюдений, их снижении во 2-й срок по сравнению с 1-м и влияние на продуктивность 7-польного севооборота были такими же, как и в 1-й и 2-й ротациях. Однако средние запасы N-NH₄ в слое почвы 0-40 см по сравнению с 1-й и 2-й ротациями в 3-й снижались со 178-201 до 96-127 кг/га (в 1,58-1,85 раз), в 4-й – до 42-68 кг/га (3,0-4,2 раза). В 3-й ротации во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м также наблюдали снижение запасов N-NH₄ на 8,0-33 кг/га, а в 4-й ротации этот параметр не уменьшался. Следовательно, в 3-й ротации 7-польного севооборота аммонийный азот продолжал участвовать в питании полевых культур, в то время как в 4-й его непосредственное участие в питании азотом было весьма слабым. При этом

продуктивность севооборотов практически не изменялась. Это объяснялось тем, что в ранний период вегетации культур в их питании участвовал минеральный азот мобильного фонда (МФ) [2,4]. В него входил весь нитратный азот, так как он не поглощается ППК, и часть $N-NH_4$ почвы, переходящая в жидкую фазу. Её определяли делением снижения запасов $N-NH_4$ в почве во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м на долю снижения запасов $N-NO_3$ за этот период.

Таблица 3 – Влияние систем удобрения на продуктивность культур 7-польного севооборота и средние запасы $N-NO_3$ и $N-NH_4$ в слое почвы 0-40 см в начале и середине их вегетации (в среднем за 4-ю ротацию, 2014-2022 гг.)

Вариант	Средняя продукт., ц/га з.е.	Запасы $N-NO_3$ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов $N-NO_3$ во 2-й срок по сравнению с 1-м		Запасы $N-NH_4$ в 1-й срок, кг/га	Уменьшение запасов $N-NH_4$ во 2-й срок по сравнению с 1-м	
			кг/га	%		кг/га	%
1.Контроль	31,9	39,3	21,3	54	42	-8	-19
2.Известь (Ф)	32,2	42,3	22,9	54	46	-5	-11
3.Ф+РК	34,7	42,7	24,0	56	48	-4	-8,3
4.Ф+NPK	40,5	100	67,1	67	54	-2	-,37
5.Ф+2 NPK	42,2	147	93,9	64	60	0	-
6.Ф+H40	36,4	46,4	25,1	54	47	-8	-17
7.Ф+H60	37,4	55,3	32,7	59	52	-3	-5,8
8.Ф+H80	37,9	56,0	34,3	61	52	-8	-15
9.Ф+H40+РК	37,1	51,8	30,4	59	51	-8	-16
10.Ф+H40+NPK	41,9	107	71,4	67	54	-4	-7,4
11.Ф+H40+2NPK	43,6	157	104	66	67	-1	-1,5
12.Ф+H60+ РК	37,7	55,4	32,9	59	47	-8	-17
13.Ф+H60+ NPK	42,7	112	76,0	68	57	-4	-7,0
14.Ф+H60+2 NPK	43,3	162	108	67	67	0	-
15.Ф+H80+РК	39,1	65,7	39,4	60	54	-5	-9,3
16.Ф+H80+ NPK	43,1	118	75,9	64	60	-1	-1,7
17.Ф+H80+2 NPK	44,0	171	110	64	68	3	4,4

Примечание. В 3-й и 4-й ротациях из севооборота выведен картофель.

Как видно из данных таблицы 4, в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота величина мобильного фонда азота в вариантах опыта варьировала от 70 до 208 кг/га, в 3-й ротации – от 66 до 209 кг/га. В 4-й ротации севооборота из-за низкой концентрации $N-NH_4$ в жидкой фазе в питании полевых культур азотом участвовал преимущественно $N-NO_3$,

запасы которого совпадали с МФ азота. По проведенным расчетам, в МФ азота в 1-й и 2-й, 3-й ротациях на 54-88% преобладал нитратный азот, а в 4-й ротации он был близок к 100%.

Таблица 4 – Средние размеры мобильного фонда (МФ) азота в слое почвы 0-40 см и доля в нем N-NO₃ в зависимости от систем удобрения по ротациям севооборотов

Вариант	МФ азота, кг/га	Доля N- NO ₃ в МФ	МФ азота, кг/га	Доля N- NO ₃ от МФ	МФ азота, кг/га
	1-я и 2- ротации, 1991- 2008 гг.		3-я ротация, 207-2015 гг.		4-я ротация, 2014-2022 гг.
1.Контроль	70	0,64	66	0,64	39,3
2.Известь (Ф)	73	0,64	67	0,63	42,3
3.Ф+РК	84	0,55	66	0,67	42,7
4.Ф+NPK	138	0,72	102	0,88	100
5.Ф+2 NPK	195	0,77	141	0,87	147
6.Ф+H40	84	0,60	66	0,70	46,4
7.Ф+H60	93	0,54	76	0,67	55,3
8.Ф+H80	88	0,56	74	0,69	56,0
9.Ф+H40+РК	76	0,60	69	0,68	51,8
10.Ф+H40+NPK	151	0,69	128	0,77	107
11.Ф+H40+2NPK	200	0,78	193	0,75	157
12.Ф+H60+ РК	83	0,60	79	0,65	55,4
13.Ф+H60+ NPK	147	0,71	140	0,72	112
14.Ф+H60+2 NPK	188	0,80	195	0,77	162
15.Ф+H80+РК	91	0,65	92	0,62	65,7
16.Ф+H80+ NPK	147	0,75	143	0,78	118
17.Ф+H80+2 NPK	208	0,76	209	0,77	171

Исследования показали весьма тесную взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (У, ц/га з.е.) с запасами N-NO₃ в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур (Х, кг/га) и мобильным фондом азота (Z, кг/га) (таблица 5). Между этими параметрами наблюдалась тесная взаимосвязь по линейной, степенной и квадратичной зависимостям, особенно высокая по последней. В таблице 5 приведена взаимосвязь по линейной зависимости.

Таблица 5 – Линейная взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y, ц/га з.е.) с запасами N-NO₃ в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур (X, кг/га) и мобильным фондом азота (Z, кг/га) по ротациям

Ротация севооборота	Уравнение взаимосвязи, n = 17	Изменение значений «X» и «Z»	R ²
Взаимосвязь с запасами нитратного азота (X)			
1-я и 2-я ротации	$Y = 29,6 + 0,0844 X$	45<X<159	0,856
3-я ротация	$Y = 29,3 + 0,104 X$	42<X<160	0,891
4-я ротация	$Y = 32,4 + 0,075 X$	39<X<171	0,812
Взаимосвязь с мобильным фондом азота			
1-я и 2-я ротация	$Y = 27,4 + 0,077 Z$	70<Z<208	0,882
3-я ротация	$Y = 28,4 + 0,086 Z$	66<Z<209	0,855

Из данных таблица 1-4 вытекает, что доля N-NO₃ в МФ азота возрастает с уменьшением в почве запасов N-NH₄. Поэтому была предложена более корректная оценка роли минеральных форм азота в питании полевых культур по отношению содержания нитратного азота в почве к содержанию аммонийного азота в водной вытяжке 1:1 (нитратно-аммониевое соотношение, NAR) [5]. Чем выше это соотношение, тем выше участие N-NO₃ в питании культур азотом. Ценность этого параметра и в том, что он определяется не в среднем за севооборот, а для любой культуры в отдельные периоды вегетации. Содержание N-NH₄ в водной вытяжке определяется с помощью ионоселективного электрода на ионы NH₄⁺.

Установлено [6], что переход N-NH₄ почвы в жидкую фазу возрастает с увеличением содержания N-NH₄ в почве, её гумусированности, но снижается с увеличением емкости катионного обмена и содержания в высокодисперсной части почвы минералов гидрослюдистого и монтмориillonитового составов, их смешанно-слоистых образований. Слюда-сметитовые и хлорит-сметитовые образования широко представлены в илистой фракции серых лесных почв Владимирского ополья, слюды и гидрослюды – дерново-подзолистых почв Ярославской области [7]. Легкие песчаные и супесчаные почвы Мещеры, характеризующиеся низкой емкостью катионного обмена, отличались высокой степенью перехода ионов NH₄⁺ в жидкую фазу, соответственно высоким участием N-NH₄ в питании

культур азотом. На более тяжелых суглинистых почвах Владимирского ополья с повышением степени перехода $N-NH_4$ в жидкую фазу возрастали и процессы нитрификации. В ранний весенний период при благоприятных условиях увлажнения и быстром нарастании температур воздуха при внесении азотных минеральных удобрений они обеспечивали полевые культуры высокими запасами $N-NO_3$, что резко повышало их продуктивность (таблица 1-3).

В таблице 6 приведена взаимосвязь между содержанием $N-NH_4$ в почве и водной вытяжке в слое почвы 0-20 см в 2007 (конец 2-й ротации) и 2020 гг. (конец 4-й ротации) под ячменем.

Таблица 6 – Влияние удобрений на содержание в слое почвы 0-20 см минеральных форм азота и $N-NH_4$ в водной вытяжке 1:1, величину NAR во 2-й и 4-й ротациях (2007 и 2020 гг.) в фазу колошения ячменя

Вариант	Содержание $N-NH_4$ в 2007 году в мг/100 г		Доля перехода $N-NH_4$ в жидкую фазу в 2007 году, %	Содержание $N-NH_4$ в 2020 году в мг/100 г		Доля перехода $N-NH_4$ в жидкую фазу в 2020 году, %	NAR в годы	
	в солевой вытяжке	в водной вытяжке		в солевой вытяжке	в водной вытяжке		2007	2020
2	6,92	0,377	5,45	1,05	0,0122	1,16	1,62	18,0/171
3	4,40	0,161	3,66	0,97	0,00532	0,55	4,97	24,6/119
4	4,65	0,193	4,15	1,20	0,0128	1,07	9,43	31,6/250
5	4,10	0,153	3,73	1,20	0,0147	1,22	17,2	32,6/231
7	5,26	0,202	3,91	1,0,8	0,00720	0,67	3,42	33,5/146
13	6,02	0,279	4,63	1,09	0,0114	1,05	9,43	26,0/196
14	6,79	0,413	6,08	1,32	0,0202	1,53	11,1	27,3/121

Примечания. 1) 1-й срок – всходы; 2-й – фаза колошения; 3-й срок – после уборки.

2) Варианты: 2 – последствие извести (Φ), 3 – Φ + PK, 4 – Φ + N40P40K40, 5 – Φ + N80P80K80, 7 – Φ + последствие навоза 60 т/га, 13 – Φ + последствие навоза 60 т/га + N40P40K40, 14 – Φ + последствие навоза 60 т/га + N80P80K80.

3) Для 2020 года в знаменателе представлены данные отношения содержания нитратного азота в почве к содержанию $N-NH_4$ в водной вытяжке (NAR) для фазы всходов.

Они подтвердили вывод о заметном участии $N-NH_4$ в питании азотом возделываемых культур в 1-й и 2-й, 3-й ротациях 8- и 7-польного севооборотов (таблица 1 и 2). Так, в 2007 г. в фазу колошения ячменя содержание $N-NH_4$ в почве было в 4-5 раз более высоким, чем в 2020 году, а

его концентрация в водной вытяжке – в десятки раз, степень перехода $N-NH_4$ в жидкую фазу – в 4-10 раз. Это привело к варьированию величины NAR в 2007 году от 1,62 до 17,2, а в 2020 – от 15,3 до 52,9 (80 т/га навоза + 2 NPK). В 2007 году при максимальной величине NAR 17,2 минимальная доля $N-NH_4$ от суммы $N-NH_4$ и $N-NO_3$ в жидкой фазе почвы в варианте применения двойной дозы NPK составляла 5,5% $\{100:(17,2 + 1) = 5,5\}$, а максимальная в варианте фона известкования – 38,2% $\{100:(1,62 + 1) = 38,2\}$. В 2020 году в фазу колошения величина указанного параметра в варианте с двойной дозой NPK была равна 3,0% (NAR = 32,6), а максимальная в варианте 2 (фон известкования) – 5,3% (NAR = 18,0). В фазу всходов в 2020 году для последних вариантов этот параметр составлял 0,4 и 0,6%.

В зависимости от структурно-механического состояния почвы, зависящегося от температуры и её влажности, гранулометрического состава и чередования условий увлажнения и высыхания, изменяется и величина NAR по фазам развития растений, участие форм азота в их питании.

В годы наблюдений в фазу всходов яровой пшеницы доля $N-NH_4$ в жидкой фазе почвы от суммы нитратного и аммонийного азота в ней в слоях почвы 0-20 и 20-40 см варьировала от 0,3 до 3,5%. В засушливом 2021 году в фазу колошения по последствию 60 т/га навоза КРС в слое почвы 20-40 см она достигала 10%. В целом же, данные таблицы 7 подтверждают определяющую роль $N-NO_3$ в питании яровой пшеницы в 4-й ротации. В работе [8] на серых лесных почвах Владимирского ополья это было установлено и для других культур 7-польного зернотравяного севооборота.

Определяющая роль $N-NO_3$ в питании растений позволяет оценивать размеры образования нитратного азота в разные периоды вегетации яровой пшеницы: до всходов, от всходов до колошения и от колошения до уборки.

Для примера, общие размеры формирования $N-NO_3$ за достаточно благоприятный вегетационный период 2019 г. находили суммированием выноса азота зерном и соломой яровой пшеницы, пожнивно-корневыми остатками [8, 9] и запасов $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см после уборки (таблица 8).

В период всходов запасы $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см в вариантах без азотных удобрений (вар. 1-3) изменялись в пределах 46,4-60 кг/га, последствия органических удобрений и их сочетания с фосфорно-калийными – 51,7- 83,1, в удобренных азотом селитры – 152-243 кг/га. В последнем случае они увеличивались в большей мере, чем применяемые дозы азота селитры.

Таблица 7 – Отношение содержания N-NO₃ в почве к содержанию N-NH₄ в водной вытяжке 1:1 (NAR) в ряде вариантов опыта за 2019-2021 гг. в слое почвы 0-40 см на яровой пшенице, идущей по пласту многолетних трав

Вариант опыта	Слой почвы, см	2019 год			2020 год			2021 год		
		1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
2	0-20	108	241	357	106	54,0	207	51,6	15,6	98,2
	20-40	152	290	297	192	113	236	40,0	12,1	276
3	0-20	75,0	130	225	149	15,3	146	50,7	13,7	200
	20-40	108	197	232	137	82,3	73,0	40,1	12,1	655
4	0-20	149	103	192	150	36,6	45,0	65,1	19,2	247
	20-40	56,5	98,6	291	116	124	111	96,7	20,5	1020
5	0-20	27,8	101	160	175	35,7	41,9	163	72,9	574
	20-40	58,0	196	163	363	37,3	33,4	176	67,8	1100
7	0-20	66,6	119	133	171	20,2	73,8	51,6	14,9	107
	20-40	76,4	163	292	202	31,9	149	54,4	9,00	995
13	0-20	103	216	284	202	68,1	63,4	87,8	27,2	159
	20-40	96,5	210	393	319	80,8	152	48,2	25,9	283
14	0-20	65,1	72,6	127	76,6	23,7	68,3	41,1	32,7	164
	20-40	106	139	539	63,6	43,9	146	35,0	27,7	297

Таблица 8 – Размеры формирования N-NO₃ в слое почвы 0-40 см по периодам вегетации яровой пшеницы за 2019 год (ГТК = 1,33), кг/га

Вариант опыта	Вынос N урожаем		Запасы в уборку	Общие размеры формирования	Запасы в фазу всходов	Прирост запасов от всходов до колошения	Вынос N до колошения	Образование от всходов до колош.	Образование до колошения	Образование от колошения до уборки
	зерно и солома	познивно-корневые остатки								
2.	130	28,3	49,3	208	60,0	-12,1	91,0	78,9	139	69
3.	125	25,7	53,6	204	54,1	-7,3	87,5	80,2	134	70
4.	146	32,8	79,1	258	152	13	102	115	267	-
5.	166	37,1	102	305	175	9	116	125	300	5
7.	141	32,0	65,1	238	53,8	17,9	98,7	117	180	58
13.	168	35,8	68,5	272	161	-30	118	88	249	23
14.	178	37,6	75,8	291	234	-32	125	93	327	-

Примечание. Вынос азота до колошения принят в размере 70% от выноса зерном и соломой яровой пшеницы [10, 11].

Изменения запасов N-NO₃ от всходов до колошения были невысокими, что связано с интенсивным поглощением культурой. Увеличение их (прирост положительный) означало, что нитрификация за этот период обеспечивала

наряду с компенсацией выноса азота культурой (около 70% от максимального выноса азота) [10, 11] и небольшой рост их. При отрицательном приросте часть нитратного азота, накопившегося до всходов, потреблялась растениями; другую часть вынесенного до колошения азота растения потребляли из вновь образовавшихся нитратов. На основании этих данных были рассчитаны размеры образовавшегося $N-NO_3$ от всходов до колошения. Они варьировали от 62 до 134 кг/га, были более высокими в вариантах последствия органических удобрений (около 118 кг/га), сочетания их с РК (126-134 кг/га), действия доз NPK (115 и 125 кг/га), более низкими – в вариантах 1-3 (78,9-88,0 кг/га) и сочетания последствия доз навоза КРС 40-60 т/га с NPK (74,0-93,0).

В период от колошения до уборки нитрификационные процессы более активно протекали в вариантах без применения азотных удобрений (вар. 1-3), последствия органических удобрений и сочетания их с РК. Резкое снижение их наблюдали в вариантах с применением NPK и сочетания последних с навозом КРС. В этих случаях процессы нитрификации более активно протекали в предыдущие сроки, особенно до фазы всходов. Следовательно, в 2019 г. процессы нитрификации относительно равномерно, но с невысокой скоростью протекали в течение всей вегетации культуры в вариантах без удобрений и последствия навоза КРС. Использование минеральных азотных удобрений заметно ускоряло их в ранние сроки вегетации культуры (до колошения), но резко снижало от колошения до уборки.

Подтверждено, что размеры выноса азота элементами урожая яровой пшеницы и коэффициенты использования общих размеров образования азота нитратов за вегетацию на его вынос зерном (KI_1); зерном и соломой (KI_2); зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (KI_3) были более высокими в благоприятном 2019 г., чем засушливом 2021 (таблица 9 и 10).

Видно также (таблица 10), что с увеличением дозы NPK от одинарной до двойной в среднем по применению доз навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га за ротацию) коэффициенты использования KI_1 , KI_2 и KI_3 существенно снижаются, что подтверждает оптимальность применения на серых лесных почвах Владимирского ополья одинарной дозы полного минерального удобрения. Применение её в сочетании с навозом КРС в дозах от 40 до 80 т/га за ротацию 7-польного севооборота обеспечивает положительный баланс гумуса, азота и фосфора, небольшой допустимый отрицательный баланс калия [8].

Таблица 9 – Вынос азота элементами урожая яровой пшеницы (кг/га) и коэффициент использования ими общих размеров образуемого N-NO₃ за вегетационный период в 2019 году (%)

Вариант	Зерно	Зерно + солома	Зерно + солома + ПКО	Накопление азота за вегетацию	КИ ₁	КИ ₂	КИ ₃
	кг/га				%		
2.Известь	84,9	130	158	208	40,8	62,5	76,0
3.P40K40	83,2	125	151	204	40,8	61,3	74,0
4. N40P40K40	95,6	146	179	258	37,0	56,6	69,4
5.N80P80K80	104	166	203	305	34,1	54,4	66,6
7.H60	90,7	141	173	238	38,1	59,2	72,7
13.H60 + N40P40K40	105	168	204	272	38,6	61,8	75,0
14.H60 + N80P80K80	111	178	216	291	38,1	61,2	74,2

В работе [4] было предложено оценивать среднюю величину МФ азота на серых лесных почвах Ополя в ранний период вегетации культур и по мобилизационному пулу азота. В первом приближении размеры среднегодового мобилизационного пула азота (S_N) оценивали суммой азота минеральных удобрений и половиной азота органических (навоз КРС), в том числе и симбиотически связанного азота бобовыми культурами:

$$S_N = D_{Nm} + \frac{1}{2} D_{No} + \frac{1}{2} D_{Nb},$$

где D_{Nm} – среднегодовая доза азота минеральных удобрений, кг/га;

D_{No} – среднегодовая доза азота органических удобрений, кг/га;

D_{Nb} – среднегодовые размеры азота, симбиотически связываемого бобовыми культурами за севооборот, кг/га.

Это обусловлено тем, что за севооборот прибавка от 1 кг азота навоза КРС примерно в 2 раза ниже, чем от азота минеральных удобрений. Влияние азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур на урожайность полевых культур приближается к действию азота минеральных удобрений. Но в пожнивно-корневых остатках запасы фиксируемого азота примерно в 2 раза ниже общих размеров азотфиксации.

В опыте средняя ежегодная составляющая мобилизационного пула азота от доз органических удобрений 40, 60 и 80 т/га в 4-й ротации 7-польного севооборота при содержании азота в навозе 0,45% равнялась соответственно 12,9, 19,3 и 25,8 кг/га. За мобильный фонд азота в этом случае были приняты размеры формирования нитратного азота за вегетацию культуры (таблица 8).

Таблица 10 – Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накапливаемых за период вегетации, на вынос азота элементами урожая яровой пшеницы в 2021 году (ГТК = 1,04), %

Доза последействия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Средний по навозу	Изменение
	0	РК	НРК	2 НРК		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ ₁)						
-	35,8	32,7	31,1	24,3	31,0	-
40	38,2	35,7	33,0	23,3	32,6	1,6
60	33,3	33,7	32,3	25,5	31,2	0,2
80	32,1	34,9	32,4	22,1	30,4	-0,6
Средний по минеральным удобрениям	34,8	34,2	32,2	23,8		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ ₂)						
-	41,8	39,2	36,9	29,5	36,8	-
40	46,2	41,2	40,0	28,9	39,1	2,3
60	40,4	40,2	40,4	31,6	38,2	1,4
80	39,9	41,8	40,6	27,0	37,3	0,5
Средний по минеральным удобрениям	42,1	40,6	39,5	29,2		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ ₃)						
-	46,6	44,2	41,9	33,7	41,6	-
40	52,4	45,5	45,4	33,4	44,2	2,6
60	46,2	45,0	46,8	36,4	43,6	2,0
80	46,3	46,6	46,6	30,6	42,5	0,9
Средний по минеральным удобрениям	47,9	45,3	45,2	33,5		

Примечание. Коэффициент использования общих размеров накопления N-NO₃ за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 34,7%; зерном и соломой – 42,8; зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 49,1%.

В таблице 11 на 6-й культуре 7-польного севооборота 4-й ротации в среднем за 3 года (2019-2021 гг.) изучена взаимосвязь мобилизационного пула азота (S_N) с запасами N-NO₃ (экспериментальный МФ азота за вегетацию), формируемыми за вегетацию яровой пшеницы (Z, кг/га), идущей по пласту трав 2-го года пользования. Она описывалась следующим линейным уравнением:

$$Y = 171 + 1,15 S_N, n = 15, R^2 = 0,954, \text{ дов. инт.} = 18 \text{ кг/га N-NO}_3.$$

Таблица 11 – Влияние удобрений на мобилизационный пул азота S_N и запасы $N-NO_3$, формируемые за вегетацию яровой пшеницы (Z , кг/га), идущей по пласту трав, её урожайность (2019-2021 гг.)

Дозы удобрений	S_N , кг/га	Z , кг/га	Рассч. запасы $N-NO_3$ за вегетацию (Y , кг/га)	$K_{исп.}$ $N-NO_3$ на вынос зерном	Вынос N зерном, кг/га		Среднее содерж. N в зерне, %	Ур-ть зерна яровой пшеницы, ц/га	
					эксп.	рас-чит.		эксп.	рас-читан.
1. Без N и навоза	0	164	171	0,408	66,4	69.8	2,17	30,6	32,2
2. $N40P40K40$	40	219	217	0,393	83,9	85.3	2,28	36,8	37,4
3. $N80P80K80$	80	283	263	0,335	91,3	88.1	2,34	39,0	37,6
4. Навоз 40 т/га ($H40$)	12,9	184	186	0,393	72,3	73.1	2,19	33,0	33,4
5. $H60$	19,3	196	193	0,403	78,2	77.8	2,26	34,6	34,4
6. $H80$	25,8	208	200	0,380	78,6	76.0	2,26	34,8	33,6
7. $H40 + P40K40$	12,9	191	186	0,406	76,7	75.5	2,18	35,2	34,6
8. $H40 + N40P40K40$	52,9	222	232	0,394	88,0	91.4	2,34	37,6	39,1
9. $H40 + N80P80K80$	92,9	281	277	0,334	92,0	92.5	2,42	38,0	38,2
10. $H60 + P40K40$	19,3	201	193	0,406	80,1	78.4	2,25	35,6	34,8
11. $H60 + N40P40K40$	59,3	231	239	0,383	89,0	91.5	2,33	38,2	39,3
12. $H60 + N80P80K80$	99,3	277	285	0,342	95,0	97.5	2,43	39,1	40,1
13. $H80 + P40K40$	25,8	195	200	0,405	78,3	81.0	2,25	34,8	36,0
14. $H80 + N40P40K40$	65,8	233	246	0,382	89,3	94.0	2,35	38,0	40,0
15. $H80 + N80P80K80$	106	295	292	0,329	95,2	96.1	2,44	39,0	39,4

Рассчитанные по этому уравнению запасы $N-NO_3$ (МФ азота за вегетацию; Y , кг/га) были близки к экспериментальным. В среднем за 3 года угловой коэффициент при S_N (1,15) был выше 1,0. Это свидетельствует о том, что дополнительно образованные подвижные формы азота формируются за счет трансформации почвенного азота и растительных остатков. В варианте

без азота и навоза запасы $N-NO_3$ формируются за счет снижения почвенного плодородия. МФ азота за вегетацию зависит от предшественника и погодных условий [8].

Рассчитанный вынос азота зерном определяли по произведению рассчитанных запасов $N-NO_3$ на экспериментальный $K_{исп}$, а рассчитанная урожайность зерна – по экспериментальному содержанию в нем азота. Экспериментальные и рассчитанные параметры были близкими. Эти данные подтверждают применимость представлений о формировании мобильного фонда азота серых лесных почв Ополя через трансформацию его мобилизационного пула.

Список литературы

1. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль. 2017. 176 с.
2. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Серые лесные почвы Владимирского ополя и эффективность использования их ресурсного потенциала. – Иваново: ПресСто, 2021. 188 с.
3. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т.3. Общие вопросы земледелия и химизации. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. 647 с.
4. Окорков В.В. Модели продуктивности зернового севооборота на серых лесных почвах Верхневолжья // Российская сельскохозяйственная наука. № 1. 2018. С. 30-34.
5. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Удобрения и питание азотом яровой пшеницы на серых лесных почвах // Агрохимический вестник. 2023. № 1. С. 35-42.
6. Окорков В.В., Щукин И.М., Окоркова Л.А., Щукина В.И., Козлов А.А. Изменение содержания подвижных форм азота в серых лесных почвах Ополя под влиянием ландшафтных особенностей агротехнологий // Агрохимия. 2023. № 1. С. 13-24.
7. Щукин Н.Н., Окорков В.В. Влияние помета кур на урожайность и содержание NPK в зерне фуражных культур в условиях Верхневолжья // Владимирский земледелец. № 2(104). 2023. С. 48-55.
8. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Коновалова Л.К. Серые лесные почвы Владимирского ополя, их формирование и оценка ресурсного потенциала:

удобрение и питание полевых культур. МИНОБРНАУКИ РФ, ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». Суздаль-Воронеж, 2023. 241 с.

9. Органические удобрения: Справочник / П.Д. Попов, В.И. Хохлов, А.А. Егоров и др. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с.

10. Агрохимия: Классический университетский учебник для стран СНГ. / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. Под редакцией В.Г. Минеева. М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.

11. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под редакцией Б.А. Ягодина. М.: Мир, 2003. 584 с.

ON THE NUTRITION OF FIELD CROPS WITH MINERAL NITROGEN ON GRAY FOREST SOILS OF OPOLYE

V.V. Okorkov

Annotation. Based on long-term studies conducted on the gray forest soils of the Vladimir Opolye, the development of ideas about the nutrition of field crops with mineral forms of nitrogen is given. It was found that after prolonged use of high doses of fertilizers in the experiment with moderate doses of organic and mineral fertilizers in the 1st and 2nd rotations of the 8-pole crop rotation and the 3rd 7-pole, N-NH₄ participated in the nutrition of field crops along with N-NO₃, in the 4th rotation - mostly only N-NO₃. It is proposed to evaluate the participation of mineral forms of nitrogen in the nutrition of field crops by the ratio of the content of N-NO₃ in the soil to the content of N-NH₄ in the aqueous extract 1:1 (nitrate-ammonium ratio NAR). The assessment of the formation of N-NO₃ during the growing season of crops and during the growing season was performed.

Keywords: nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; ratio of nitrate nitrogen in soil to ammonium nitrogen in aqueous extract 1:1; mobile nitrogen stock; N-NO₃ reserves in soil during the growing season of crops and vegetation.

УДК 631.1:633.2:633.8:635.1/8:631.8

ИЗУЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В СТЕПНОМ ПОВОЛЖЬЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

В.В. Пронько

ООО «Лайф Форс»

viktor-pronko@mail.ru

Аннотация. Обобщены результаты исследований за 2006-2023 гг. Объектами изучения были удобрения на основе гуминовых кислот производства ООО «Лайф Форс» (г. Саратов), а также зерновые, кормовые, технические, овощные и бахчевые культуры. Установлено положительное влияние гуминовых удобрений на энергию роста, полевую всхожесть семян, урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции. Увеличивая урожай, гуминовые удобрения повышают вынос из почвы элементов питания. Их целесообразно применять в сочетании с минеральными удобрениями. Обозначены вопросы, требующие своего разрешения, для повышения эффективности гуминовых удобрений на почвах засушливого Поволжья.

Ключевые слова: гуминовые удобрения; сельскохозяйственные культуры; Поволжье; урожайность; качество продукции.

На рубеже 20-го – 21-го веков в сельском хозяйстве России начали применять удобрения на основе гуминовых кислот. На сегодняшний день их широко используют практически во всех почвенно-климатических зонах. Большой интерес к этим формам удобрений и их востребованность сельхозтоваропроизводителями привели к увеличению объемов производства данной группы препаратов. По статистическим данным их выпуском занимаются более 60 предприятий, организаций и индивидуальных предпринимателей. Они предлагают около 200 наименований разной продукции, и этот список (как производителей, так и их удобрений) ежегодно увеличивается. Выпускаемые ими препараты в качестве действующего вещества содержат растворы солей гуминовых кислот, макро-, мезо- и микроэлементы, аминокислоты, биологически активные вещества, органические кислоты и другие компоненты.

На территории Российской Федерации до введения европейскими странами экономических санкций действовала небольшая группа

предприятий, которые для производства удобрений на основе гуминовых кислот использовали компоненты, поставляемые в нашу страну из Испании, Франции, Италии и Германии.

Анализ рынка гуминовых удобрений позволил выявить следующее. Во-первых, производители выпускают свою продукцию в виде растворов, порошков и гранул. По нашим наблюдениям на рынке доминируют жидкие препаративные формы. Во-вторых, имеет место неоднородность химического состава гуминовых удобрений. Объясняется это тем, что гуминовые кислоты экстрагируют из сырья разного качества и происхождения: из бурых углей, различных видов торфа, продуктов переработки древесины, донных отложений водоемов, отходов животноводства и т.п. Также надо иметь в виду, что ряд компаний выпускают только щелочные экстракты гуминовых кислот разной концентрации. В продукцию других производителей помимо гуминовых кислот вводятся насыщенные соли микроэлементов, росторегулирующих химических соединений, прилипателей и т.п.

Все указанные выше обстоятельства влияют на себестоимость продукта и существенным образом сказываются на цене реализации препаратов. На рынке этой группы товаров повсеместно и постоянно можно увидеть факты, когда препараты одного класса качества продаются в разных организациях по ценам, различающимся в 1,5-3 раза.

Анализ научных публикаций по рассматриваемой теме за последние 25 лет показал, что изучение гуминовых удобрений носит разрозненный характер. Проводятся и проводились единичные опыты с разными сельскохозяйственными культурами. Учитывая неоднородность почвенных и климатических условий Российской Федерации, а также большое число возделываемых видов растений, такое положение нельзя признать удовлетворительным.

Цель и задачи наших многолетних исследований – в лабораторных и полевых опытах изучить эффективность удобрений на основе гуминовых кислот, определить оптимальные дозы и сроки их внесения при возделывании зерновых, кормовых, технических и овощных культур, возделываемых на черноземных и каштановых почвах степного Поволжья.

На первом этапе исследований в 2006-2009 гг. была выполнена серия лабораторных опытов. В них определялось влияние удобрений на основе гуминовых кислот производства НПО «Сила жизни» (Гумат калия-натрия с микроэлементами и Реасил микро гидро микс) на прорастание и энергию

роста семян зерновых, кормовых, зернобобовых и технических культур. Было установлено, что энергия роста (количество семян, проросших на третьи сутки после начала опыта) под влиянием гуминовых удобрений повышалась по сравнению с контролем у всех видов растений (24 вида). Отмечено также увеличение в лабораторных условиях длины корешков на вариантах с гуматами. Так, семена озимой пшеницы, обработанные раствором Гумата калия-натрия с микроэлементами, имели энергию роста на 8-11% больше, чем на контроле. Длина их корешков при этом была в 2-3 раза выше контроля. У семян яровой пшеницы после обработки Гуматом энергия роста повысилась на 7-8%, а длина корешков – в 1,5 раза. Что касается лабораторной всхожести семян, то при закладке опытов использовались образцы, имеющие 92-96% всхожести семян и, естественно, различий между вариантами у большинства культур не наблюдалась. Они проявились только в опытах с растениями, имеющими в качестве соцветия метелку (просо, суданская трава, сахарное сорго, зерновое сорго). Поскольку в метелках этих культур присутствовали как полностью вызревшие семена, так и недозревшие, то удобрения на основе гуминовых кислот, активизируя биохимические процессы, повышали показатели лабораторной всхожести на 10% (просо) и до 12% (сорго сахарное).

Изучение полевой всхожести семян, обработанных гуминовыми удобрениями перед посевом, показало высокую эффективность данного агроприема. Так, в полевом опыте с озимой пшеницей, проведенном на черноземе южном Правобережья Саратовской области, при ее размещении в севообороте по непаровому предшественнику полевая всхожесть обработанных семян превышала контроль на 10-14% (по годам исследований). У яровой пшеницы превышение над контролем (сухие семена) после обработки раствором гуминового удобрения составляло 6-8%, после обработки чистой водой – 1,5%- 1,7%. В полевых опытах с кукурузой и зерновым сорго обработанные семена повысили полевую всхожесть соответственно на 6-9 и 8-12% [2, 3].

В этот же период времени началось проведение полевых опытов. Исследования выполнялись аспирантами кафедры агрохимии и почвоведения Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова. Объектами исследований были озимая пшеница [7], яровая пшеница [4], подсолнечник [16], кукуруза на зерно при орошении [18], овес [5], зерновое сорго [1], огурцы и томаты при орошении [16]. На поливных темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья проведены также опыты с

луком репчатым, капустой белокочанной поздней, свеклой столовой, свеклой кормовой, картофелем, морковью столовой, тыквой мускатной, арбузом при орошении. Основные результаты этих исследований публиковались ранее [9, 13]. Совместно с сотрудниками Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (г. Саратов) изучались гуминовые удобрения при возделывании сахарного сорго [6, 10], сои, нута, кукурузы на силос, ярового ячменя. В опытах с выращиванием саженцев плодовых и декоративных культур высокую эффективность показали сухие гуминовые почвоулучшители [11].

Обобщение и анализ результатов полевых опытов за 2006-2023 гг. позволили установить, что сельскохозяйственные культуры обладают разной степенью отзывчивости на гуминовые удобрения даже в одинаковых почвенно-климатических условиях. По величине полученных прибавок урожаев как абсолютных (в т/га), так и относительных (в % к контролю) изученные нами культуры можно расположить в следующие убывающей последовательности: овощные, бахчевые, картофель, кукуруза на зерно (орошение), подсолнечник, озимая пшеница, кормовые (кукуруза на силос, зерновое и сахарное сорго), яровые зерновые (яровая пшеница, яровой ячмень, просо, овес), зернобобовые (соя, нут).

При этом внутри каждой из обозначенных групп выявлены свои особенности действия удобрений на основе гуминовых кислот. Так, среди овощных культур максимальные прибавки урожая (как абсолютные, так и относительные) во все годы исследований отмечали в опытах с огурцом – 12,06 т/га или 66% к контролю. Морковь столовая в условиях наших экспериментов после применения гуминовых удобрений показала прибавку урожая 8,76 т/га или 32% к контролю [15]. Безусловно, на эффективность удобрений оказывали свое влияние и сортовые особенности культур. Так, на орошаемых темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья сорт картофеля Розара дал прибавку урожая выше, чем сорт Сильвана (на 0,49 т/га больше в среднем за три года).

Во все годы исследований в опытах с томатами, огурцами открытого грунта и луком репчатым после двух-трехкратного опрыскивания вегетирующих растений такими препаратами как Реасил микро гидро микс или Реасил карб азот гумик повышалась не только урожайность названных культур. Увеличивался и выход на 8-12% товарной продукции, отвечающей требованиям, предъявляемым к реализации свежих овощей в розничной продаже.

Что касается подсолнечника и орошаемой кукурузы на зерно, то их прибавки урожая (в процентах контрольному варианту), как отмечалось выше, уступали овощным и бахчевым культурам. Но при этом следует отметить, что по годам исследований показатели прироста урожая были достаточно стабильными и находились в интервале 20-25%.

Степень отзывчивости зерновых культур (озимая и яровая пшеница, яровой ячмень, овес, просо, зерновое сорго) зависела не только от вида, дозы и кратности применения гуминовых препаратов, но и от почвенно-климатических и погодных условий, особенностей технологических приемов возделывания (предшественники, сорта, сроки посева, уход за посевами) и других сопутствующих факторов. Так, на черноземе южном трехкратное применение Гумата калия-натрия с микроэлементами на озимой пшенице, возделываемой по чистому пару, повысило урожайность зерна в среднем за три года на 0,63 т/га (22% к контролю). Этот же сорт пшеницы (Саратовская 90) по непаровому предшественнику дал прибавку урожая 0,47 т/га [7]. В этих же почвенно-климатических условиях на посевах яровой мягкой пшеницы [4] прибавка урожая от Гумата калия-натрия с микроэлементами у сорта Саратовская 42 составила в среднем за три года 0,45 т/га (44% к контролю), а у сорта Саратовская 70 – 0,13 т/га (N40P40).

В группе зернобобовых культур объектами наших исследований были нут и соя. Обе культуры возделывались на богаре и в засушливых условиях степи (южный чернозем и каштановые почвы) их продуктивность находилась в пределах 0,9-1,2 т/га. Прибавки урожаев семян на вариантах с двух-трехкратным применением гуматов (обработка семян и опрыскивание вегетирующих растений) составляли 10-12% к контролю. При возделывании сои в условиях орошения (каштановые почвы Волгоградского Заволжья) эффективность гуминовых удобрений значительно повышалась. Прибавки урожая были в пределах 0,6-0,7 т/га или 20-22% к контролю.

Накопленный многолетний экспериментальный материал позволил выявить влияние удобрений на основе гуминовых кислот на качество урожая изучаемых культур. При выращивании овощных и бахчевых (огурец, томат, лук репчатый, капуста белокочанная поздняя, свекла столовая, морковь столовая, тыква мускатная, арбуз раннеспелый) в их плодах после применения гуматов увеличивалось накопление суммы сахаров, а также витамина А и С. В клубнях картофеля имело место повышенное накопление крахмала. Следует иметь в виду, что все вышеуказанные культуры в степном Поволжье возделывались в условиях орошения.

В зерне озимой и яровой пшеницы под влиянием гуминовых удобрений повышалось содержание сырой клейковины. Изменений ее технологических свойств (упругости и растяжимости) в условиях наших экспериментов не обнаружено. Гуматы также способствовали повышенному содержанию белка не только в зерне озимой и яровой пшеницы, но и проса, овса, зернового сорго, ячменя и кукурузы. В зеленой массе сахарного сорго и суданской травы после применения гуминовых препаратов отмечался рост содержания сырого протеина, сырого жира и сухого вещества [6, 10].

Ранее проведенными исследованиями многих авторов (Христева Л.А., Комиссаров И.Д., Перминова И.В., Прат С., Безуглова О.С. и др.) установлено, что гуминовые удобрения оказывают положительное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур путем регулирования ростовых процессов: минеральное и водное питание, фотосинтез, накопление и перемещение пластических веществ и т.п. В наших исследованиях изучалось влияние гуминовых препаратов на следующие показатели роста и развития растений: прирост сырой и сухой надземной массы, высота растений, химический состав (азот, фосфор, калий), площадь листьев, содержание в них хлорофилла и каротина, водоудерживающая способность листьев.

Объектами исследований были озимая и яровая пшеница, овес, кукуруза на зерно, сорго зерновое [1, 4, 7, 18]. Было установлено, что среднесуточный прирост сырой и сухой надземной массы после применения удобрений на основе гуминовых кислот шел опережающими темпами у всех изучаемых нами культур. Положительное влияние гуматов на высоту растений, как правило, наблюдалось в первой половине вегетационного периода (до фазы цветения). Зато опрыскивания вегетирующих растений водными растворами гуминовых удобрений способствовали увеличению листовой поверхности на единицу площади и содержанию в них пигментов: хлорофилла альфа, хлорофилла бета и каротиноидов. Получены также достаточно интересные сведения о положительном влиянии гуматов на скорость водоотдачи листьев или т.н. водоудерживающую способность. Для условий засушливого Поволжья возможность регулирования водного обмена, который обеспечивает все процессы жизнедеятельности растений, безусловно, представляет большой интерес. В наших опытах трехлетними наблюдениями установлено, что применение удобрений на основе гуминовых кислот способствовало снижению скорости водоотдачи всеми изучаемыми культурами. При этом увеличение кратности обработок

вегетирующих растений сопровождалось усилением водоудерживающей способности листьев.

Анализ и обобщение опытов с гуминовыми удобрениями позволили выявить один вопрос, имеющий проблемный характер. Их применение повышает урожайность сельскохозяйственных культур и при этом увеличивается масса побочной продукции. В результате возрастает вынос из почвы макро- и мезоэлементов. Корни растений могут их получить в основном за счет минерализации почвенного гумуса. Масштабы этого явления зависят от вида культур и характера почвенного покрова. По нашим данным применение Гумата калия-натрия с микроэлементами, обеспечившее максимальную в наших опытах прибавку урожая зерна озимой пшеницы, привело к увеличению выноса азота на 33 кг/га (с основной и побочной продукцией). На яровой пшенице вынос азота по отношению к контролю повысился на 21 кг/га (154% к контролю) [8]. На зерновом сорго и орошаемой кукурузе эти показатели составили соответственно 21 кг/га (166% к контролю) и 139 кг/га (188% к контролю). Достаточно существенные показатели увеличения выноса элементов питания отмечались на овощных и бахчевых культурах. Обобщенный материал по данному вопросу опубликован ранее [12]. По нашему мнению, в современных условиях земледелия, решение указанной проблемы заключается в совместном применении минеральных удобрений и гуматов. Учитывая большое разнообразие почвенно-климатических условий в России и обилие возделываемых культур (по статистике более 70 наименований) это потребует проведения обстоятельных и всесторонних исследований.

Как уже отмечалось выше, для производства удобрений на основе гуминовых кислот используют различные виды сырья. Содержание гуминовых и фульвовых кислот в них изменяется в несколько раз. Анализ современной научной литературы показывает, что полевые исследования по определению эффективных доз, сроков и кратности их применения для отдельных культур носят единичный характер. Сведения о многих препаратах и особенностях их применения можно обнаружить только лишь в рекламных материалах фирм-производителей. Для получения объективной информации по этому вопросу, как нам представляется, помимо расширения научных исследований целесообразно проведение демонстрационных испытаний гуминовых удобрений в производственных условиях по регионам страны.

Большое практическое значение имеет вопрос совместного применения удобрений на основе гуминовых кислот и средств защиты растений. Как известно, оптимальные сроки внесения удобрений и пестицидов для большинства сельскохозяйственных культур совпадают. Это позволяет опрыскивать вегетирующие растения баковыми смесями. Если для гуматов, инсектицидов и фунгицидов при смешивании обязательным условием является одинаковая рН их растворов (слабокислая или слабощелочная), то для гербицидов требуется другой подход. Они (как и гуматы) регулируют ростовые процессы у культурных растений и сорняков тоже. Наши опыты с овсом [14] и просом показали, что для повышения биологической эффективности гербицидов необходим выбор не только конкретного препарата. Следует осуществлять и корректировку его дозы. Учитывая большое число выпускаемых гербицидов и особенности их действия на отдельные виды сорняков данный вопрос требует своего изучения.

Таким образом, на черноземных и каштановых почвах Поволжья доказана целесообразность применения на сельскохозяйственных культурах удобрений на основе гуминовых кислот. Выявлены особенности их действия на отдельных видах сельскохозяйственных культур. Показаны пути повышения эффективности гуматов. Выявлены также проблемные вопросы их использования, требующие своего решения.

Список литературы

1. Беляев А.В. Влияние азотных удобрений и регуляторов роста на продуктивность зернового сорго в степном Поволжье: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2013. – 18 с.
2. Влияние гуминовых удобрений на прорастание семян / В.В. Пронько, К.В. Корсаков, Г.А. Фомичев, Т.С. Гатаулин // Энтузиасты аграрной науки. Труды Кубанского ГАУ. Краснодар. 2009. Вып. 9. С. 322-325.
3. Влияние регуляторов роста на полевую всхожесть семян зерновых, кормовых и технических культур // Пронько В.В., Корсаков К.В., Фомичев Г.А. // Вавиловские чтения 2010: Материалы международной научной конференции. Саратов, издат-во КУБНИК, 2010. Т. 1. С. 142-143.
4. Гатаулин Т.С. Влияние гуматов и минеральных удобрений на продуктивность яровой пшеницы в степном Поволжье: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2009. – 18 с.

5. Говряков А.С. Влияние азотных удобрений, регуляторов роста растений и гербицидов на урожайность овса в Саратовском Правобережье: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2012. – 20 с.

6. Значение минеральных удобрений и препаратов на основе гуминовых кислот в повышении урожайности кормовых культур на почвах засушливого Поволжья / Корсаков К.В., Семин Д.С., Асташов А.Н., Пронько В.В. // Аграрный научный журнал. 2022. №3. С. 19-22.

7. Корсаков К.В. Влияние гуматов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степном Поволжье: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2009. – 18 с.

8. Корсаков К.В., Пронько В.В. повышение окупаемости удобрений при использовании препаратов на основе гуминовых кислот // Плодородие. 2013. №2. С. 18-20.

9. Применение хелатных удобрений на орошаемых овощных культурах в Саратовском Заволжье / Пронько Н.А., Корсаков К.В., Пронько В.В., Степанченко Д.А. // Аграрный научный журнал. 2021. №5. С. 41-45.

10. Продуктивность сахарного сорго при использовании гуминовых препаратов в условиях Нижнего Поволжья / Семин Д.С., Ефремова И.Г., Кибальник О.П., Ерохина А.В., Пронько В.В. // Нива Поволжья. 2020. №3. С. 35-38.

11. Пронько В.В., Корсаков К.В., Васильев Д.Е. Испытания почвенных кондиционеров при выращивании саженцев плодовых и декоративных культур в условиях защищенного грунта // Агрохимикаты в 21 веке: теория и практика применения: Мат-лы междунар. научн. конф. Нижний Новгород. 2017. С. 42-44.

12. Пронько В.В., Корсаков К.В., Пронько Н.А. Вынос и потребление элементов питания овощными и бахчевыми культурами на почвах Поволжья при внесении минеральных и гуминовых удобрений // Плодородие. 2022. №2. С. 67-70.

13. Пронько Н.А., Шушков Ю.С., Степанченко Д.А. применение препаратов на основе гуминовых кислот при возделывании овощных в Саратовском Заволжье // Плодородие. 2015. №4. С. 42-45.

14. Совместное применение гербицидов и регуляторов роста при возделывании овса и проса в Поволжье / В.В. Пронько, Н.И. Стрижков, К.В. Корсаков, А.С. Говряков // Вестник Алтайского ГАУ. 2013. №4. С. 17-19.

15. Сравнительная оценка отзывчивости орошаемых овощных культур на гуминовые удобрения в Саратовском Заволжье / Корсаков К.В., Пронько

Н.А., Пронько В.В., Степанченко Д.А. // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. №3. С. 3-7.

17. Фомичев Г.А. Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность подсолнечника на черноземе южном степного Поволжья: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2010. – 20 с.

18. Цверкунов С.В. Влияние минеральных удобрений и регуляторов роста растений на урожайность зерна орошаемой кукурузы на каштановых почвах Волгоградского Заволжья: Автореф. дисс. канд. с.х. наук. Саратов. 2012. – 18 с.

STUDY OF HUMIC ACID-BASED FERTILIZERS IN THE STEPPE VOLGA REGION: RESULTS, PROBLEMS, PROSPECTS

V.V. Pronko

Annotation. The research results from 2006 to 2023 are summarized. The study focused on fertilizers based on humic acids produced by Life Force, LLC in Saratov, as well as grain, feed, industrial, vegetable, and cucurbits. The positive impact of humic fertilizers on growth energy, seed field germination, crop yields, and the quality of agricultural products has been established. By increasing the harvest, humic fertilizers enhance the removal of nutrients from the soil. It is advisable to use them in combination with mineral fertilizers. The issues requiring resolution to enhance the effectiveness of humic fertilizers in the arid soils of the Volga region are identified.

Keywords: humic fertilizers; agricultural crops; Volga region; yield; product quality.

УДК:631.582 (470.55/58)

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ СТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

***В.Ю. Скороходов, Н.А. Максютов, Д.В. Митрофанов, Н.А. Зенкова, С.Б.
Воропаев, Е.Н. Скороходова***

*ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и
агротехнологий Российской академии наук»*

*E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru., maksyutov.n@mail.ru,
dvm.80@mail.ru, natalya.zenkova1977mail@mail.ru, serega661@yandex.ru,
lena.1981.20@mail.ru*

Аннотация. Основным направлением многолетних стационарных исследований является сохранение и повышение плодородия почвы, урожая и его качества, защита почвы от водной, ветровой и биологической эрозии, разработка севооборотов с чёрными, сидеральными и почвозащитными парами для хозяйств различной форм собственности и специализации. Исследования показали, что сидеральные севообороты повышают за ротацию выход зерна в сравнении с контролем (пар чёрный на чернозёмах южных от 3,4 до 5,9 ц с 1 га, на обыкновенных от 3,6 до 5,4 ц с 1 га). Севообороты с почвозащитным паром в сравнении с чёрным не снижают выход зерна и его качество, дополнительно дают до 60 ц с 1 га зелёной массы кормовой продукции и полностью защищают от всех видов эрозии. Положительное влияние зеленого удобрения проявляется в отдельные годы не только в действии, но и в последствии на урожайность всех культур севооборота. Особенно отзывчивыми на последствие зеленого удобрения оказались просо с урожайностью 19,6 ц с 1 га (по чёрному пару 14,0), ячменя – 12,3 ц (по чёрному пару 9,8 ц с 1 га).

Ключевые слова: севооборот, монопосев, плодородие почвы, почвозащитный пар, сидеральный пар, урожайность, удобрение.

Основным направлением многолетних стационарных исследований является сохранение и повышение плодородия почвы, урожая и его качества, защита почвы от водной, ветровой и биологической эрозии, разработка севооборотов с чёрными, сидеральными и почвозащитными парами для хозяйств различных форм собственности и специализации в условиях локального изменения климата и участвовавшей засухи [1,2].

За последние 30-35 лет главным фактором изменения погоды является потепление сельскохозяйственного года на 2,0°C, зимнего периода на 2,6°C, резкими перепадами температуры между ночными и дневными, которые сопровождаются большим изменением атмосферного давления, влажности воздуха и отсутствием чёткого перехода времен года.

Осадки стали выпадать ливневого характера, с сильной ветровой деятельностью и непроизводительно теряющихся, в результате интенсивного испарения. Впервые в засушливых условиях Оренбуржья стала проявляться холодная засуха, замедляющая рост растений и ускоряющая их развитие.

С 1987 по 1992 годы исследование по разработке биологических приёмов повышения плодородия почвы и урожайности зерновых культур велись в 4-хпольных севооборотах, с чёрными, ранними, почвозащитными и сидеральными парами с чередованием: яровая твёрдая, яровая мягкая пшеница, ячмень на чернозёмах южных и обыкновенных по единой методике.

В качестве полной сидерации изучались кормовой горох, яровой рапс и яровая вика, пожнивной – суданская трава (пар почвозащитный) с летним посевом культуры. В сравнении с сидеральными парами изучался пар чёрный с внесением 30 т на 1 га навоза.

Исследования показали, что сидеральные севообороты повышают за ротацию выход зерна в сравнении с контролем (пар чёрный на чернозёмах южных от 3,4 до 5,9 ц с 1 га, на обыкновенных – от 3,6 до 5,4 ц с 1 га, от внесения навоза соответственно 2,5 и 5,0 ц с 1 га.

По энергетической оценке, сидеральные севообороты превосходят зернопаровой с внесением 30 т на 1 га навоза на чернозёме южном в 1,5 и на обыкновенном – в 1,4 раза.

Кроме того, с зелёной массой и корнями сидеральных культур в почву поступают на обеих почвенных разностях от 76 до 110 кг на 1 га биологического азота, от 16 до 32 кг фосфора и от 80 до 146 кг на 1 га калия. В 30 т навоза этих питательных веществ содержится соответственно 87, 66 и 124 кг на 1 га. Установлено, что сидеральные пары в сравнении с чёрными не улучшают качество зерна яровой твёрдой пшеницы, несколько улучшают макаронные его свойства и заметного влияния не оказывают на качество мягкой пшеницы и ячменя. Однако положительное последствие зелёного удобрения сказывается на содержание заменимых и незаменимых аминокислот в зерне ячменя, что объясняется наибольшей биологической

активностью почвы. Количество аминокислот существенно больше после сидеральных паров, чем по чёрному пару, особенно без внесения навоза.

В отличие от малогумусированных чернозёмов южных, обыкновенные обеспечивают лучшие показатели качества зерна яровой твёрдой, мягкой пшеницы и ячменя [3].

Севообороты с почвозащитным паром в сравнении с чёрным не снижают выход зерна и качество, дополнительно дают кормовую продукцию до + 60 ц с 1 га зелёной массы и полностью защищают почву от всех видов эрозии. За счёт гумификации растительных и корневых остатков суданской травы, потери гумуса составляют 0,05 т на 1 га или в 35 раз ниже, чем в чёрном пару. Расчётный баланс гумуса показал, что в чёрном пару без внесения навоза он отрицательный и составляет – 1,73 т на 1 га, с его внесением – положительный -1,27 т на 1 га, в сидеральных парах на обеих почвенных разностях положительный от 0,18 до 0,35 т на 1 га. Основной причиной меньшего баланса гумуса от зелёного удобрения, чем внесение навоза является более ускоренная его минерализация [4].

Одновременно в 4-х –польных севооборотах с чёрным паром нами изучалась эффективность минимальной основной обработки почвы в сравнении с плоскорезной на глубину 25-27 см. Установлено, что на обеих почвенных разностях применение минимальной обработки под яровую твёрдую пшеницу (пар ранний) не приводит к снижению урожайности культуры. Применение её под яровую мягкую пшеницу и ячмень на чернозёме обыкновенном не снижает урожайность, при этом уровень рентабельности увеличивается на 22 % с экономией горючего на 11 % [5,6].

На чернозёме южном из-за повышенной плотности почвы и отсутствия осадков в мае и июне минимальная обработка ухудшает её водный режим и снижает урожайность в 10% лет.

С 1990 года на чернозёме южном нами ведётся исследование по изучению 6-ти – польных севооборотов с чёрным, сидеральным и почвозащитным парами, с чередованием: пары – яровая твёрдая пшеница – яровая мягкая пшеница – сборное поле (кукуруза на силос, просо, горох) – яровая мягкая пшеница – ячмень. В качестве сидеральной культуры изучается донник двухлетний жёлтый и злаково-бобовая смесь (овёс+горох). С зелёной массой донника в почву поступает 155 кг на 1 га азота, 41 кг фосфора, 173 кг калия, в чёрном пару с 42 т навоза соответственно 164 кг, 82 и 174 кг, в почвозащитном – 232 кг, 104 и 205 кг. Баланс гумуса в черном, почвозащитном и сидеральном парах составил 0,75 т на 1 кг, 2,12 и 1,70 т

соответственно, а в целом в севообороте с чёрным паром отрицательный – 0,96 т, в остальных положительный – 0,47, 0,15 т на 1 га.

Заметное положительное влияние зеленого удобрения проявляется в отдельные годы не только в действии, но и в последствии на урожайность всех культур севооборота [7,8].

Так, в резко засушливом 1998 году дополнительный сбор зерна в севообороте с сидеральным паром в сравнении с чёрным с внесением 42 т на 1 га навоза за ротацию составил 10,3 ц с 1 га. Особенно отзывчивыми на последствие зеленого удобрения оказались просо с урожайностью 19,6 ц с 1 га, по чёрному пару – 14,0, ячменя соответственно – 12,3 и 9,8 ц с 1 га. При наличии хороших запасов продуктивной влаги и высокой температуры почвы биологические процессы в ней проходят интенсивнее в сидеральном пару, чем в чёрном с внесением навоза [9,10].

Одной из причин более низкой урожайности яровой твёрдой пшеницы является поражение её корневыми гнилями [11,12]. Исследования показали, что лучшими предшественниками в борьбе с ними являются пар сидеральный и озимые по чёрному пару. По многочисленным результатам исследований принято считать, что яровая твёрдая пшеница по чёрному пару не поражается корневой гнилью, однако такое положение не подтверждается нашими многолетними стационарными исследованиями. Полученные данные показывают, что пар чёрный в борьбе с инфекциями корневых гнилей уступает даже непаровым предшественникам.

В качестве примера может быть 1992 год, когда повреждение её корневыми гнилями наблюдалось в сильной степени уже в фазу кущения. В связи с этим урожайность твёрдой пшеницы среди всех предшественников, даже бессменного её посева, была на удобренном фоне до 5,4 ц, неудобренном – до 9,5 ц с 1 га ниже. Причиной этому является избыточное количество нитратного азота в чёрном пару (20-22 мг на 100 г почвы), высокая влажность почвы и жаркая погода, что создало благоприятные условия для развития инфекции корневых гнилей.

Впервые на чернозёмах южных нами выявлено при возделывании с.-х. культур в многолетнем исследовании почвоутомление при бессменном посеве ячменя он был подвержен высокой степени почвоутомления (6%), в меньшей степени яровая твёрдая и мягкая пшеница – 30 %, кукуруза – 68 % средняя. Возделывание этих культур в 2-хпольных и 6-ти польных севооборотах по степени почвоутомления относятся от средней до низкой. Полученные результаты по почвоутомлению в бессменных посевах

полностью согласуются с урожайностью, и она была ниже, чем в севооборотах, кроме кукурузы на силос.

Многолетние исследования показали, что качество яровой твёрдой пшеницы в первую очередь зависит от погодных условий. Так, основной показатель – содержание сырой клейковины во влажные годы в зерне ниже, чем в средние и сухие годы. Причиной такого факта является высокая урожайность и как следствие разбавление белка, а в отдельные годы, в связи с выпадением большого количества осадков в период налива зерна происходит истекание его, что приводит не только к снижению урожайности, но и сырой клейковины.

В сухие годы при урожайности менее 10 ц с 1 га содержание клейковины также снижается, а в острозасушливые из-за щуплого зерна количество её очень низкое.

В связи с локальным изменением климата из-за резких перепадов среднесуточной температуры, когда рост растения замедлен, с ускоренным их развитием качество зерна ухудшается.

В нашем исследовании содержание сырой клейковины во влажные, средние и сухие годы по чёрному, сидеральному и почвозащитному парам было примерно одинаковым. Существенное влияние на качество оказывает в основном фон минерального питания.

Экономическая оценка 6-ти полных севооборотов с чёрными, сидеральными и почвозащитными парами показала, что наибольший чистый доход и рентабельность отмечены в почвозащитном, в результате полученной дополнительно продукции – суданской травы.

В севообороте с чёрным и сидеральным паром эти показатели были примерно одинаковыми, однако следует отметить, что в чёрном не учитывались потери гумуса, в результате минерализации и эрозии почвы. Такое положение находит подтверждение и при энергетической оценке, которая равноценна в севооборотах с чёрным и сидеральным паром, соответственно 7,4 и 8,2 единиц. Самый низкий энергетический эффект отмечен в чёрном пару с внесением навоза – 5,2 единицы.

Сидеральные и почвозащитные пары играют важную роль в сохранении и улучшении экологической обстановки окружающей среды, которые в сравнении с чёрным паром надёжно защищают почву от всех видов эрозии [13,14].

Многолетние исследования показали, что в весенне-летний период чёрные пары за счёт минерализации гумуса накапливают большое

количество нитратного азота, часть его опускается в нижние горизонты и становится недоступной для растения, другая часть теряется в результате водной и ветровой эрозии, определённое количество его, вследствие денитрификации переходит в неусвояемую форму. В тоже время почвозащитные и сидеральные пары в весенне-летний период используют нитраты на формирование урожая парозанимающих культур. В этом отношении они являются экологически чистыми приёмами в земледелии. Наглядно это подтверждается нашими наблюдениями, так в чёрном пару перед посевом яровой твёрдой пшеницы нитратов в пахотном слое почвы составляют 376,8 кг на 1 га, в почвозащитном – 2,4 кг.

К достоинству почвозащитных и сидеральных паров следует также отнести и как перевод в органическую форму большого количества питательных веществ, особенно нитратного азота, предохраняя их в сравнении с чёрным паром от потерь и от загрязнения ими окружающей среды.

Список литературы

1. Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В., Зоров А.А., Максютлов Н.А., Зенкова Н.А. Стабилизация плодородия почвы и повышение продуктивности севооборотов //Плодородие. 2022. №5 (128). С. 16-20.
2. Скороходов В.Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала//Плодородие. 2021. №2(119). С. 55-59.
3. Рулёва О.В., Семинченко Е.В. Влияние предшественников на формирование урожайности яровой пшеницы по различным предшественникам//Аграрная наука. 2019. №4. С. 68-72.
4. Скороходов В.Ю., Зенкова Н.А. Образование и содержание гумуса на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья//Плодородие. 2019. №6(111). С. 28-32.
5. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы в 4-польном зернопаровом севообороте засушливой чернозёмной степи Поволжья//Земледелие. 2022. №4. С. 12-17.
6. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Изменение выхода зерна по ротациям севооборотов в чернозёмной степи Нижнего Поволжья//Аграрный научный журнал. 2021. №6. С. 4-8.

7. Дедов А.А., Несмеянова М.А., Дедов А.В. Влияние темпов разложения растительных остатков на наибольшее органическое вещество почвы и урожайность культур севооборота//Земледелие. 2017. №4. С.6-9.
8. Постников П.А. Продуктивность севооборотов при использовании приёмов биологизации//Аграрный вестник Урала. 2015. №6 (136).
9. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтном земледелии//Почвоведение. 2019. №9. С. 1130-1139.
10. Кислов А.В., Глинушкин А.П., Кащеев А.В., Сударенков Г.В. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в степной зоне Южного Урала//Земледелие. 2018. №6. С. 6-10.
11. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Филипчук О.Д. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитии концепции ФАО)//Агрохимия. 2019. №5. С. 3-20.
12. Горянин О.И., Щербинина Е.В. Совершенствование технологии и возделывания яровой пшеницы в Поволжье//Аграрный научный журнал. 2020. №6. С. 11-14.
13. Скороходов В.Ю., Максюттов Н.А., Зоров А.А., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала //Плодородие 2021. №6(123). С. 22-25.
14. Кафтан Ю.В., Скороходов В.Ю., Зоров А.А., Жижин В.Н. Защита парового поля от эрозии на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья/В сборнике: Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в степной зоне Урала. Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Государственного научного учреждения «Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства». 2012. С. 144-147.

THE RESULTS OF LONG-TERM STATIONARY STUDIES IN FIELD CROP ROTATIONS OF THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

*V.Y. Skorokhodov, N.A. Maksyutov, D.V. Mitrofanov, N.A. Zenkova, S.B.
Voropaev, E.N. Skorokhodova*

Annotation. The main direction of long-term stationary research is the preservation and improvement of soil fertility, yield and its quality, protection of soil from water, wind and biological erosion, development of crop rotations with black, sideral and soil-protective pairs for farms of various forms of ownership and specialization. Studies have shown that sideral crop rotations increase grain yield per rotation in comparison with control (black steam on southern chernozems from 3.4 to 5.9 c per 1 ha, on ordinary ones from 3.6 to 5.4 c per 1 ha). Crop rotations with soil-protective steam in comparison with black do not reduce the yield of grain and its quality, additionally give up to 60 kg per 1 ha of green mass of feed products and fully protect against all types of erosion. The positive effect of green fertilizer is manifested in some years not only in action, but also in the aftereffect on the yield of all crop rotation crops. Millet with a yield of 19.6 c per 1 ha (for black steam 14.0), barley – 12.3 c (for black steam 9.8 c per 1 ha) turned out to be especially responsive to the aftereffect of green fertilizer.

Keywords: crop rotation; monopower; soil fertility; soil protection steam; sideral steam; yield, fertilizer.

УДК 630.161:630.232.22

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТО-СОЛЕВОГО ШЛАМА В КАЧЕСТВЕ КОМПЛЕКСНОГО КАЛИЙСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ ПРИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

Троц В.Б.¹, Аканова Н.И.², Троц Н.М.¹, Стромский А.А.³

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет

²ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

³Горно-обоганительный центр ООО «ПроТехЛаб»

Аннотация. Использование ряда промышленных отходов в сельском хозяйстве является перспективным методом, существенно снижающим расходы на применение удобрений. В процессе производства калийных удобрений в качестве отхода образуется глинисто-солевой шлам (ГСШ), использование которого является важной экологической задачей.

Исследованиями эффективности использования ГСШ при агролесомелиорации выявлено, что его внесение в комплексе с минеральными удобрениями стимулировало ростовые процессы молодых деревьев, повышался линейный рост стеблей, увеличивалась длина корней, число листьев и их суммарная площадь, выход стандартных сеянцев, готовых к высадке на лесокультурной площади возрастал до 92,4%. Применение растворов $N_{40}P_{40}$ + ГСШ 400-600 кг/га при черенковании тополя серебристого и ивы также способствует созданию более мощной корневой системы, повышая число корней на 17,2-88,0%, а длину на 19,1-32,7%, одновременно активизируются жизненные процессы почек в среднем на 3,5-23,4,3% и увеличивается площадь листовых пластинок. Степень укоренения черенков и приживаемость была выше фонового и контрольного варианта.

Ключевые слова: лесомелиорация, промышленные отходы, минеральные удобрения.

Комплексный подход к защите почв от эрозии необходим в условиях возрастающих нагрузок и развивающейся интенсификации сельского хозяйства. Применение агрохимических и агролесомелиоративных мероприятий может обеспечить сохранение и повышение плодородия земель, рост урожайности, увеличение производства продукции, устойчивости и рентабельности земледелия. Агролесомелиорация позволяет регулировать водно-воздушный режим почв, бороться с засолением и закислением почв, защищать сельхозугодия от ветровой и водной эрозии, восстанавливать нарушенные земли, создавать оптимальные условия для роста растений [1,2].

Для роста лесных культур немаловажным фактором служит оптимальный питательный режим в почве. При недостатке элементов питания растения отстают в росте, ухудшается их жизненное состояние. Внесение удобрений в почву под лесные культуры при их посадке и выращивании способствует восстановлению эффективного плодородия почвы, а, следовательно, обеспечению бездефицитного режима питания растений, что позволяет повысить приживаемость, усилить устойчивость саженцев в период фазы приживания, роста и развития, обеспечить оптимальное питание деревьев в момент начала конкуренции [3,4].

Потребление питательных веществ увеличивается с возрастом, причем максимально - в средневозрастных насаждениях. При дефиците калия хвоя оказывается укороченной и топорщащейся; с возрастом она опадает быстрее,

при этом ветки оголяются от ствола к точкам роста. При калийном голодании заметно замедляется рост корней; растительные ткани медленно и неполно одревесневают [5, 6]. На глинистых и суглинистых почвах калийные удобрения надо вносить в те слои почвы, где развивается основная масса мелких корней, чтобы обеспечить быстрое поступление в них калия. На песчаных почвах потребность в калийных удобрениях выше. [7, 8].

В литературе имеется достаточно сведений о высокой эффективности применения минеральных удобрений в лесных питомниках. Выявлено, что к концу 1-го года жизни в неудобренной почве только 22,4% сеянцев ясеня обыкновенного соответствовало требованиям стандарта. У основной же части растений высота стволиков не превышала 12,9 см, а их диаметр у корневой шейки 2,9 см [9].

Внесение $N_{40}P_{40}K_{40}$ увеличивало облиственность сеянцев на 58,1%, а площадь листовой поверхности в 1,9 раз – до 58,0 см². Возрастают темпы приростов стволиков в высоту – на 10,8%, а в диаметре на 29,5%. Из 100 случайно отобранных экземпляров 48,4% имели стандартные размеры. Применение $N_{60}P_{60}K_{60}$ повышало приросты молодых деревьев в высоту по сравнению с контролем в 1,3 раза, а в толщину в 1,4 раза, увеличивалась площадь фотосинтетического аппарата в среднем в 1,5-2,2 раза. Выход стандартных саженцев достигал 75,6%, что в 3,3 раза больше, чем в варианте без применения удобрений и в 1,6 раза больше, чем при внесении $N_{40}P_{40}K_{40}$ [10].

Весьма перспективным является использование ряда промышленных отходов в сельском хозяйстве, где они могут найти применение в качестве мелиорантов или удобрений. В большинстве случаев использование производственных отходов существенно снижает расходы на применение удобрений. Поэтому использование промышленных отходов наряду с социальной и экологической целесообразностью имеет высокую агроэкономическую эффективность.

Для успешного использования промышленных отходов в сельском хозяйстве необходимо всестороннее изучение их свойств и влияния на основные агрохимические характеристики почвы и качество сельскохозяйственной продукции.

Технология производства калийных удобрений базируется на извлечении KCl из природной руды. В России основные месторождения калийных руд располагаются в Пермском крае, Волгоградской и Саратовской областях. В процессе производства калийных удобрений образуются два типа

отходов: галитовые отходы и глинисто-солевой шлам (ГСШ). Хранение ГСШ осуществляют в огромных шламохранилищах.

ГСШ представляют собой высококонцентрированные растворы хлорида натрия с остаточным содержанием не извлечённых солей калия, включающие также нерастворимые компоненты скальной породы. Минеральная нерастворимая составляющая представлена глинистыми минералами структурно относящихся к группе алюмосиликатов. Проблема эффективной переработки и использования ГСШ к настоящему времени еще не решена. Существенным фактором, сдерживающим возможность использования шламов, является высокое содержание жидкой фазы в шламовой пульпе, получаемой на обогатительной фабрике, и очень плохое её уплотнение даже при длительном хранении. Для решения проблемы сокращения объема хранения шламовых отходов в шламохранилище предлагается рассмотреть вариант применения современного оборудования для обезвоживания шламов. Выполненные на Усольском калийном комбинате исследования выявили принципиальную возможность обезвоживания шламов до состояния, позволяющего их транспортировку не трубопроводным транспортом, а проведенные дополнительные исследования процесса обезвоживания шламов УМК позволили получить продукт, не теряющий своих свойств (рассыпчатость) даже в процессе длительного хранения, что позволило приступить к опытному изучению различных вариантов их использования.

Исследованиями эффективности использования ГСШ при агролесомелиорации выявлено, что высота стволиков сеянцев каштана конского обыкновенного на неудобренной почве (контроль) к концу 1-го года жизни достигает в среднем 14,6 см, при диаметре корневой шейки 3,8 мм. Это соответственно на 2,7,0% и 5,2% меньше требований стандарта [60]. При этом длина корневой системы равнялась в среднем 18,8 см, а её масса 16,7 г. Из 100 случайно отобранных сеянцев, только 64,8% соответствовали стандартным параметрам (таблица 1).

Внесение минеральных удобрений и ГСШ, стимулировало ростовые процессы молодых деревьев. Так, при внесении 400 кг/га ГСШ линейный рост стеблей повышался на 8,2%, а их высота достигала 15,8 см, при диаметре корневой шейки 3,9 мм, это на 2,6% больше контрольного значения. Длина корней увеличивалась в 1,5 раза, а их масса в 1,2 раза. Выход стандартных сеянцев в данном варианте опыта достигал 77,3%, что 19,2% больше контрольного показателя.

Таблица 1 – Морфологические показатели сеянцев первого года жизни, 2022г.

Показатели	Варианты опыта			
	контроль (б/удобрений)	N ₄₀ P ₄₀ +ГСШ 400 кг/га	N ₄₀ P ₄₀ + ГСШ 600 кг/га	НСР ₀₅
Высота стволика, см	14,6	15,8	16,4	1,72
Диаметр корневой шейки, мм	3,8	3,9	4,3	0,3
Длина корней, см	18,8	29,3	35,6	3,4,
Масса корней, г	16,7	20,9	43,5	4,8
Выход стандартных сеянцев, %	64,8	77,3	92,4	-

Повышение дозы внесения ГСШ до 600 кг/га обеспечило увеличение высоты по отношению к контролю в среднем на 12,3%, а в диаметре почти на 13,1%. Длина корневой достигала 35,6 см, а их масса 43,5 г, что в 1,8 и 2,6 раза больше, чем у растений неудобренного варианта и в 1,2 и 2,1 раза выше показателей сеянцев делянок с внесением 400 кг/га ГСШ. Внесение N₄₀P₄₀ и ГСШ в дозе 600 кг/га позволяет получать уже к концу 1-го года жизни 92,4% стандартных сеянцев, готовых к высадке на лесокультурной площади.

Внесение минеральных удобрений и ГСШ оказывало влияние на фотометрические параметры сеянцев. К концу первой вегетации число листовых пластинок одного молодого деревца каштана конского обыкновенного на неудобренной почве составляло в среднем 15,3 шт., при среднем размере одной листовой пластинки 9,3 см². Общая площадь листьев равнялась 143,3 см² (таблица 2).

Внесение 400 кг/га ГСШ увеличивает в 1,6 раз число листьев на одном растении – до 25,5 шт. и в 1,3 раза повышает размер листовых пластинок – до 12,4 см² и в 2,2 раза их суммарную площадь – до 316,2 см². Максимальную листовую поверхность в опытах имели сеянцы при внесении в почву 600 кг/га ГСШ – 528,0 см², размер листовых пластинок достигал 15,0 см², а их число составляло 35,2 шт., это соответственно в 3,6 раза, в 1,6 и 2,3 раза больше контрольных значений.

Таким образом, внесение в лесном питомнике N₄₀P₄₀ + ГСШ 400 кг/га повышает темпы линейного роста сеянцев каштана конского обыкновенного на 8,2%, а выход стандартного посадочного материала к концу 1-го года выращивания достигает 77,3%, что на 19,2% больше неудобренного посева.

Внесение $N_{40}P_{40}$ +ГСП в дозе 600 кг/га на 12,3% ускоряет рост стволиков каштана конского обыкновенного, а мощность корневой системы увеличивается в 1,8-2,6 раза. Выход стандартных сеянцев увеличивается до 92,4% или в 1,4 раза.

Таблица 2 – Фотосинтетические показатели сеянцев первого года жизни, 2022г.

Показатели	Уровень минерального питания			
	контроль (без удобрений)	$N_{40} P_{40}$ +ГСП 400 кг/га	$N_{40} P_{40}$ + ГСП 600 кг/га	НСР ₀₅
Число листовых пластинок, шт.	15,3	25,5	35,2	8,2
Площадь листовой пластинки, см ²	9,3	12,4	15,0	1,6
Общая площадь поверхности листьев, см ²	143,3	316,2	528,0	19,6

Многие древесные породы, наряду с семенами, могут размножаться и вегетативным способом, путем укоренения отводков, побегов, черенков и т.д. Эти биологические свойства довольно широко используются при агролесомелиорации [61, 62, 63]. Опытами установлено, что предварительное выдерживание черенков в растворах минеральных удобрений существенно ускоряет образование корневой системы. При этом у ивы белой наиболее быстро образовывались корни в вариантах $N_{40} P_{40}$ + ГСП в дозе 400 кг/га и 600 кг/га.

У тополя серебристого в среднем на 6 дней раньше контроля, образовывались корни и распускались почки у черенков, обработанных раствором $N_{40}P_{40}$ +ГСП 400 кг/га. Использование $N_{40}P_{40}$ + ГСП 600 кг/га ускоряет формирование корневой системы в среднем на 4 дня, а листьев на 3 дня раньше контрольного варианта. Выявлено, что предпосадочное замачивание черенков в растворах минеральных удобрений способствует формированию мощной корневой системы, как у черенков ивы белой, так и у тополя серебристого. Подсчеты числа корней показали, что их среднее количество у черенка ивы белой составляло 7,0 шт., а у обработанных растворами минеральных удобрений – 8,2-8,8 шт. или на 17,1-25,7% больше (таблица 3).

Таблица 3 – Число корней и их длина, среднее на один черенок, 2022 г.

Древесные растения	Варианты опыта				НСР ₀₅
	Контроль (без обработки)	N ₄₀ P ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ +ГСШ 400 кг/га	N ₄₀ P ₄₀ + ГСШ 600 кг/га	
число корней, шт.					
Ива белая	7,0	8,2	8,5	8,8	0,41
Тополь серебристый	3,4	5,8	5,0	6,4	0,56
длина корней, см					
Ива белая	6,3	7.5	7,8	8,1	0,45
Тополь серебристый	5,5	6.9	6.8	7.3	0,50

Наибольшее число корней отмечалось у черенков, предварительно обработанных растворами N₄₀P₄₀ + ГСШ 400 кг/га и N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га, соответственно 8,5 шт. и 8,8 шт. У тополя серебристого более эффективным оказался вариант с раствором N₄₀P₄₀ – 5,8 шт. и вариант с раствором N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га – 6,4 шт. Обработка черенков растворами минеральных удобрений повышала число корней тополя серебристого на 47,1-88,2%. Обработка черенков ивы растворами N₄₀P₄₀ + ГСШ 400 кг/га и N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га способствует формированию более длинных корней, достигающих 7,8 см и 8,1 см, что на 23,8% и 28,5% больше контрольного варианта и на 4,0-8,0% варианта обработкой раствором N₄₀P₄₀. Применение растворов N₄₀P₄₀ + ГСШ 400-600 кг/га при черенковании тополя серебристого также способствует созданию более мощной корневой системы, превышающей по длине контрольный вариант на 1,4 см и 1,8 см, или на 25,4% и 32,7%. Выдерживание черенков в растворе N₄₀P₄₀ + ГСШ 400 кг/га повышало длину корней в среднем на 23,6%.

Применение N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га для предпосадочной обработки черенков увеличивает мощность корневой системы черенков, повышая число корней на 17,2-88,0%, а длину на 19,1-32,7%, одновременно активизируются жизненные процессы почек в среднем на 3,5-23,4,3% и увеличивается площадь листовых пластинок - на 3,9-59,7%. Максимальный эффект наблюдается при применении раствора N₄₀P₄₀ + ГСШ из расчета 400 кг/га и N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га.

Укоренение черенков проводилось в вариантах: 1 – контроль (без удобрений); 2 – N₄₀ P₄₀; 3. N₄₀ P₄₀ + ГСШ 400 кг/га; 4. N₄₀P₄₀ + ГСШ 600 кг/га. Установлено, черенки ивы белой приживаются в почве на уровне 77,2-96,6%. Приживаемость черенков тополя серебристого оказалась на 2,0-10,1% выше

и составила 85,0-98,6% (таблица 4). Степень укоренения черенков ивы в среднем на 1,6-25,1%, а тополя на 41,1-16,0% была выше фонового и контрольного варианта.

Таблица 4 – Приживаемость черенков, 2022 г.

Показатели	Варианты опыта				НСР ₀₅
	Контроль (без обработк и)	N ₄₀ P ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ +ГСШ 400 кг/га	N ₄₀ P ₄₀ + ГСШ 600 кг/га	
ива белая					
высажено черенков, шт.	400	400	400	400	-
прижилось черенков, шт.	309	314	328	386	9,49
приживаемость, %	77,2	78,5	82,0	96,6	2,37
тополь серебристый					
высажено черенков, шт.	400	400	400	400	-
прижилось черенков, шт.	340	354	386	395	10,05
приживаемость, %	85,0	88,5	96,4	98,6	3,40

Наибольший эффект приживаемости у ивы белой отмечен в варианте N₄₀P₄₀ +ГСПШ 400 кг/га и N₄₀P₄₀ + ГСПШ 600 кг/га, соответственно 82,0 и 96,6% против 77,2% - на контроле. Результаты приживаемости в фоновом варианте оказались в среднем на 4,4 и 23,0% ниже.

В вариантах с тополем серебристым лучшая приживаемость также отмечалась у черенков, высаженных на делянках с внесением N₄₀ P₄₀ +ГСПШ 400 кг/га - 96,4% и N₄₀P₄₀ + ГСПШ 600 кг/га - 98,6%, что соответственно на 8,9 и 11,4% больше показателя фонового варианта (N₄₀ P₄₀).

Список литературы

1. Лесные культуры / А.Р.Родин, Е.А.Калашникова, С.А.Родин, Г.В.Силаев, С.Л.Рысин, М.Ф.Вильданов. ВНИИЛМ, 2002 - 436 с.
2. Квасов А.В., Троц В.Б. Выращивание сеянцев дуба черешчатого при различном уровне плодородия почвы // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России. – Пенза, 2016. – С. 98-100.
3. Родин А.Р., Калашникова Е.А., Родин С.А., Силаев Г.В. Лесные культуры. - Новгород, «Вектор ТиС», 2009. – 462 с.
4. Кальной П.Г., Гордиенко М.И., Корецкий Г.С. Лесные культуры. - Киев, «Вища школа», 1986. - 247 с.
5. Применение удобрений в лесном хозяйстве. [Электронный ресурс]: - Режим доступа:

https://studme.org/281699/agropromyshlennost/primenenie_udobreniy_vyraschivani_lesnyh_kultur (дата обращения 12.05.2021 г.).

6. Лебедев, Е. А. Удобрение хвойных лесов и пути снижения потерь азота // Лесное хозяйство. - 1990. - №2. - С. 26.

7. Мерзленко М., Бабич Н. Лесоводство. Искусственное лесовосстановление. Учебник. – М.: Юрайт, – 2017. – 246 с.

8. ГОСТ 3317-55 Сеянцы древесных и кустарниковых пород [Электронный ресурс]: - Режим доступа: normacs.net/Doclist/doc/2RS4.html (дата обращения 12.05.2021 г.)

9. Иванова С.Е., Романенков В.А., Никитина Л.В. Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России. Ключевой элемент, №1, 2014, стр. 6-10.

10. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.

EFFICIENCY OF USING CLAY-SALT SLUDGE AS A COMPLEX POTASSIUM-CONTAINING FERTILIZER IN AGROFORESTRY RECLAMATION

Trots V.B., Akanova N.I., Trots N.M., Stromskiy A.A.

Abstract. The use of a number of industrial wastes in agriculture is a promising method that significantly reduces the cost of fertilizer application. In the process of producing potash fertilizers, clay-salt sludge (CSS) is formed as waste, the use of which is an important environmental task. Studies of the efficiency of using CSS in agroforestry have revealed that its application in combination with mineral fertilizers stimulated the growth processes of young trees, increased the linear growth of stems, the length of roots, the number of leaves and their total area, the yield of standard seedlings ready for planting in the forest cultivation area increased to 92.4%. The use of N40P40 + CSS solutions 400-600 kg / ha when cutting silver poplar and willow also contributes to the creation of a more powerful root system, increasing the number of roots by 17.2-88.0%, and the length by 19.1-32.7%, at the same time, the vital processes of the buds are activated by an average of 3.5-23.4.3% and the area of leaf blades increases. The degree of rooting of cuttings and survival was higher than the background and control variants.

Key words: forest reclamation, industrial waste, mineral fertilizers.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННУЮ МИКРОФЛОРУ В ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ

Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

shuliko@anc55.ru, tukmacheva@anc55.ru

Аннотация. Исследованиями, проведенными в длительном стационарном опыте под ячменем, установлено положительное влияние на общую численность микроорганизмов совместного применения минеральных удобрений и соломы, а также минеральных удобрений и инокуляции семян. На неудобренном фоне применение соломы в сочетании с инокуляцией семян ячменя повышало общую численность микроорганизмов на 52% к контролю.

Ключевые слова: минеральные удобрения; солома; инокуляция семян; почвенные микроорганизмы.

Широкое рациональное применение минеральных, органических и бактериальных удобрений — одно из необходимых условий интенсификации земледелия, обуславливающих получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому необходима комплексная оценка их влияния на урожай, его качество, биологическую активность и экологию почвы, чтобы приблизиться к оптимизации режима питания растений [1-3].

Целью исследований было оценить влияние длительного (более 25 лет) применения минеральных удобрений и соломы в сочетании с приемом бактериализации семян на биологическую активность лугово-черноземной почвы; дать экологическую оценку изучаемым агроприемам.

Исследования проводили под ячменем — заключительной культурой пятипольного зернопарового севооборота: пар чистый — пшеница — соя — пшеница — ячмень в условиях многофакторного стационарного опыта закладки 1989 г. Почва — лугово-черноземная среднemoshная тяжелосуглинистая с содержанием гумуса 6,8%, без осенней обработки (минимальная). Опыт заложен методом расщепленных делянок, изучали три фактора: минеральные удобрения, солома, бактериальный препарат. Инокуляцию семян ячменя Ризоагрином (ВНИИСХМ, г. Пушкин) проводили из расчета 600 г на гектарную норму. Площадь элементарной делянки —

(10x8) – 80 м²., учетная – (1,8x10) – 18 м². Площадь делянки с инокулированными растениями 40 м². Размещение вариантов – систематическое. Изучались следующие факторы по схеме 2x2x2: А – минеральные удобрения, кг д.в/га севооборотной площади: 1) без удобрений (контроль); 2) применение в дозе N₁₈P₄₂ на гектар севооборотной площади, рассчитана на положительный баланс элементов питания (невысокая доза удобрений, может применяться в хозяйствах); В – солома: 1) без соломы; 2) внесение соломы после уборки зерновых культур в количестве, соответствующем урожаю; С – бактериальное удобрение: 1) без инокуляции; 2) инокуляция семян ячменя биопрепаратом. Варианты опыта: 1. Контроль; 2. Солома; 3. Инокуляция; 4. Солома +инокуляция; 5. N₁₈P₄₂; 6. N₁₈P₄₂ + солома; 7. N₁₈P₄₂ + инокуляция; 8. N₁₈P₄₂ + солома + инокуляция.

Образцы почвы на микробиологический анализ отбирали в течение вегетации, по фазам развития растений – кущение, колошение, налив зерна. В свежих образцах почвы (слой 0-20 см) учитывали численность микроорганизмов на твердых питательных средах согласно общепринятым методам [4]. Проведен дисперсионный анализ полученных результатов [5].

Установлено, что численность аммонификаторов на МПА варьировала от 23 до 57 млн. КОЕ/г, амилалитических микроорганизмов на КАА от 12 до 67 млн. КОЕ/г, нитрификаторов от 0,1 до 4,8 тыс. КОЕ/г, грибов от 19 до 140 тыс. КОЕ/г почвы.

Численность бактерий на мясо-пептонном агаре (МПА), использующих органические формы азота, и микроорганизмов на крахмало-аммиачном агаре (КАА), потребляющих минеральный азот, на фоне применения минеральных удобрений изменялась в пределах от 33 до 41 млн. КОЕ/г и от 30 до 39 млн. КОЕ/г соответственно. При внесении соломы в сочетании с минеральными удобрениями их количество увеличилось на 33-34%, от совместного применения минеральных удобрений и инокуляции семян ячменя на 8-11% в сравнении с контролем (таблица 1).

Численность нитрификаторов увеличивалась в вариантах N₁₈P₄₂, N₁₈P₄₂ + солома и N₁₈P₄₂ + инокуляция на 57, 15 и 42% соответственно по отношению к контролю. Применение минеральных удобрений N₁₈P₄₂ стимулировало рост почвенных грибов на 35%. В варианте N₁₈P₄₂ + солома численность грибов увеличилась на 53% к контролю, что связано с усилением минерализации органических остатков за счет внесения удобрений. Совместное применение изучаемых факторов (N₁₈P₄₂+ солома+ инокуляция) оказало положительное

влияние на рост почвенных грибов, количество которых увеличилось на 31% к контролю (таблица 1).

Таблица 1 – Численность микроорганизмов под посевом ячменя в зависимости от применения минеральных удобрений, внесения соломы и инокуляции, слой 0-20 см, (n=9)

Вариант	Утилизирующие азот органический на МПА, млн. КОЕ/г			Утилизирующие азот минеральный на КАА, млн. КОЕ/г			Нитрификаторы, тыс. КОЕ/г			Грибы, тыс. КОЕ/г		
	M±m	Lim	V,%	M±m	lim	V,%	M±m	lim	V,%	M±m	lim	V,%
Контроль	30,7±4,3	25,9-37,2	15	28,8±3,2	13,2-45,5	32	1,21±0,3	0,15-2,55	65	48,1±9,1	23,2-92,4	53
Солома	33,3±6,5	23,6-38,8	20	30,2±4,7	17,1-54,1	44	1,21±0,3	0,15-2,75	67	35,9±4,0	19,6-54,6	32
Инокуляция	32,2±4,8	24,9-39,2	18	28,4±2,0	13,9-33,4	20	1,23±0,3	0,24-3,28	72	40,3±5,6	19,8-74,0	40
Солома+инокуляция	34,2±6,2	24,9-41,9	20	31,8±3,4	15,4-45,3	30	1,28±0,3	0,20-2,64	63	44,9±8,9	19,1-107,3	56
N ₁₈ P ₄₂	34,0±4,2	27,7-39,7	14	30,0±2,9	18,9-47,6	28	1,91±0,5	0,14-4,39	77	55,6±5,7	20,3-76,0	29
N ₁₈ P ₄₂ +солома	40,7±11,4	23,6-57,1	33	38,7±5,3	21,2-67,0	38	1,39±0,3	0,33-2,49	51	54,7±6,0	33,3-88,9	31
N ₁₈ P ₄₂ +инокуляция	33,3±1,1	29,0-36,5	5	31,9±3,3	12,1-43,3	29	1,75±0,5	0,29-4,77	82	55,6±6,8	30,5-97,7	34
N ₁₈ P ₄₂ +солома+инокуляция	34,1±1,8	26,2-38,5	7	35,0±4,6	13,4-56,3	38	1,50±0,5	0,17-4,70	86	63,0±10,4	37,1-139,8	47

Применение минеральных удобрений способствовало росту общей (суммарной) численности почвенных микроорганизмов на 14% к контролю, в сочетании с внесением соломы – на 40%, с приёмом инокуляции семян ячменя – на 29% относительно контроля. Внесение соломы в сочетании с бактеризацией семян ассоциативными diaзотрофами, т.е. использованием биологического азота, в наибольшей степени повлияло на общее количество почвенных микроорганизмов, которое повысилось на 52% к контролю (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений, соломы и инокуляции семян ячменя на общую численность микроорганизмов под ячменем, (n=9)

Вариант	Общее количество микроорганизмов, млн КОЕ/г		
	M±m	lim	V, %
Контроль	315,46±64,9	140,3-705,6	58
Солома	325,92±53,1	102,4-654,1	46
Инокуляция	301,72±48,7	114,4-619,9	46
Солома+ инокуляция	479,47±135,1	149,1-1393,3	80
N ₁₈ P ₄₂	359,48±66,0	126,9-818,0	52
N ₁₈ P ₄₂ + солома	441,33±80,3	171,0-907,2	51
N ₁₈ P ₄₂ + инокуляция	407,87±79,3	147,5-934,8	55
N ₁₈ P ₄₂ + солома+ инокуляция	374,98±81,6	170,1-788,2	62

Таким образом, наибольшее положительное влияние на общую численность микроорганизмов (36% к контролю) оказало совместное применение минеральных удобрений и соломы (N₁₈P₄₂+солома), а также минеральных удобрений и инокуляции семян (N₁₈P₄₂+инокуляция). На неудобренном фоне применение соломы в сочетании с инокуляцией семян ячменя повышало общую численность микроорганизмов на 52% к контролю.

Список литературы

1. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
2. Оценка действия бактеризации семян на биологическую активность почвы в ризосфере сои / А. А. Вейнбендер, Л. Т. Солдатова, Н. А. Поползухина, Н. Н. Шулико // Экологические чтения - 2022: XIII Национальная научно-практическая конференция (с международным участием), Омск, 09 июня 2022 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. – С. 120-123.
3. Влияние агротехнологий на состояние почвенной биоты и продуктивность ячменя в лесостепи Западной Сибири / О. Ф. Хамова, Л. В. Юшкевич, Н. Н. Шулико, Е. В. Тукмачева // Земледелие. – 2023. – № 2. – С. 18-23. – DOI 10.24412/0044-3913-2023-2-18-23.
4. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. – 175 с.

5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

THE EFFECT OF PROLONGED USE OF FERTILIZERS ON THE AGRONOMICALLY VALUABLE MICROFLORA IN BARLEY CROPS

N.N. Shuliko, E.V. Tukmacheva

Abstract. The research was carried out under barley. The positive effect of the combined use of mineral fertilizers and straw, as well as mineral fertilizers and seed inoculation on the total number of microorganisms has been established. Against an unfavorable background, the use of straw in combination with inoculation of barley seeds increased the total number of microorganisms by 52% to control.

Keywords: mineral fertilizers; straw; seed inoculation; soil microorganisms.

УДК 631.82

ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.М. Турлакова

Институт агробиотехнологий им.А.В.Журавского ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН

E-mail: turlakova100krapt@mail.ru

Памяти доктора сельскохозяйственных наук Н.Т.Чеботарева

Аннотация. Рассмотрена динамика органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном шестипольном севообороте в условиях Республики Коми (г.Сыктывкар) на примере изучения содержания гумуса. Исследования проводились с 1978 г. на землях Института агробиотехнологий им.А.В.Журавского ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН согласно методике ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова» по географической сети опытов с удобрениями. В 1978-2022 гг. проводили изучение влияния различных доз минеральных (расчетной, 1/3, 1/2 от расчетной) и действие двух доз органических удобрений (40 и 80 т/га) на плодородие дерново-подзолистой почвы. Органические удобрения вносили

осенью в чистом виде под картофель, минеральные удобрения весной под запланированный урожай. Расчётные дозы НРК под картофель на запланированный урожай (15 т/га) составили $N_{20}P_{10}K_{60}$ (1/3 дозы), $N_{30}P_{15}K_{90}$ (1/2 дозы), $N_{60}P_{30}K_{180}$ (полная расчетная доза); расчётные дозы НРК под многолетние и однолетние травы на запланированный урожай (20 т/га) составили $N_{13}P_{11}K_{36}$ (1/3 дозы), $N_{20}P_{16}K_{54}$ (1/2 дозы), $N_{40}P_{32}K_{108}$ (полная расчетная доза) в кг/га действующего вещества. Несмотря на величину колебаний содержания гумуса в вариантах: НРК и фон 2 по 0,3%; 1/3 НРК – 0,6%; контроль – 0,7%; 1/2 НРК и фон 1 по 0,8% за период 1978-2022 гг. показано равновесие содержания гумуса в данных вариантах. Относительно высокий уровень содержания гумуса выявлен под вариантами с совместным применением органических и минеральных удобрений: фон 1 + НРК (величина колебаний – 1,1%), фон 2 + НРК (величина колебаний – 1,4%). Во всех вариантах наблюдался насыщающий тренд динамики гумуса. В шестипольном кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве в условиях Республики Коми (г.Сыктывкар) содержание органического вещества является относительно стабильным на протяжении 44 лет.

Ключевые слова: шестипольный кормовой севооборот; удобрения; дозы удобрений; гумус; дерново-подзолистая почва; Республика Коми.

Почвенное органическое вещество является одним из важных фактором получения высокого и стабильного урожая сельхозкультур. Органическое вещество – важнейший компонент почвы, служит источником углерода и энергии для микроорганизмов, является резервуаром элементов питания для растений, содержит в себе ферменты и физиологически активные соединения, придает стабильность, упругость и устойчивость системе почва – растения – микроорганизмы, выступает средой обитания микроорганизмов и поддерживает биоразнообразие, служит источником и стоком “парниковых” газов [1]. С одной стороны, фотосинтез является основным процессом образования органического вещества, поступающего в почву и накапливаемого в составе почвенного органического вещества. С другой стороны, растительные ассимилянты выступают источником и драйвером CO_2 , возвращаемого в атмосферу и реутилизуемого растениями [2]. Содержание органического вещества в почве отражает условия почвообразовательного процесса и эволюции почвы, являясь одним из основных параметров таксономической классификации почвы, оценки ее бонитета, качества и здоровья. Современное содержание органического

вещества в почве зависит от большого числа факторов, среди которых условия климата, структура ландшафта, тип растительного покрова, характер землепользования, особенности физико-химических и биологических свойств почвы. Говоря о почвенном органическом веществе, И.В. Тюрин [3] подчеркивал, что “вся эта система динамична по своей природе и в ней непрерывно происходят изменения, причем масштаб этих изменений, очевидно находится в обратном соотношении с величиной общего запаса гумуса в почве”. В ходе исследований было выяснено, что систематическое применение органических и минеральных удобрений при длительном возделывании однолетних и многолетних трав на территории Европейского Севера наблюдалось накопление гумуса в почве [4, 5, 6, 7, 8]. Целью данного исследования являлось изучение динамики органического вещества в дерново-подзолистой почве на примере длительного шестипольного кормового севооборота в условиях Республики Коми. Начиная с 1978 года на землях Института агробиотехнологий им.А.В.Журавского ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН (г. Сыктывкар Республика Коми) проводился долговременный полевой эксперимент с удобрениями в шестипольном кормовом севообороте согласно методике ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова» по географической сети опытов с удобрениями [9, 10]. Агроклиматические условия Республики Коми имеют региональные особенности (рисунок 1). Влажность и температура – ключевые внешние факторы, контролирующие степень разложения растительных остатков почве [11].

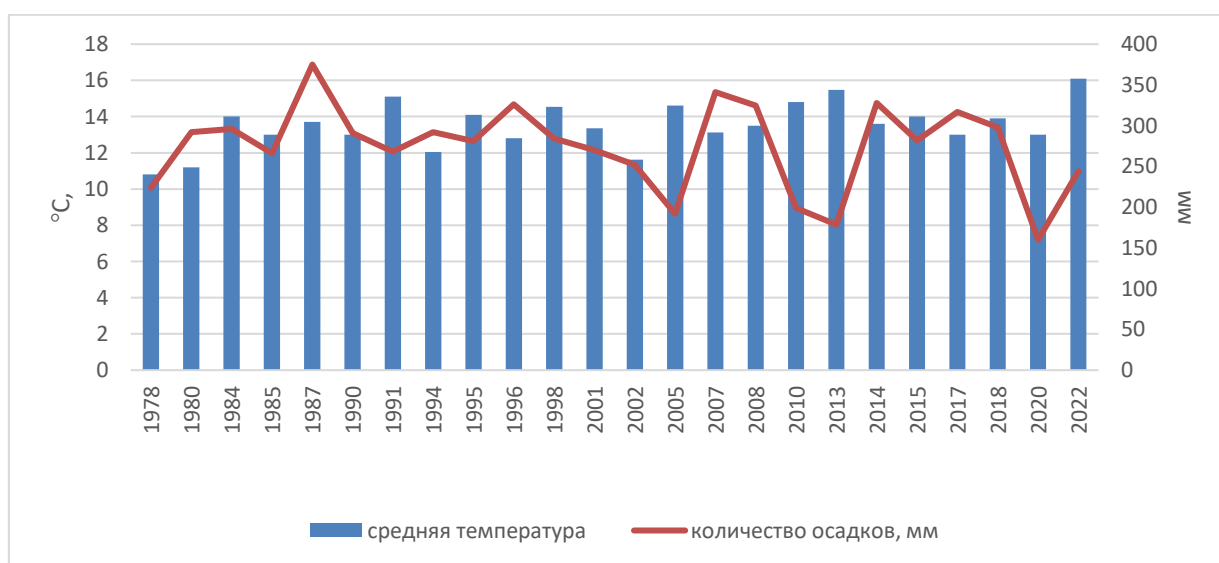


Рисунок 1 – Динамика метеоусловий вегетационного периода 1978-2022 гг. (г. Сыктывкар).

Продолжительность разложения растительных остатков в почве в зависимости от конкретных условий может варьировать от нескольких месяцев до нескольких лет [12]. Почва опытного участка – сильноподзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках. На начало эксперимента (1978 г.) содержание гумуса варьировало в пределах 2,1-2,6%; pH_{KCl} – 4,8-5,6; сумма поглощенных оснований – 9,2-11,6 ммоль/100 г почвы; содержание подвижных форм фосфора – 180-246 мг/кг почвы, содержание калия – 125-233 мг/кг почвы. В 1978-2022 гг. проводили изучение влияния различных доз минеральных (расчетной, 1/3, 1/2 от расчетной) и действие двух доз органических удобрений (40 – фон 1 и 80 т/га – фон 2) на плодородие дерново-подзолистой почвы. Органические удобрения (торфо-навозный компост, далее ТНК) вносили осенью в чистом виде под картофель, минеральные удобрения весной под запланированный урожай. Расчетные дозы NPK под картофель на запланированный урожай (15 т/га) составили $N_{20}P_{10}K_{60}$ (1/3 дозы), $N_{30}P_{15}K_{90}$ (1/2 дозы), $N_{60}P_{30}K_{180}$ (полная расчетная доза); расчетные дозы NPK под многолетние и однолетние травы на запланированный урожай (20 т/га) составили $N_{13}P_{11}K_{36}$ (1/3 дозы), $N_{20}P_{16}K_{54}$ (1/2 дозы), $N_{40}P_{32}K_{108}$ (полная расчетная доза) в кг/га действующего вещества. Площадь опытной делянки – 100 м² (12,5х8), повторность опыта четырехкратная, площадь участка под опытом – 4800 м². Опыт проводился в шестипольном кормовом севообороте со следующим чередованием культур: картофель, однолетние травы с подсевом многолетних трав, многолетние травы первого года пользования, многолетние травы второго года пользования, картофель. В образцах почв определение pH водной и солевых вытяжек проводили ионометрическим методом, обменной кислотности – по Соколову. Содержание фосфора определяли колориметрическим методом по Кирсанову, калия – методом пламенной фотометрии. Содержание гумуса определяли по Тюрину, фракционно-групповой состав гумуса – методом Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой. Математическая обработка полученных данных выполнена методами дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Microsoft Excel и Statistica. Район исследований расположен в северо-восточной части Русской платформы, Онего-Двинской провинции среднетаежных дерново-подзолистых почв. Почвообразующие породы - покровные и моренные суглинки. В описания многолетней динамики органического вещества (на примере содержания % гумуса) в почве использовали математическое моделирование. В контрольном варианте шестипольного кормового севооборота при

длительном возделывании сельхозкультур без применения удобрений (проводилось известкование в 2018г.)

содержание гумуса в пахотном слое (0-20 см) в первые 35 лет находилось на уровне равновесного состояния процессов образования и минерализации гумуса (рисунок 2). Присутствие в севообороте многолетних и однолетних трав замедляло дегумусирование. С седьмой ротации (через 36 лет) прослеживаются отчетливые колебания в динамике содержания гумуса, как в контрольном варианте без удобрений, так и на фоне различных доз удобрений.

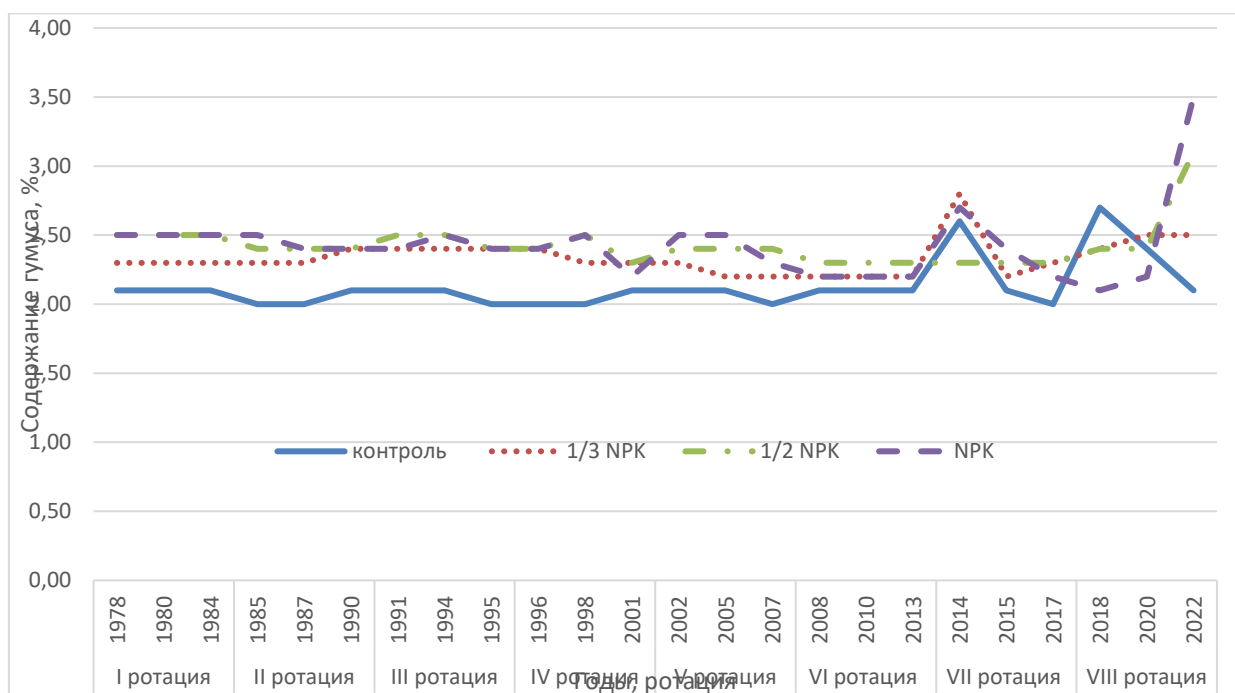


Рисунок 2 – Динамика содержания гумуса за период 1978-2022 гг. (варианты – контроль, 1/3 NPK, 1/2 NPK, NPK)

В варианте с применением органических удобрений (рисунок 3) в дозах 40 т/га и 80 т/га севооборотной площади содержание гумуса в течение 45 лет поддерживалось циклически на одном уровне. Первые две ротации (12 лет) характеризуются равновесным состоянием, на 13-й год с начала эксперимента колебания накопления гумуса возрастают, на 36 год эксперимента (2014 г.) происходят резкие изменения в накоплении гумуса. Отметим, что 2014 г. по климатическим условиям на территории г.Сыктывкар характеризовался высокими средними показателями температуры воздуха с достаточным количеством осадков (рисунок 1).

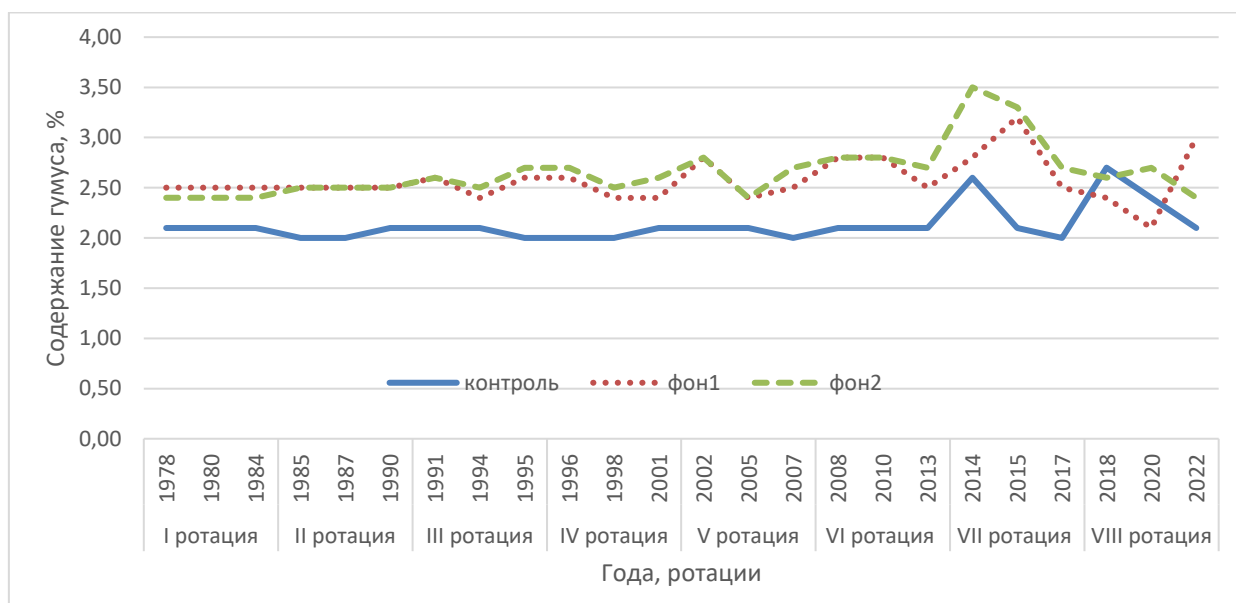


Рисунок - 3 Динамика содержания гумуса за период 1978-2022 гг. (варианты – контроль, фон 1, фон 2)

Прослеживаются отчетливые волнообразные колебания в многолетней динамике почвенного органического вещества при всех системах удобрения культур (рисунки 2,3,4). Прослеживается временная изменчивость при растущей линии тренда длительной динамики содержания гумуса в пахотном слое почвы. С 1978 г. по 2022 г. в условиях опыта по одной схеме из пахотного слоя (0-20 см) отбирались по три смешанных образца и анализировали их на содержание гумуса.

Статистический анализ данных, несмотря на величину колебаний в вариантах: NPK и фон 2 по 0,3%; 1/3 NPK – 0,6 %; контроль – 0,7%; 1/2 NPK и фон 1 по 0,8%, свидетельствует об отсутствии значимых различий ($НСР_{05}=1,0$) между средними значениями в годы исследований, что говорит о равновесии содержания гумуса в данных вариантах. Относительно высокий уровень содержания гумуса выявлен под вариантами с совместным применением органических и минеральных удобрений: фон 1 + NPK (величина колебаний – 1,1%), фон 2 + NPK (величина колебаний – 1,4%).

Обобщая материалы по уровням содержания гумуса в почве видно, что в исследуемый дерново-подзолистой почве шестипольного кормового севооборота со сбалансированным соотношением поступлений и убыли гумуса, прибывает в устойчивом состоянии, а органической системе почвы свойственно динамическое равновесие. Во всех вариантах наблюдался насыщающий тренд динамики гумуса.

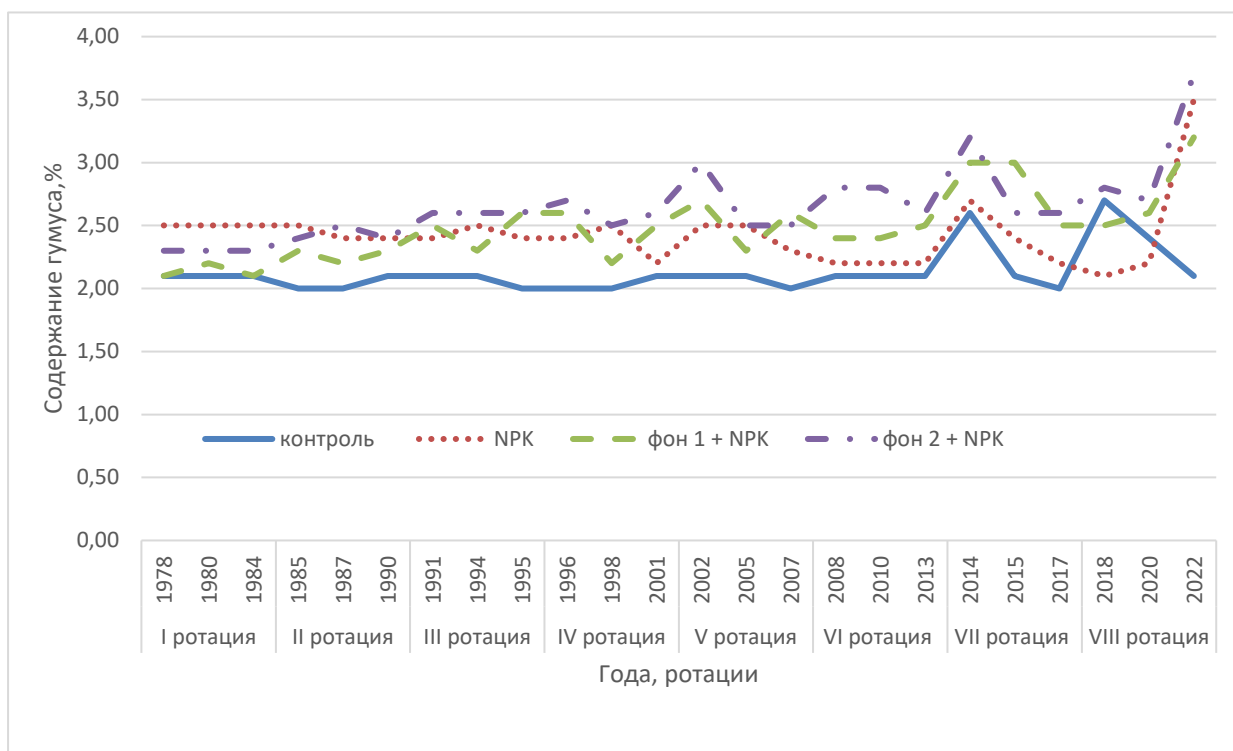


Рисунок 4 – Динамика содержания гумуса за период 1978-2022 гг. (варианты – контроль, NPK, фон 1+ NPK, фон 2+NPK)

Таким образом, в шестипольном кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве в условиях Республики Коми (г.Сыктывкар) содержание органического вещества является относительно стабильным на протяжении 44 лет.

Список литературы

1. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество / Изд-во ГЕОС. Казань, 2015. 233 с.
2. Kuzyakov Y., Gavrichkova O. Time lag between photosynthesis and carbon dioxide efflux from soil: a review of mechanisms and controls // Global Change Biol. 2010. V. 16. P. 3386-3406.
3. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
4. Чеботарев Н.Т. Об эффективности использования удобрений при возделывании кормовых культур в условиях Республики Коми // Кормопроизводство, 2012, № 8. – С. 32-33.

5. Чеботарев Н.Т., Шергина Н.Н., Тарабукина Т.В. Влияние комплексного применения органических и минеральных удобрений на фракционно-групповой состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвы Европейского Северо-Востока // Агрохимический вестник, 2020, № 3. – С. 15-18.

6. Чеботарев Н.Т., Юдин А.А. Динамика плодородия и продуктивность дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения удобрений в условиях Республики Коми // Достижения науки и техники АПК, 2015, Т. 29, № 2. – С. 11-13.

7. Чеботарев Н.Т., Шморгунов Г.Т. Влияние длительного применения удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах Европейского Северо-Востока // Агрохимия, 2009, № 10. – С. 11-16.

8. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Агрохимия, 2012, № 2. – С.37-46.

9. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями (Особенности закладки и проведения длительных опытов в различных условиях) / под общей редакцией В.Д. Панникова. М.: ВАСХНИЛ, 1976. 134 с.

10. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями (Программа и методы исследования почв) / под общей редакцией В.Д. Панникова. М.: ВИУА, 1983. 172 с.

11. Urquiaga S., Cadisch G., Alves B.J.R. et al. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen // Soil Biol. Biochem. 1989. V. 30. P. 2099-2106.

12. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 2007. 315 с.

DYNAMICS OF ORGANIC MATTER IN SOD-PODZOLIC SOILS USING VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS IN THE KOMI REPUBLIC

A.M. Turlakova

Annotation. The dynamics of the organic matter of sod-podzolic soils in a long-term six-field crop rotation in the conditions of the Komi Republic (Syktyvkar) is considered by the example of studying the humus content. The research has been conducted since 1978 on the lands of the A.V. Zhuravsky

Institute of Agrobiotechnology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences according to the methodology of the VIUA named after Pryanishnikov on the geographical network of experiments with fertilizers. In 1978-2022, the influence of various doses of mineral (calculated, 1/3, 1/2 of the calculated) and the effect of two doses of organic fertilizers (40 and 80 t/ha) on the fertility of sod-podzolic soil was studied. Organic fertilizers were applied in autumn in pure form for potatoes, mineral fertilizers in spring for the planned harvest. Calculated doses of NPK for potatoes for the planned harvest (15 t/ha) were N20P10K60 (1/3 dose), N30P15K90 (1/2 dose), N60P30K180 (full calculated dose); calculated doses of NPK for perennial and annual grasses for the planned harvest (20 t/ha) were N13P11K36 (1/3 dose), N20P16K54 (1/2 dose), N40P32K108 (total calculated dose) in kg/ha of active substance. Despite the magnitude of fluctuations in the humus content in the variants: NPK and background 2 by 0.3%; 1/3 NPK – 0.6%; control – 0.7%; 1/2 NPK and background 1 by 0.8%, the equilibrium of the humus content in these variants is shown. A relatively high level of humus content was detected under variants with the combined use of organic and mineral fertilizers: background 1 + NPK (magnitude of fluctuations – 1.1%), background 2 + NPK (magnitude of fluctuations – 1.4%). A saturating trend of humus dynamics was observed in all variants. In a six-field forage crop rotation on sod-podzolic soil in the conditions of the Komi Republic (Syktyvkar), the content of organic matter has been relatively stable for 44 years.

Keywords: Six-field feed crop rotation; fertilizers; fertilizer doses; humus; sod-podzolic soil; Komi Republic.

УДК 631.41:631.445.4:631.8

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ НА РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ РЕЛЬЕФА ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ**

О.Г. Чуян, Л.Н. Караулова, О.А. Митрохина

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

E-mail: agrochemgis@mail.ru, karaulovaln@gmail.com,

mitrokhina1977@mail.ru

Аннотация. Установлены особенности агроландшафтных различий и интенсивности изменений параметров агрохимических свойств черноземов в условиях длительного полевого опыта с применением минеральных удобрений. Определены параметры влияния минеральных

удобрений на содержание подвижных форм фосфора и калия в почве на разных элементах рельефа, а также оценено их подкисляющее воздействие. Интенсивность изменения параметров агрохимических свойств почвы соответствует следующему возрастающему ряду: склон южной экспозиции < северный склон < водораздельное плато.

Ключевые слова: рельеф; минеральные удобрения; физико-химические свойства почв; потери оснований; содержание фосфора и калия.

Введение. Информация, получаемая в длительных опытах с удобрениями, не потеряет своего научного и практического значения в обозримой перспективе несмотря на то, что их проведение, зачастую, сопровождается изменениями в севооборотах, сортового состава культур и видов применяемых удобрений. Применение удобрений является основным приемом повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, эффективного использования агроклиматических и почвенных ресурсов, а также регулирования плодородия почв [1] Поскольку применение удобрений является важнейшим средством интенсификации агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур, то оценка их влияния на элементы плодородия является необходимым условием устойчивого земледелия. Вместе с тем, количественная характеристика роли природных факторов в формировании и динамике параметров плодородия имеет важное значение для прогнозов их изменений, рационального использования самих почвенных ресурсов. В исследованиях свойств почв, как правило, основной упор делается на количественную сторону изменений свойств по результатам антропогенного воздействия и не учитываются возможные изменения, связанные с влиянием агроландшафтов, а также гидротермических условий. К факторам подкисления пахотных почв относят применение физиологически кислых минеральных удобрений, а также потери щелочноземельных элементов в результате выноса урожаев сельскохозяйственных культур и выщелачивания с поверхностным, внутрипочвенным и грунтовым стоком в регионах, где осадки превышают годовое испарение [2]. Агроэкологические различия местоположений в агроландшафте способны влиять на параметры почвенного плодородия и ресурсы продуктивности пашни [3, 4]. Необходима оценка изменений агрохимических свойств почв в связи с применением удобрений в зависимости от условий рельефа.

Цель исследований - выявить закономерности и установить интенсивность изменения параметров агрохимических свойств черноземов на различных элементах рельефа в условиях длительного полевого опыта с применением удобрений.

Методика проведения исследований. Исследования выполнялись на базе лаборатории агрохимии и агроэкологического мониторинга ФГБНУ «Курский ФАНЦ» с использованием системного анализа результатов многофакторного полевого опыта по физическому моделированию систем земледелия (номер опыта по реестру Россельхозакадемии 075) за период с 1984 по 2020 гг. Опыт расположен на склонах северной экспозиции, водораздельном плато и склоне южной экспозиции. Крутизна склона северной экспозиции от 30°12' до 60°40' и южной - от 30°45' до 50°28'. Исследования проводились в зернопаропропашном севообороте, включающем 50% зерновых (озимая пшеница, яровой ячмень), 25% пропашных (кукуруза на зеленый корм) и поле чистого пара. Почва данного участка - чернозем типичный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке, на склонах - слабосмытый. Минеральные удобрения вносились на трех уровнях: без удобрений; одинарная доза - N140P150K160 за ротацию севооборота; двойная доза - N280P300K320. Основная обработка – вспашка. Почвенные свойства оценивались по химическим анализам: гумус – по Тюрину (ГОСТ 26213-91); подвижные фосфор и калий – по Чирикову (ГОСТ 26204-91); pH – в 1,0 н KCl вытяжке (ГОСТ 26483-85); гидролитическая кислотность (Нг) – по Каппену (ГОСТ 26212-84); обменно-поглощенные основания Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрическим методом (ГОСТ 26487-85); Определение валового содержания кальция в почве проводилось рентгенофлуоресцентным методом анализа с использованием энергодисперсионного РФ спектрометра модели EDX-800HS «Shimadzu».

Результаты и обсуждение. Гидротермические условия вегетационных периодов в годы проведения полевого опыта существенно различались. Среднегодовая температура воздуха за период исследований с 1984 по 2020 гг. варьировала от 3,4 °C до 9,0, а осадки за год – от 458 до 965 мм. Гидротермический коэффициент периода май-сентябрь составил 1,25 при варьировании от 0,56 до 2,04. Отмечаются значимые тренды роста температур: за каждые 10 лет среднегодовая температура воздуха прирастала на 0,85° C, а сумма температур более 10 ° C – на 127° C (рисунок 1).

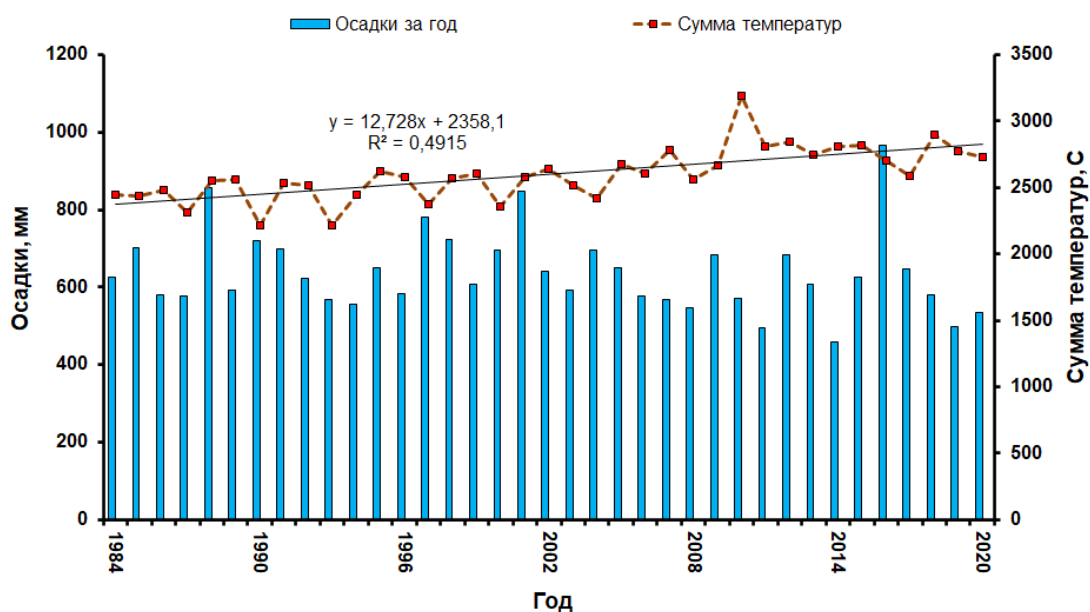


Рисунок 1 – Гидротермические условия периода исследований

За период исследований наибольшие различия агрохимических параметров плодородия наблюдались по элементам рельефа. Максимальные различия по содержанию органического вещества почвы имеются между водораздельным плато и склоном южной экспозиции, что обусловлено как гидротермическими условиями, так и проявлением эрозионных процессов. Физико-химические свойства почв, как наиболее связанные с гидротермическими условиями, наибольшие различия проявляют на полярных склонах южной и северной экспозиций - 7,20 и 5,39 ед. рН, а также 4,57 и 0,69 мг-экв/ 100 г гидролитической кислотности соответственно. Наибольшее содержание подвижного калия выявлено на южном склоне, а фосфора - в почве на водораздельном плато (таблица 1).

Таблица 1 – Различия агрохимических параметров черноземных почв (0-20 см) по элементам рельефа

Элемент Рельефа	Гумус±Sd	P ₂ O ₅ ±Sd	K ₂ O±Sd	pH _{KCl} ±Sd	Hг± Sd	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ ± Sd
	%	мг/кг		ед.	мг-экв/100 г	
Северный склон (СЭ)	5,25±0,32	132±23,9	101±18,4	5,39±0,23	4,57±0,70	27,10±1,7
Водораздель- ное плато (ВП)	5,49±0,36	204±45,3	106±19,7	5,59±0,26	4,29±0,51	28,0±2,5
Южный склон (ЮЭ)	4,86±0,23	164±24,3	126±20,1	7,20±0,11	0,69±0,13	31,4±4,0

Применение минеральных удобрений с насыщением 112 и 225 кг д.в. NPK на га на вариантах одинарной и двойной доз по разному проявилось на физико-химических свойствах почв изучаемых элементов рельефа: слабо проявилось на почве южного склона и сопровождалось существенным подкислением почвы на водораздельном плато и склоне северной экспозиции (таблица 2).

Таблица 2 – Различия физико-химических свойств по вариантам опыта в среднем за период (1 - 9 ротации)

Элемент рельефа	Вариант	pH _{KCl} ±Sd	Hг± Sd	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ ± Sd
		ед.	мг-экв/100 г	
Северный склон (СЭ)	Контроль	5,46±0,33	4,41±0,89	26,7±2,39
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	5,39±0,29	4,37±0,94	28,1±1,52
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	5,32±0,24	4,91±0,85	26,5±1,51
Водораздельное плато (ВП)	Контроль	5,71±0,39	3,93±0,89	28,1±2,45
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	5,54±0,29	4,18±0,65	27,8±2,74
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	5,43±0,39	4,92±0,75	27,7±2,53
Южный склон (ЮЭ)	Контроль	7,15±0,14	0,75±0,22	31,1±4,03
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	7,23±0,09	0,67±0,10	31,4±3,59
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	7,21±0,14	0,65±0,11	31,6±4,64

* минеральные удобрения за ротацию севооборота по одинарной дозе

На конец 9-й ротации на северной экспозиции зафиксированы различия на варианте с двойной дозой и контролем – 0,5 ед. pH_{KCl} и + 1,35 мг-экв/100 г гидролитической кислотности, а на водораздельном плато соответственно – 0,5 ед. pH_{KCl} и + 2,27 мг-экв/100 г. Валовый анализ почвы выявил потери кальция из почв этих вариантов по сравнению с контролем на 0,260 и 0,261% CaO, что составило в расчете на CaCO₃ потери из пахотного слоя на водораздельном плато 10,4 и северной экспозиции 10,2 т/га. На 1 кг действующих веществ полного минерального удобрения потери составили 1,44 и 1,41 кг CaCO₃. В целом за длительный период наблюдений в условиях зернопаропропашного севооборота происходило снижение содержания органического вещества почвы и подкисление почвы. В наибольшей мере эти изменения характерны для почвы водораздельного плато, а наименьшие зафиксированы в почве южного склона (рисунок 2). За каждую ротацию независимо от применения удобрений изменения содержания гумуса в почве (0-20см) на разных элементах рельефа в порядке возрастания соответствовали следующему ряду: склон южной экспозиции (- 0,06%, R= 0,62) < северный склон (- 0,10 %, R= 0,69) < водораздельное плато (- 0,13 %, R= 0,62).

$R=0,85$). Изменения pH_{KCl} за каждую ротацию севооборота в среднем за период соответствовали следующему возрастающему ряду: склон южной экспозиции ($-0,013$, $R=0,32$) < северный склон ($-0,048$, $R=0,49$) < водораздельное плато ($-0,092$, $R=0,80$). Интенсивность повышения гидролитической кислотности почвы соответствовала аналогичному ряду: склон южной экспозиции ($+0,022$ мг-экв/ 100 г, $R=0,40$) < северный склон ($+0,141$ мг-экв/ 100 г, $R=0,44$) < водораздельное плато ($+0,178$ мг-экв/ 100 г, $R=0,78$).

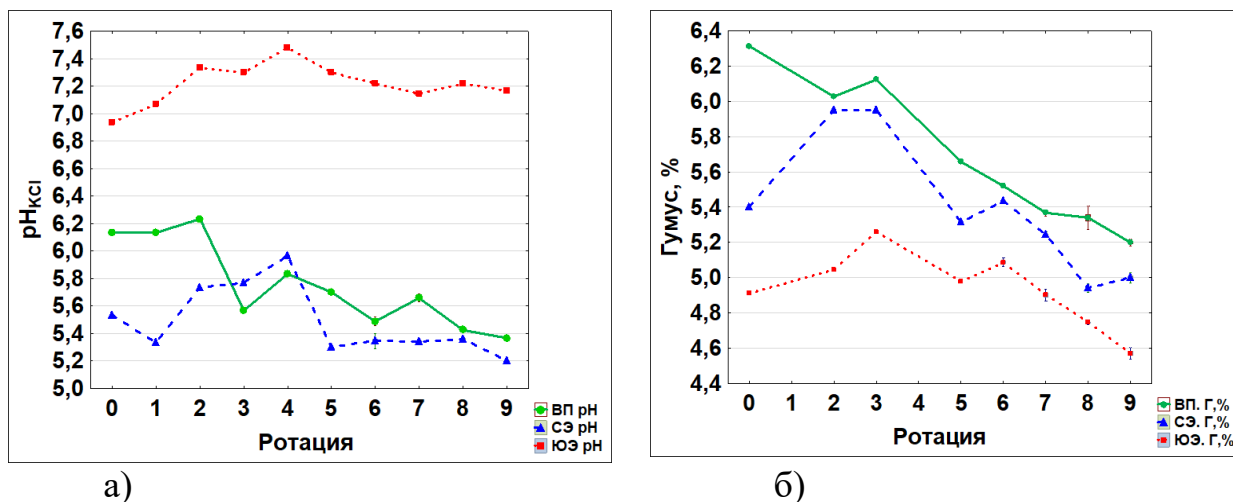


Рисунок 2 – Изменения кислотности почвы (а) и содержания гумуса (б) на разных элементах рельефа

Внесение удобрений достоверно не проявилось на содержании органического вещества и содержании азота щелочногидролизующего, однако оказало существенное влияние на повышение содержания подвижного фосфора и калия в пахотном слое почвы (таблица 3).

В расчете на одинарную дозу $N140P150K160$ при насыщении по фосфору 37,5 кг д.в. на га севооборотной площади повышение содержания подвижного фосфора в почве соответствовало следующему ряду: склон южной экспозиции ($+18,9$ мг/кг, $R=0,68$) < северный склон ($+20,6$ мг/кг, $R=0,73$) < водораздельное плато ($+35,3$ мг/кг, $R=0,74$).

При насыщении по калию 40 кг д.в. на га севооборотной площади повышение содержания подвижного калия в почве соответствовало следующему ряду: водораздельное плато ($+8,2$ мг/кг, $R=0,59$) < склон южной экспозиции ($+9,4$ мг/кг, $R=0,49$) < северный склон ($+11,2$ мг/кг, $R=0,52$).

Таблица 3 – Различия параметров плодородия почв (0-20 см) по вариантам опыта

Элемент рельефа	Вариант	N щ.г. $\pm$ Sd	P ₂ O ₅ $\pm$ Sd	K ₂ O $\pm$ Sd
Северный склон (СЭ)	Контроль	160 $\pm$ 9,7	106 $\pm$ 16,4	91 $\pm$ 8,3
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	166 $\pm$ 13,3	141 $\pm$ 18,8	99 $\pm$ 14,9
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	167 $\pm$ 12,0	147 $\pm$ 11,2	114 $\pm$ 22,5
Водораздельное плато (ВП)	Контроль	174 $\pm$ 18,2	169 $\pm$ 21,3	98 $\pm$ 12,4
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	173 $\pm$ 12,6	204 $\pm$ 34,7	105 $\pm$ 19,8
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	181 $\pm$ 22,9	240 $\pm$ 46,5	114 $\pm$ 23,7
Южный склон (ЮЭ)	Контроль	143 $\pm$ 16,5	142 $\pm$ 17,8	117 $\pm$ 14,3
	N ₁₄₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀ *	141 $\pm$ 20,2	170 $\pm$ 16,9	126 $\pm$ 22,2
	N ₂₈₀ P ₃₀₀ K ₃₂₀	138 $\pm$ 15,2	180 $\pm$ 21,3	136 $\pm$ 20,2

* минеральные удобрения за ротацию севооборота по одинарной дозе

В целом интенсивность таких изменений тесно взаимосвязана как с уровнем формирующегося баланса элементов питания в почве, так и различиями гидротермических условий на разных элементах рельефа [5]. Наблюдаемые уровни параметров агрохимических свойств почв и их изменения в течение длительного периода тесно взаимосвязаны с местоположением в рельефе, уровнем внесения удобрений. Комплексное влияние исследуемых факторов описывается уравнениями множественной регрессии (таблица 4).

Таблица 4 – Взаимосвязь агрохимических свойств почвы с исследуемыми факторами (1984 – 2020 гг)

Уравнение	R	F	P
Гумус= 4,748 + 1,556 EXP - 0,437 EXP ² - 0,095 ROT	0,831	125	<10 ⁻⁶
N щг. = 123,783 + 81,2 EXP - 23,233 EXP ² - 3,201 ROT	0,800	51	<10 ⁻⁶
P ₂ O ₅ = -94,730 + 241,717 EXP - 56,35 EXP ² + 2,938 ROT + 24,950 NPK	0,843	52	<10 ⁻⁷
K ₂ O = 67,8507 + 1,64412 ROT + 12,35 EXP + 9,6 NPK	0,616	18	<10 ⁻⁵
pH = 6,810 - 1,838 EXP + 0,687 EXP ² - 0,038 ROT - 0,054 NPK	0,963	575	<10 ⁻⁸
Hг = 0,740 + 4,562 EXP - 1,624 EXP ² + 0,105 ROT + 0,241 NPK	0,944	370	<10 ⁻⁶
Ca ²⁺ +Mg ²⁺ = 23,160 - 3,008 EXP + 1,191 EXP ² + 1,034 GUM	0,659	40	<10 ⁻⁶

EXP – 1, 2 и 3 соответственно северная экспозиция, водораздельное плато и южная экспозиция; NPK – уровни доз минеральных удобрений 0, 1, 2; ROT – номер ротации севооборота: 1...9

Выявлено, что уровни параметров агрохимических свойств чернозема типичного распределены в агроландшафте нелинейно при повышении теплообеспеченности местоположений по элементам рельефа. Для слабоэродированных почв склонов северной и южной экспозиций характерно более низкое содержание гумуса и щёлочногидролизуемого азота по сравнению с водораздельным плато. Уровни параметров физико-химических свойств отражают различия гидротермических условий по элементам рельефа. Подкисление почв идет как под влиянием минеральных удобрений, так и независимо в целом с течением времени. Содержание подвижного фосфора выше на неэродированной почве и в целом значительно возрастает при внесении удобрений. Содержание подвижного калия возрастает от северного склона к южному, а его повышение в почвах при внесении удобрений практически в 2,6 раз ниже, чем фосфора при примерно равном насыщении по севообороту.

Выводы. Таким образом, пространственные различия и изменения параметров агрохимических свойств в длительном цикле, в первую очередь, определяются местоположением в рельефе, изменением во времени, интенсификацией агротехнологий, уровнем внесения удобрений. Наибольшей устойчивостью к изменениям как во времени, так и к действию минеральных удобрений обладают почвы южного склона. Наибольшие различия по содержанию гумуса наблюдаются между водораздельным плато и южной экспозицией: 0,63 %, по кислотности - между южной и северной экспозицией 1,81 ед. pH_{KCl} , по содержанию подвижного калия - между северной и южной экспозицией (25 мг/кг), по содержанию подвижного фосфора между водораздельным плато и северной экспозицией (72 мг/кг). Условия зернопаропропашного севооборота обуславливают снижение содержания гумуса на 0,095% в среднем за ротацию.

Параметры интенсивности подкисления почв во времени, а также подкисляющее действие удобрений имели следующую иерархию по элементам рельефа ВП > СЭ > ЮЭ. В среднем по элементам рельефа показатель кислотности почв снижался на 0,038 ед. pH_{KCl} за ротацию севооборота, а также на 0,054 ед. pH_{KCl} в расчете на одинарную дозу минеральных удобрений (112 кг NPK д.в./га). В целом по опыту содержание подвижного фосфора в почве возрастало при внесении удобрений на 25 мг/кг при насыщении по фосфору 37,5 кг д.в. /га, а содержание подвижного калия в почве возрастало в среднем на 9,6 мг/кг при насыщении 40 кг д.в. /га.

Список литературы

6. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13.
7. Хомяков Д.Н. Изменение кислотности природной среды и известкование почв в регионах с гумидным климатом // Агрохимия. 2000. № 3. С. 81-91.
8. Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Графов В.П. Фациальная дифференциация земельных ресурсов как основа повышения экологизации агроландшафта // Земледелие. 2018. № 1. С. 10-15.
9. Чуян О.Г., Золотухин А.Н., Глазунов Г.П. Оценка ресурсов продуктивности пашни в склоновых агроландшафтах ЦЧР // Земледелие. 2023. № 1. С. 8-13.
10. Караулова Л.Н., Чуян О.Г., Митрохина О.А. Изменение параметров агрохимических свойств черноземных почв в условиях длительного применения удобрений // Земледелие. 2024. № 2. С. 13-19.

CHANGE OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF CHERNOZEM SOILS ON DIFFERENT RELIEF ELEMENTS UNDER LONG-TERM FERTILIZER APPLICATION

O.G. Chuyan, L.N. Karaulova, O.A. Mitrokhina

Annotation. The peculiarities of agrolandscape differences and intensity of changes in the parameters of agrochemical properties of chernozems in the conditions of long-term field experiment with the use of mineral fertilizers have been established. The parameters of mineral fertilizers influence on the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soil on different relief elements were determined, and their acidifying effect was estimated. The intensity of change in the parameters of agrochemical soil properties corresponds to the following increasing series: slope of southern exposure < northern slope < watershed plateau.

Key words: relief; mineral fertilizers; physico-chemical properties; base losses; phosphorus and potassium content.

**ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА
ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ В ОПЫТЕ ГЕОСЕТИ**

Н.Н. Шаповалова

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

E-mail: schapovalova.nadejda@yandex.ru

Аннотация: Исследования проводили с целью изучения последствий длительного применения (с 1975 по 2005г.) разных видов и доз минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозема обыкновенного и урожайность культур. Работу выполняли с 2006 по 2024 гг. в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Установлено, что в течение 16 лет последствия содержание остаточного фосфора удобрений в слое 0-20 см почвы сократилось на 7-36 мг/кг или в среднем на 0,4-2,3 мг/кг в год. Количество гумуса уменьшилось на 0,36-0,91%, значения pH водной суспензии снизились на 0,29-0,76 ед. Наиболее высокий прирост урожайности культур под влиянием последствий всех изучаемых видов и доз удобрений был получен в первые девять лет. Средний прирост по культурам – от 0,55 до 1,29 тыс. з.ед./га. Самый большой и продолжительный эффект последствий наблюдался в вариантах длительного внесения полного минерального удобрения ($N_{120}P_{30-150}K_{120}$) и одного азота в дозе 150 кг/га – в 15-ти годах из 17 лет. В опыте обнаружена тенденция снижения среднегодовой урожайности культур в период последствий удобрений вследствие увеличения дисбаланса питательных элементов и уменьшения устойчивости почвенной системы к воздействию неблагоприятных факторов.

Ключевые слова: последствия удобрений; агрохимические свойства; подвижный фосфор; подвижный калий; урожайность культур; органическое вещество; реакция среды

В регионах постоянного ведения земледелия с интенсивным использованием почвенных ресурсов не утрачивает своей актуальности вопрос сохранения и восстановления плодородия почвы. К одному из важных факторов, позволяющих предотвратить ухудшение агрохимических свойств почвы, относятся минеральные удобрения [8]. В результате длительного систематического применения высоких доз удобрений в почве создаются резервы остаточных количеств питательных элементов, которые могут

эффективно использоваться культурами после прекращения внесения удобрительных средств [7]. Среди исследователей не сложилось единого мнения об эффективности и продолжительности периода последствий разных видов и доз удобрений в зависимости от типа почвы [1-6, 9-10]. Исследований, направленных на решение этой проблемы, немного, хотя они имеют большое практическое и экологическое значение, поскольку позволяют спрогнозировать и, по возможности, предотвратить необратимую антропогенную деградацию ценных пахотных угодий после прекращения внесения удобрительных средств.

Цель исследований – определить влияние последствий длительного применения разных видов и доз минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы и урожайность культур на черноземе обыкновенном Ставропольского края.

Методика. Научные исследования проведены на базе экспериментального поля лаборатории почвоведения и агрохимии ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Ставропольский НИИСХ) в стационарном опыте, заложенном в 1975 г. и включенным в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами под номером 077.

Почва опытного участка - чернозем обыкновенный мощный малогумусный тяжелосуглинистый. Агрохимические свойства почвы в слое 0-20 см при закладке опыта: содержание гумуса по Тюрину – 4,3%; подвижного фосфора и калия в 1% углеаммонийной вытяжке по Мачигину – 12,9 и 184 мг/кг; рН водной суспензии – 7,3; валовой азот 0,32%; валовой фосфор – 0,12%; валовой калий – 2,13%; общие карбонаты по Павлову – 1,17%.

Опыт трехфакторный. Фактор А – вид удобрения (азотное, фосфорное, калийное). Фактор В – фон (естественный и удобрённый. Для азотного удобрения - фон $P_{120}K_{120}$; для фосфорного удобрения - $N_{120}K_{120}$; для калийного - $N_{120}P_{120}$). Фактор С - доза удобрения (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 кг/га д.в.). Каждый из изучаемых видов удобрений применяли в дозах от 0 (контроль) до 180 кг/га д.в., как отдельно, так и на фоне двух других элементов питания в дозах 120 кг/га д.в. В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, суперфосфат и 40-% калийную соль.

Во время проведения опыта минеральные удобрения применяли лишь в течение первых 30 лет (с 1975 по 2005 гг.). В течение этого периода проведено 21-кратное наложение азотного и фосфорного и 15-кратное

калийного удобрения. По вариантам опыта суммарно было внесено от 630 до 3780 кг/га азота, от 630 до 3780 кг/га фосфора и от 450 до 2700 кг/га калия. Агрохимикаты вносили систематически перед посевом культуры, исключая паровое поле, в различных дозах и соотношении питательных элементов, что привело к созданию в опыте участков с разнообразием агрохимических свойств. Опыт изначально проводили на трёх полях, последовательно закладываемых во времени с интервалом в один год. К началу изучения последствий (2006 г.) в опыте сохранились лишь две временные повторности. Площадь опытной делянки составляла 75 м², уборочная площадь – 22 м². Повторность вариантов на каждом поле – четырехкратная. В период последствий удобрений культуры чередовались следующим образом: чистый пар – озимая пшеница – озимый ячмень – соя – яровой ячмень – лен – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – горох – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – подсолнечник – сорго – чистый пар – озимая пшеница.

Образцы почвы отбирали перед посевом культур в слое 0-20 см. В процессе проведения лабораторных исследований использовались общепринятые методики определения основных показателей агрохимического состояния почвы: подвижный фосфор и калий по ГОСТ 26205-91, общий гумус по Тюрину, pH водной суспензии по ГОСТ 26423-85. Урожайность учитывали прямым обмолотом малогабаритным селекционным комбайном «Wintersteiger» с последующим пересчётом на стандартную влажность. Полученные результаты обработаны дисперсионным методом статистического анализа данных с использованием программы AgCStat-Excel.

Результаты и их обсуждение. Для успешного развития растениеводческой отрасли необходим постоянный мониторинг плодородия сельскохозяйственных земель, значение которого заметно повышается в условиях недостатка удобрительных средств из-за невозможности компенсировать отчуждаемые с урожаями питательные вещества. Изучение динамики потери почвой эффективного плодородия после прекращения использования удобрений в опыте проводились с 2006 по 2024 г.

К началу изучения последствий фосфорных удобрений (1 год) в почве накопилось значительное количество остаточных фосфатов (таблица1). Под влиянием 21-кратного наложения фосфора в дозе 30 кг/га, как отдельно, так и на фоне N₁₂₀K₁₂₀, обеспеченность почвы P₂O₅ увеличилась с низкого, природного, до повышенного уровня или с 12-14 до 37-42 мг/кг.

При внесении 60 кг/га P_2O_5 содержание подвижных форм достигло высокой (52-59 мг/кг), а при использовании 90-150 кг/га P_2O_5 – очень высокой степени обеспеченности элементом (66-91 мг/кг). Улучшение фосфатного режима почвы отмечено также и в результате применения одного лишь азотного удобрения что, скорее всего, связано с повышением подвижности трудно растворимых соединений фосфора почвы в результате их кислотного гидролиза. Количество фосфатов в этих вариантах находилось в пределах 21-24 против 18 мг/кг в контроле.

Таблица 1 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое 0-20 см почвы перед посевом культур в последствии длительного применения удобрений, мг/кг (2007-2024 гг.)

Вариант удобрения	Содержание P_2O_5 в годы последствия				Изменение содержания P_2O_5 за период (лет)					
	1	5	9	16	0-4	5-8	9-12	13-16	0-16	за 1 год*
контроль	18	21	18	21	3	-3	0	3	3	0
N ₃₀	21	20	18	19	-1	-2	0	1	-2	0
N ₆₀	23	19	16	20	-4	-3	5	-1	-3	0
N ₉₀	23	20	16	25	-3	-4	6	3	2	0
N ₁₅₀	24	19	17	22	-5	-2	6	-1	-2	0
P ₃₀	42	35	36	34	-7	1	-9	7	-8	-0,5
P ₆₀	59	49	46	43	-10	-3	-1	-2	-16	-1,0
P ₉₀	67	56	53	52	-11	-3	1	-2	-15	-0,9
P ₁₅₀	91	71	59	55	-20	-12	2	-6	-36	-2,3
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	37	28	30	30	-9	2	-7	7	-7	-0,4
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	52	41	42	35	-11	-11	-7	11	-17	-1,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	66	55	44	39	-11	-11	-8	3	-27	-1,7
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀	79	68	54	48	-11	-14	-6	0	-31	-1,9

* - среднегодовая убыль фосфора за 16 лет последствия

После 16-ти лет возделывания культур без применения фосфорных удобрений на почвах с очень высокой и высокой обеспеченностью элементом содержание P_2O_5 уменьшилось с 52-91 до 35-55 мг/кг или на 15-36 мг/кг (22-41%).

В наших наблюдениях за содержанием остаточного фосфора в пахотном слое почве отмечен резкий спад в первые, 4 года последствия фосфорного удобрения (на 7-20 мг/кг), и последующее постепенное его уменьшение на 0,3-1,5 мг/кг в год. При изначально очень высоком количестве

остаточных форм P_2O_5 в почве (66-91 мг/кг) период интенсивного его снижения увеличился до 8 лет, что наблюдалось, в первую очередь, в вариантах последствия фосфора на фоне $N_{120}K_{120}$.

В течение 16 лет последствия удобрений среднегодовая убыль содержания остаточных фосфатов в слое 0-20 см составила 0,4-2,3 мг/кг. Как показали наши предыдущие исследования [10], в прибавке урожая доля остаточного фосфора из пахотного слоя почвы колебалась от 27 до 63%. В формировании оставшейся части прибавки урожая участвовал как подвижный фосфор нижних слоёв почвы, так и других менее доступных форм.

Изучение динамики содержания калия в почве не выявило каких-либо закономерностей, связанных с продолжительностью последствия и количеством внесённых ранее калийных удобрений (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика содержания подвижного калия в слое 0-20 см почвы перед посевом культур в последствии удобрений, мг/кг (2007-2024 гг.)

Вариант удобрения	Содержание K_2O в годы последствия				Изменение содержания K_2O за период последствия (лет)					
	1	5	9	16	0-4	5-8	9-12	13-16	0-16	за 1 год*
контроль	237	207	212	243	-30	5	15	16	6	0
N_{30}	218	182	205	231	-36	23	20	6	13	1
N_{60}	208	173	222	238	-35	49	0	16	30	2
N_{90}	218	189	201	291	-29	12	24	66	73	5
N_{150}	215	175	211	303	-40	36	-13	105	88	6
P_{30}	195	183	207	245	-12	24	11	27	50	3
P_{60}	207	191	219	219	-16	28	1	-1	12	1
P_{90}	197	178	213	222	-19	35	-3	12	25	2
P_{150}	186	179	207	244	-7	28	14	23	58	4
$N_{120}P_{30}K_{120}$	217	197	261	318	-20	64	-35	92	101	6
$N_{120}P_{60}K_{120}$	217	186	227	233	-31	41	-21	27	16	1
$N_{120}P_{90}K_{120}$	208	191	227	218	-17	36	-21	12	10	1
$N_{120}P_{150}K_{12}$	205	192	206							
0				237	-13	14	8	23	32	2

* среднегодовое изменение содержания калия в пахотном слое почвы в течение 16 лет последствия удобрений

В период последействия удобрений содержание K_2O в пахотном слое чернозема варьировало в пределах от 173 до 318 мг/кг и, в сравнении с другими основными элементами питания, характеризовалось наименьшей вариабельностью из-за способности калия к быстрому переходу из поглощенного состояния в раствор и обратно. Поэтому наблюдения за динамикой содержания подвижного калия в почве позволяют не столько оценить эффективность последействия калийных удобрений, а сколько природную способность почвы восстанавливать калийное состояние до исходного уровня. Сравнение количества K_2O в вариантах опыта в первый год и через 16 лет последействия удобрений показало, что за 16 лет последействия удобрений во всех вариантах опыта, включая контроль, произошло увеличение количества подвижного калия в слое 0-20 см на 6-101 мг/кг или в среднем на 1-6 мг/кг в год. В наблюдениях за содержанием калия в почве отмечено также чередование 4-летних периодов уменьшения и повышения его количества в почве. Значительное снижение содержания K_2O (на 7-40 мг/кг) наблюдалось в первые, 4 года с начала изучения последействия, а существенное накопление – в периоды 5-8 и 13-16 лет. Уменьшение количества калия в почве связано с повышением выноса его урожаем культур, а увеличение во всех вариантах опыта, даже в которых калийные удобрения никогда не вносились, – с перемещением его из нижних слоёв корневой системой растений и оставлением в поле растительных остатков (побочной продукции).

Длительное сельскохозяйственное использование чернозема (30 лет), как в контроле (без удобрений), так и при внесении минеральных удобрений, привело к уменьшению значений рН водной суспензии почвы относительно исходного уровня на 0,27-0,77 ед. В течение первых пяти лет последействия удобрений (2007-2012 гг.) в контроле и почти во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение значений рН относительно 2007 г. на 0,12-0,93 ед. Наиболее активно процесс подщелачивания почвы протекал в последействии отдельного внесения фосфорного удобрения (рН 7,42-7,77), причём в умеренных дозах P_{30-60} (рН 7,72-7,77). В дальнейшем процесс подкисления пахотного слоя почвы возобновился и даже усилился, при этом не только в вариантах последействия удобрений, но и в контроле. Так, если в контроле перед закладкой опыта рН соответствовала 7,3; после 30 лет действия удобрений – 7,03, то через 17 лет последействия – 6,41 ед. (таблица 3). Это связано, скорее всего, с заметным снижением содержания органического вещества в почве и использованием при формировании урожайности культур

Ca и углерода CO₂, выделяющегося при разложении карбонатов. Полученные результаты могут свидетельствовать также о существенном снижении устойчивости почвенной системы, её буферной способности и повышении уязвимости почвы к неблагоприятным факторам.

Таблица 3 – Изменение реакции почвенного раствора (рН_{H2O}) в слое 0-20 см почвы в годы проведения опыта

Вариант опыта	Исходное	Действие	Последействие удобрений			
	1975	1981*	2007	2012	2018	2023
Контроль	7,3	7,4	7,03	7,24	7,06	6,41
N ₃₀		7,4	6,92	7,09	6,78	6,16
N ₆₀		7,3	6,87	6,80	6,33	6,16
N ₉₀		7,4	6,61	6,76	6,37	6,17
N ₁₅₀		7,3	6,64	6,65	6,65	6,13
P ₃₀		7,2	7,00	7,72	6,66	6,42
P ₆₀		7,3	6,84	7,77	6,47	6,42
P ₉₀		7,2	6,82	7,46	6,67	6,40
P ₁₅₀		7,2	6,78	7,42	6,39	6,39
P ₃₀ +N ₁₂₀ K ₁₂₀		-	6,61	6,91	6,81	6,28
P ₆₀ +N ₁₂₀ K ₁₂₀		-	6,67	6,79	6,99	6,26
P ₉₀ +N ₁₂₀ K ₁₂₀		-	6,64	6,72	6,63	6,23
P ₁₅₀ +N ₁₂₀ K ₁₂₀		-	6,53	6,68	6,65	6,24
HCP ₀₅		-	0,19	0,29	0,39	0,13

*1981 г. – по окончании I ротации севооборота, 2007 г. – по окончании пяти ротаций севооборота (через 30 лет изучения действия удобрений).

В период последействия удобрений, в отсутствии поступления в почву минерального азота, хотя бы частично компенсирующего вынос элемента урожаем, наблюдалась отрицательная динамика содержания органического вещества в пахотном слое почвы. Содержание гумуса в контроле перед закладкой опыта составило 4,31%, после 30 лет действия удобрений – 3,38% и через 16 лет последействия – 3,13%. (таблица 4). На протяжении периода последействия наибольшее количество органического вещества в слое 0-20 см почвы отмечено в последействии отдельного внесения фосфорного удобрения, что связано, скорее всего, с образованием более устойчивых гумусовых веществ (гуматов кальция) при использовании одного суперфосфата. При этом наблюдалась прямая зависимость между дозой фосфора и содержанием гумуса в почве. За 16-летний период последействия удобрений наибольшая потеря гумуса в слое 0-20 см почвы отмечена в

варианте применения полного минерального удобрения в дозе $N_{120}P_{150}K_{120}$ - с 3,83 до 2,92%. Это обусловлено самой высокой урожайностью и выносом азота культурами.

Таблица 4 – Изменение содержания гумуса в слое 0-20 см почвы за время проведения опыта, %

Вариант опыта	Исходное	Действие	Последействие удобрений		
	1975	1981	2007	2018	2023
Контроль	4,31	4,29	3,38	3,45	3,13
N_{30}		4,10	3,64	3,55	3,03
N_{60}		3,90	3,90	3,55	3,11
N_{90}		4,10	3,60	3,47	3,06
N_{150}		3,71	3,48	3,50	3,06
P_{30}		4,29	3,53	3,84	3,17
P_{60}		4,29	3,67	3,88	3,17
P_{90}		4,60	3,72	3,86	3,25
P_{150}		4,71	3,84	3,86	3,41
$P_{30}+N_{120}K_{120}$		4,29	3,84	3,71	3,07
$P_{60}+N_{120}K_{120}$		4,21	3,72	3,67	3,08
$P_{90}+N_{120}K_{120}$		4,21	3,76	3,64	3,05
$P_{150}+N_{120}K_{120}$		4,29	3,83	3,76	2,92
HCP_{05}			0,19	0,19	0,18

**1981 г. – по окончании I ротации севооборота, 2007 г. - по окончании пяти ротаций севооборота (через 30 лет изучения действия удобрений).*

Влияние последействия длительного применения удобрений на урожайность изучали на 7 культурах. Наибольшая урожайность была достигнута при возделывании озимой пшеницы по пару (6 из 17 лет последействия) и озимого ячменя. Значения этого показателя в среднем по вариантам опыта составили соответственно 5,11-6,93 и 5,12 т/га. Далее в порядке убывания средней урожайности располагались соя (3,94); яровой ячмень и озимая пшеница по льну (3,81-3,82); сорго (3,78) и озимая пшеница по гороху (3,68 т/га). Наименее продуктивными оказались лён (2,94); подсолнечник (2,72) и горох (2,19 т/га).

Наиболее высокий прирост урожайности культур отмечен в первые, 9 лет последействия удобрений. В этот период культуры по отзывчивости на последействие удобрений располагались в следующем убывающем порядке: озимый ячмень (прирост в среднем по вариантам удобрений - 1,29 т/га); озимая пшеница по льну (1,02); озимая пшеница по пару во 2-ой год

последствия (0,95); яровой ячмень (0,91); лен (0,79) и озимая пшеница по пару в 9-ый год последствия (0,72 т/га). Менее требовательными к плодородию почвы оказались соя (0,55 т/га); горох (0,32) и озимая пшеница, выращиваемая после гороха (0,41 т/га).

Самый высокий и продолжительный эффект последствия наблюдался в вариантах длительного внесения полного минерального удобрения $N_{120}P_{30-150}K_{120}$ и после применения высокой дозы азота 150 кг/га – в 15-ти годах из 17 лет.

Последствие всех доз фосфорного удобрения ограничилось первыми десятью годами (таблица 5).

Таблица 5 – Последствие длительного применения минеральных удобрений на прирост урожайности культур (2007-2024 гг.)

Вариант удобрения	Прибавка по годам последствия удобрений, тыс. з.е./га												
	2*	3	4	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_{30}	0,32	0,73	0,23	0,46	0,62	1,22	0,12	0,12	0,26	0,0	0,03	0,11	0,21
N_{60}	0,83	0,74	0,46	0,59	0,78	1,28	0,09	0,19	0,46	0,23	0,26	0,50	0,38
N_{90}	1,06	0,75	0,77	0,61	0,82	1,27	0,49	0,16	0,59	0,25	0,33	0,46	0,38
N_{150}	0,99	1,33	0,55	1,03	0,99	1,30	0,51	0,15	1,08	0,54	0,35	1,40	0,33
P_{30}	0,80	0,45	0,57	0,72	0,87	0,71	0,85	0,37	0,01	0,12	-0,1	-0,3	0,43
P_{60}	0,72	0,73	0,60	0,55	0,67	0,93	1,03	0,34	0,21	0,22	-0,1	0,0	0,43
P_{90}	0,66	0,62	0,93	0,67	0,76	0,88	1,15	0,36	0,29	0,07	-0,2	0,4	0,53
P_{150}	0,94	1,22	0,96	0,80	0,84	1,00	1,18	0,34	0,22	0,0	-0,1	0,1	0,3
P_{30} $N_{120}K_{120}$	1,63	2,40	0,08	1,07	0,75	0,85	0,75	0,36	0,50	0,06	0,17	0,57	0,49
P_{60} $N_{120}K_{120}$	1,53	2,08	0,35	1,44	0,93	0,80	0,74	0,33	0,40	0,26	0,50	1,12	0,80
P_{90} $N_{120}K_{120}$	1,16	1,94	0,37	1,27	0,70	1,03	0,88	0,56	0,45	0,08	0,83	1,27	0,67
P_{150} $N_{120}K_{120}$	0,78	2,52	0,75	1,68	0,78	0,98	0,88	0,50	0,52	0,0	0,44	1,88	0,73
Среднее	0,95	1,29	0,55	0,91	0,79	1,02	0,72	0,32	0,41	0,15	0,21	0,62	0,47
HCP_{05}	0,51	0,60	0,22	0,39	0,43	0,50	0,36	0,33	0,37	0,54	0,25	0,49	0,33

* В 1-2, 8-9, 12-13, 16-17 годы последствия выращивалась озимая пшеница по пару; 3 – озимый ячмень; 4 – соя; 5 – яровой ячмень; 6 – лён; 7 – озимая пшеница по льну; 10 – горох; 11 – озимая пшеница по гороху; 14 – подсолнечник; 15 – сорго.

Стабильный ежегодный прирост урожайности в последствии умеренных доз азотного удобрения (30-60 кг д.в./га) наблюдался в течение 5-7 лет, повышенной дозы азота (90 кг/га) – 9 лет. Максимальный эффект от азотного удобрения получен в седьмой год последствия – на озимой пшенице по льну. Прирост сбора зерна находился в пределах 1,22-1,30 т/га. В последующие годы положительное влияние последствия азотного удобрения в дозах 30-90 кг д.в./га на урожайность культур заметно уменьшилось или отсутствовало вовсе. Среди вариантов азотного удобрения самый высокий положительный и устойчивый эффект последствия показала максимальная доза - N₁₅₀.

После прекращения внесения удобрительных средств в опыте наблюдали тенденцию к снижению среднегодовой урожайности культур, как в контроле, так и в вариантах последствия удобрений (таблица 6).

Таблица 6 – Среднегодовая урожайность культур за 17 лет последствия длительного применения удобрений, тыс. з.ед./га (2007-2024 гг.)

Вариант опыта	Среднегодовая урожайность за период (лет)				Прирост среднегодовой урожайности за период (лет)			
	0-3	0-7	0-11	0-17	0-3	0-7	0-11	0-17
Контроль	3,33	3,07	2,83	2,88	0	0	0	0
N ₃₀	3,68	3,58	3,20	3,14	0,35	0,51	0,37	0,26
N ₆₀	3,85	3,74	3,32	3,28	0,52	0,67	0,49	0,40
N ₉₀	3,93	3,82	3,42	3,35	0,60	0,75	0,59	0,47
N ₁₅₀	4,10	3,95	3,55	3,50	0,77	0,88	0,72	0,62
P ₃₀	3,74	3,66	3,31	3,20	0,41	0,59	0,48	0,32
P ₆₀	3,81	3,67	3,35	3,26	0,48	0,60	0,52	0,38
P ₉₀	3,75	3,71	3,40	3,30	0,42	0,64	0,57	0,42
P ₁₅₀	4,05	3,89	3,51	3,34	0,72	0,82	0,68	0,46
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	4,67	4,04	3,59	3,45	1,34	0,97	0,76	0,57
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,53	4,09	3,61	3,54	1,20	1,02	0,78	0,66
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	4,36	3,99	3,59	3,54	1,03	0,92	0,76	0,66
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀	4,43	4,14	3,68	3,61	1,10	1,07	0,85	0,73

Так, в течение 17 лет, в сравнении с первыми тремя годами периода последствия удобрений, среднегодовая урожайность культур в контроле уменьшилась на 0,45; а в ранее удобренных вариантах – на 0,45-1,22 тыс. з.ед./га. Наибольшее снижение показателя отмечено в вариантах последствия полного минерального удобрения (N₁₂₀P₃₀₋₁₅₀K₁₂₀) – 0,82-1,22

тыс. з.ед./га. Среднегодовой прирост урожайности культур за счёт использования остаточных количеств удобрений в почве также уменьшился, что свидетельствует об усилении дисбаланса питательных элементов в почве вследствие заметного ухудшения гумусового состояния, повышения кислотности почвенного раствора и снижения устойчивости почвы к неблагоприятным воздействиям внешних факторов.

Суммарная урожайность культур (в переводе на условное зерно) за 17 лет последствия удобрений составила в контроле 48,98 тыс. з.ед./га (таблица 7).

Таблица 7 – Влияние последствия длительного применения удобрений на продуктивность 1 га пашни, тыс. з.ед. /га (2007-2024 гг.)

Вариант опыта	Продуктивность 1 га за 17 лет	Прирост продуктивности по годам последствия (лет)					
		0-3	4-7	8-11	12-15	16-17	0-17
Контроль	48,98	0	0	0	0	0	0
N ₃₀	53,40	1,05	2,53	0,50	0,13	0,21	4,42
N ₆₀	55,77	1,57	3,11	0,74	0,99	0,38	6,79
N ₉₀	56,92	1,81	3,47	1,24	1,04	0,38	7,94
N ₁₅₀	59,53	2,32	3,87	1,74	2,29	0,33	10,55
P ₃₀	54,42	1,25	2,87	1,21	0,00	0,43	5,76
P ₆₀	55,35	1,45	2,75	1,58	0,16	0,43	6,37
P ₉₀	56,13	1,28	3,24	1,80	0,30	0,53	7,15
P ₁₅₀	56,78	2,16	3,60	1,74	0,00	0,30	7,80
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	58,66	4,03	2,75	1,61	0,80	0,49	9,68
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	60,26	3,61	3,52	1,47	1,88	0,80	11,28
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	60,19	3,10	3,37	1,89	2,18	0,67	11,21
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀	61,38	3,30	4,19	1,90	2,28	0,73	12,40

Наибольший прирост продуктивности 1 гектара пашни относительно контроля получен в вариантах последствия полного минерального удобрения (9,68-12,40 тыс. з.ед./га) и одного азота в дозе 150 кг/га (10,55 тыс. з.ед./га). Прирост продуктивности культур в последствии фосфорного удобрения находился в пределах 5,44-7,80 тыс. з.ед./га. По эффективности последствия азотное удобрение, которое применялось в дозах 60 и более кг д.в./га, не уступило фосфорному удобрению. При этом эффективность последствия напрямую зависела от количества внесённых ранее удобрений.

В вариантах опыта распределение суммарного прироста продуктивности культур по годам наглядно показало, что около 58-81% от суммы пришлось на первые 7 лет и 74-96% на 11 лет последствия удобрений.

Таким образом, длительное применение минеральных удобрений на черноземе обыкновенном обусловило высокий эффект последствия всех изучаемых видов и доз на урожайность культур в течение девяти лет. Самый продолжительный эффект последствия отмечен в последствии применения полного минерального удобрения $N_{120}P_{30-150}K_{120}$ и высокой дозы азота 150 кг/га – в 15-ти годах из 17 лет. Наиболее отзывчивыми на эффективное плодородие почвы оказались озимый ячмень, озимая пшеница, яровой ячмень, лён, а менее требовательными – соя и горох. В течение 16 лет последствия удобрений среднегодовая убыль содержания остаточных фосфатов в слое 0-20 см почвы составила 0,4-2,3 мг/кг. В сравнении с началом изучения последствия удобрений (2006 г.) содержание гумуса в пахотном слое уменьшилось с 3,38-3,90 до 2,92-3,41 % и активизировался процесс подкисления почвы. Значения pH снизились с 6,53-7,03 до 6,13-6,42 ед. В опыте наметилась тенденция к снижению среднегодовой урожайности культур вследствие увеличения дисбаланса питательных элементов.

Список литературы

1. Байбеков Р.Ф., Коваленко А.А., Забугина Т.М. Последствие органической и органоминеральной систем удобрения в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой почве // Земледелие. 2022. № 6. С. 8-11. doi: 10.24412/0044-3913-2022-6-8-11.
2. Волынкина О.В. Длительность последствия минеральных удобрений в опыте Курганского НИИСХ // Агрохимия. 2023. № 4. С. 44-50. doi: 10.31857/S0002188123040154
3. Зубкова Т.А., Схашок Ф.Ю., Ашинов Ю.Н. Эффект последствия минеральных удобрений в почвах Адыгеи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 10 (96). С.5-8.
4. Кирпичников Н.А., Ермолаев С.А., Аканова Н.И., Носатова Е.А. Эффективность фосфорных удобрений в длительном последствии // Плодородие. 2003. № 3 (12). С.34-36.
5. Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Грачёва А.А. Длительность последствия остаточных количеств фосфорных и калийных удобрений //

Научный журнал Национальной академии наук Беларуси «Почвоведение и агрохимия». 2014. № 1(52). С.136-148.

6. Небытов В.Г., Николаев А.В. Длительность последствий внесённых различными способами фосфорных удобрений и навоза на агрохимические свойства почвы и урожайность гречихи // Плодородие. 2014. № 1. С.15-17.

7. Сычёв, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычёв. М.: РАН, 2019. 327 с.

8. Сычёв В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2013. 296 с.

9. Хайдуков К.П., Шевцова Л.К., Коваленко А.А., Милютин А.А. Влияние длительного применения и последствий различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. 2014. № 1. С.30-33.

10. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1(106). С.11–14. doi: 10.25680/S19948603.2019.106.03.

AFTEREFFECT OF LONG-TERM USE OF INCREASING DOSES OF MINERAL FERTILIZERS ON ORDINARY CHERNOZEM IN THE GEOSET EXPERIENCE

N.N. Shapovalova

Annotation: Studies were conducted to study the effects of long-term use (from 1975 to 2005) of various types and doses of mineral fertilizers on the agrochemical properties of ordinary chernozem and crop yield. The work was carried out from 2006 to 2024. in the zone of unstable moisture in the Stavropol Territory. It was established that within 16 years of the aftereffect, the content of residual phosphorus of fertilizers in the 0-20 cm layer of the soil decreased by 7-36 mg/kg or an average of 0.4-2.3 mg/kg per year. The amount of humus decreased by 0.36-0.91%, the pH values of the aqueous suspension decreased by 0.29-0.76 units. The highest increase in crop yield under the influence of the aftereffects of all studied species and doses of fertilizers was obtained in the first nine years. The average increase in crops is from 0.55 to 1.29 thousand units/ha. The largest and longest effect was observed in variants of long-term application of full mineral fertilizer (N120P30-150K120) and nitrogen alone at a dose of 150 kg/ha - 15 years

out of 17 years. The experiment revealed a tendency for the average annual yield of crops to decrease during the aftereffect of fertilizers due to an increase in the imbalance of nutrients and a decrease in the resistance of the soil system to the effects of unfavorable factors.

Keywords: aftereffect of fertilizers; agrochemical properties; mobile phosphorus; mobile potassium; crop yields; organic matter; medium reaction

УДК 631.82:633.14

**БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ И
СООТНОШЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Д.Г. Шишков¹, В.Р. Олехов², Д.Р. Сафиуллина¹

¹«Пермский НИИСХ» – филиал ПФИЦ УрО РАН,

²Пермский ГАТУ,

E-mail: danil.schischkov@yandex.ru, olekhovr@pgatu.ru,

safiullinad551@gmail.com

Аннотация. В длительном стационарном опыте, заложенном по сокращённой схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 x 6 x 6) было изучено влияние минеральных удобрений на содержание сырого белка, крахмала, золы и критических аминокислот в зерне озимой ржи. Содержание сырого белка изменялось в диапазоне от 10,6 до 12,4 % (на а.с.в.), достоверно возрастая под действием азотных удобрений и снижаясь под действием фосфорных. Содержание золы варьировало от 0,92 до 1,12 % и возрастало под действием фосфорных и калийных удобрений. Сумма критических аминокислот находилась в диапазоне 7,83-8,95 г/кг. Достоверное увеличение показателя происходило под действием азотных удобрений, снижение под действием фосфорных и калийных. Содержание крахмала изменялось в диапазоне 51,1-58,0 %. Достоверного влияния минеральных удобрений на показатель установлено не было.

Ключевые слова: факториальный опыт; минеральные удобрения; озимая рожь; биохимический состав зерна.

Введение. Озимая рожь является одной из важнейших стратегических сельскохозяйственных культур России и Европы (Сысуев В.А., 2014). В её зерне может содержаться 9-17 % белка, 52-63 % крахмала, оно более сбалансировано по аминокислотному составу. В связи с этим зерно озимой

ржи возможно использовать для переработки по большому числу направлений – выпечка хлеба, производство крахмала, спирта, биотоплива, кормов и т.д. (Андреев Н.Р., 2014; Сысуев В.А., 2014; Нуждина Н.Н., 2016).

Многие авторы отмечают, что биохимический состав зерна озимой ржи зависит как от сортовых особенностей, так и от условий выращивания, среди которых важное место занимает система применения удобрений под озимую рожь (Белоус И.Н., 2014; Кондратенко Е.П., 2015; Кирин К.П., 2022).

В связи с этим целью наших исследований было изучить биохимический состав зерна озимой ржи в длительном стационарном опыте с применением различных доз и соотношений минеральных удобрений.

Методика и условия проведения исследований. Исследования проводили в 2021 г. в длительном стационарном опыте «Изучение влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность полевых культур», заложенном в 1980 г. на базе «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН. Опыт заложен по сокращённой схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 x 6 x 6). Схема опыта предусматривает изучение 6 градаций доз азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений – от 0 до 5 в условных обозначениях количества единичных доз (30 кг/га д.в.).

Повторность вариантов в опыте двукратная, расположение делянок блоками, общая площадь делянки составляет 120 м², учётная площадь – 72 м². Исследования в опыте проводятся в полевом парозернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, картофель, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., ячмень, овёс.

Исследования проведены в шестой ротации севооборота на озимой ржи сорта Фалёнская 4 в 2021 гг. Под озимую рожь половинную дозу азотных удобрений вносили в основное внесение под предпосевную культивацию, вторую половину в подкормку. Фосфор и калий в полных дозах вносили под предпосевную культивацию. Норма высева составила 6 млн. всхожих семян на гектар, агротехника в опыте – общепринятая для Центральной зоны Предуралья.

Основной метод математической обработки в факториальном опыте – корреляционно-регрессионный анализ, основанный на теории метода наименьших квадратов (Проведение многофакторных..., 1976). В.Н. Перегудов (1976) предлагает для использования два типа уравнений 0,5-1 и

1-2 степеней, которые в общем виде выглядят так, как представлено в формулах 1-2.

$$y = a + b_1 \times N^{0,5} + b_2 \times N + b_3 \times P^{0,5} + b_4 \times P + b_5 \times K^{0,5} + b_6 \times K + b_7 \times NP^{0,5} + b_8 \times NK^{0,5} + b_9 \times PK^{0,5} (R^2) \quad (1)$$

$$y = a + b_1 \times N + b_2 \times N^2 + b_3 \times P + b_4 \times P^2 + b_5 \times K + b_6 \times K^2 + b_7 \times NP + b_8 \times NK + b_9 \times PK (R^2) \quad (2)$$

где:

y – зависимая переменная (показатель)

a – свободный член, характеризующий значение показателя на контрольном варианте

b_1 - b_9 – коэффициенты регрессии, характеризующие действия видов и сочетаний минеральных удобрений

N, P, K – дозы азота, фосфора, калия и их сочетаний в кодированном виде

R^2 – коэффициент детерминации

Сырой белок определяли по ГОСТ 10846-91, крахмал по ГОСТ 10845-98, золу и содержание критических аминокислот (лизин, метионин, триптофан) методом спектроскопии в ближней инфракрасной области на приборе SpectraStar ХТ.

Погодные условия в 2020-2021 гг. отличались сильно засушливыми условиями в первую и вторую декаду мая и в летний период в целом, большим количеством осадков ливневого характера в некоторые декады

Результаты. Содержание сырого белка по опыту (таблица 1) варьировало в диапазоне от 10,6 до 12,4 %. Минимальное его содержание было отмечено в варианте $P_{90}K_{90}$, максимальное в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$. Содержание крахмала в зерне по вариантам опыта находилось в диапазоне от 51,1 % на контроле до 58,0 % при применении P_{90} . В.А. Сысуев (2011) отмечает, что для производства крахмала наиболее пригодно зерно с содержанием крахмала не менее 58 %, белка не более 13 %. Данное соотношение было получено в рамках опыта в варианте с применением P_{90} .

Содержание золы в зерне изменялось в диапазоне от 0,92 % в варианте $N_{30}P_{30}K_{30}$ до 1,12 % в варианте $N_{60}P_{150}K_{60}$.

Таблица 1 – Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на биохимический состав зерна озимой ржи, 2021 г., % на а.с.в.

Вариант	Сырой белок	Крахмал	Зола
Без удобрений	11,8	51,1	0,96
K ₉₀	11,3	52,2	1,05
P ₉₀	11,1	58,0	1,09
P ₉₀ K ₉₀	10,6	52,0	1,06
N ₉₀	11,8	57,4	0,99
N ₉₀ K ₉₀	11,5	55,5	1,04
N ₉₀ P ₉₀	11,6	55,7	1,09
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	11,7	55,4	1,06
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,4	54,2	0,92
N ₃₀ P ₃₀ K ₁₂₀	11,6	54,5	1,05
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₃₀	11,4	57,1	1,04
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	12,0	55,7	1,08
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	11,9	51,9	0,97
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	11,8	52,9	1,08
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₃₀	12,0	55,7	1,09
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	12,4	52,6	1,07
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,7	53,1	0,95
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₅₀	11,5	52,4	1,05
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₆₀	11,3	54,0	1,12
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	11,9	56,1	1,08
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	12,0	55,7	0,96
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₁₅₀	12,0	56,6	1,10
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₆₀	11,8	55,0	1,07
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	12,0	52,5	1,07

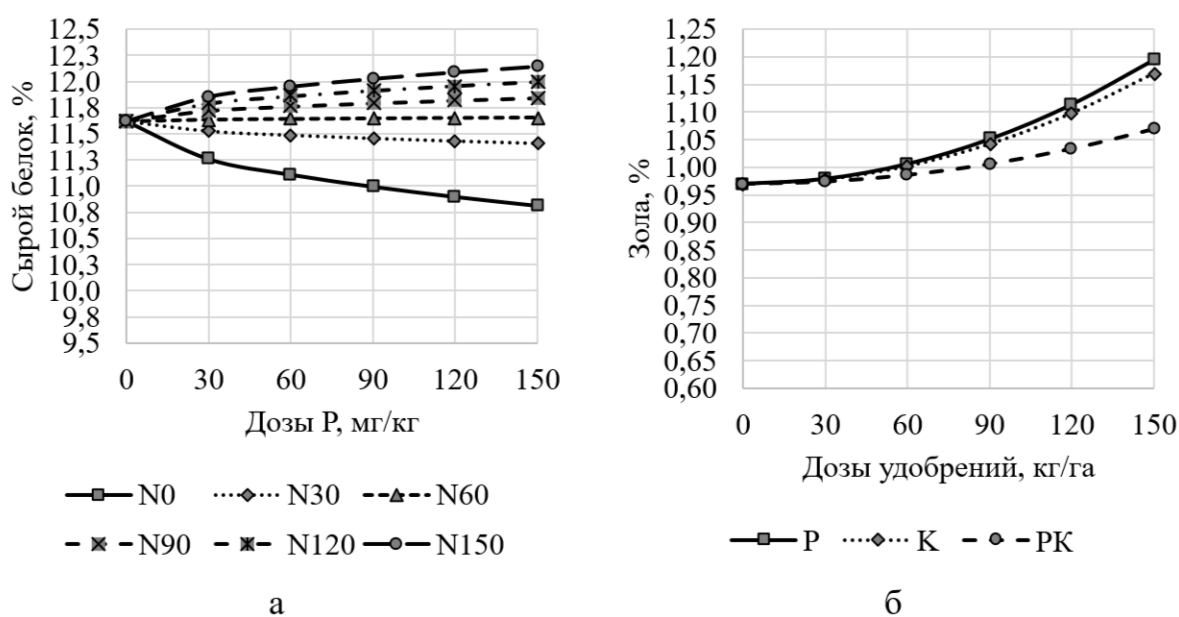
Математически доказуемое влияние минеральные удобрения оказывали на содержание в зерне озимой ржи сырого белка и золы (формулы 3, 4). Содержание крахмала хоть и имело тенденцию к увеличению при применении минеральных удобрений, статистически достоверного регрессионного уравнения по данному показателю получено не было.

$$\text{Сырой белок} = 11,62 - 0,360 \times P^{0,5} + 0,265 \times NP^{0,5} (R^2=0,61) \quad (3)$$

$$\text{Зола} = 0,97 + 0,009 \times P^2 + 0,008 \times K^2 - 0,013 \times PK \quad (4)$$

(r=0,71)

Содержание сырого белка снижалось под действием фосфорных удобрений. При внесении азотных удобрений величина показателя закономерно возрастала. Действием минеральных удобрений возможно объяснить 61 % изменения сырого белка по вариантам опыта. При подстановке в регрессионное уравнение фактических доз получен график, визуализирующий действие минеральных удобрений на показатель (рисунок, а). Интересно отметить, что низкие дозы азотных удобрений способны только нивелировать негативное действие фосфорных, в то время как увеличение содержания белка начинается только с дозы 120 кг/га N. В.Г. Сычев (2009) указывает, что негативное действие фосфорных удобрений на содержание белка может проявляться за счёт снижения отношения органического фосфора к неорганическому, вследствие чего происходит торможение процесса синтеза белка.



а – содержание сырого белка, б – содержание золы

Рисунок. Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на содержание белка и золы в зерне озимой ржи (расчётные данные)

Содержание золы увеличивалось при применении фосфорных и калийных удобрений как по отдельности, так и вместе (рисунок, б). Интересно отметить, что при совместном внесении фосфора и калия увеличение показателя происходило с меньшей интенсивностью, чем при

применении указанных удобрений по отдельности. Действием минеральных удобрений может быть объяснено 71 % изменения содержания золы в зерне по вариантам опыта.

Критические аминокислоты (лизин, метионин, триптофан) лимитируют использование других аминокислот для синтеза молекул белка. Содержание в зерне лизина (таблица 2) изменялось от 4,43 до 5,10 г/кг,

Таблица 2 – Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на содержание критических аминокислот в зерне озимой ржи, 2021 г.

Вариант	Лизин		Метионин		Триптофан		Сумма критических аминокислот	
	г/кг а.с.в	г/кг белка	г/кг а.с.в	г/кг белка	г/кг а.с.в	г/кг белка	г/кг а.с.в	г/кг белка
Без удобрений	4,96	42,1	2,31	19,6	1,49	12,6	8,76	74,3
K ₉₀	4,73	41,8	2,21	19,5	1,39	12,3	8,33	73,7
P ₉₀	4,55	41,0	2,13	19,2	1,32	11,9	8,00	72,2
P ₉₀ K ₉₀	4,43	41,8	2,05	19,3	1,35	12,7	7,83	73,8
N ₉₀	4,88	41,3	2,25	19,1	1,42	12,0	8,55	72,4
N ₉₀ K ₉₀	4,70	40,7	2,22	19,2	1,41	12,2	8,33	72,2
N ₉₀ P ₉₀	4,82	41,4	2,21	19,0	1,40	12,0	8,43	72,4
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,87	41,5	2,30	19,6	1,49	12,7	8,66	73,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,86	42,5	2,25	19,7	1,45	12,7	8,56	74,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₁₂₀	4,79	41,4	2,22	19,2	1,42	12,3	8,43	72,8
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₃₀	4,77	41,8	2,18	19,1	1,42	12,4	8,37	73,3
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,94	41,2	2,30	19,2	1,46	12,2	8,70	72,6
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	4,94	41,6	2,28	19,2	1,49	12,6	8,71	73,4
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	4,88	41,4	2,27	19,3	1,43	12,1	8,58	72,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₃₀	4,85	40,5	2,24	18,7	1,43	11,9	8,52	71,1
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,10	41,0	2,35	18,9	1,50	12,1	8,95	71,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,91	41,9	2,25	19,2	1,43	12,2	8,59	73,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₅₀	4,88	42,3	2,26	19,6	1,45	12,6	8,59	74,4
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₆₀	4,66	41,1	2,16	19,1	1,38	12,2	8,20	72,4
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	4,82	40,7	2,24	18,9	1,46	12,3	8,52	71,9
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	4,95	41,3	2,30	19,2	1,47	12,3	8,72	72,8
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₁₅₀	4,99	41,7	2,32	19,4	1,46	12,2	8,77	73,3
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₆₀	4,93	41,8	2,25	19,1	1,44	12,2	8,62	73,1
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	4,98	41,5	2,29	19,1	1,45	12,1	8,72	72,7

метионина от 2,05 до 2,35 г/кг, триптофана от 1,32 до 1,50 г/кг, сумма критических аминокислот (СКА) изменялась с 7,83 до 8,95 г/кг. Максимальное содержание по всем критическим аминокислотам и их сумме наблюдалось в варианте N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, минимальное по лизину, метионину и СКА – в варианте P₉₀K₉₀, по триптофану – в варианте P₉₀.

Результаты регрессионного анализа по влиянию исследуемых видов минеральных удобрений на содержание критических аминокислот и их суммы представлены в формулах 5-8. Закономерно, что вид регрессионных уравнений схож с уравнением, описывающим изменение содержания сырого белка под действием минеральных удобрений. Тем не менее, стоит отметить, что в данные уравнения были включены калийные удобрения, которые также, как и фосфорные вызывают снижение показателей. Не смотря на высокую связь содержания критических аминокислот с содержанием белка, для содержания лизина, триптофана и СКА были получены коэффициенты детерминации выше, чем для содержания белка.

$$\text{Лизин} = 4,90 - 0,122 \times P - 0,130 \times K^{0,5} + 0,102 \times NP^{0,5} + 0,100 \times PK^{0,5} (R^2=0,76) \quad (5)$$

$$\text{Метионин} = 2,23 - 0,035 \times P + 0,046 \times NP^{0,5} (R^2=0,57) \quad (6)$$

$$\text{Триптофан} = 1,45 - 0,040 \times P - 0,019 \times K + 0,022 \times NP^{0,5} + 0,042 \times PK^{0,5} (R^2=0,69) \quad (7)$$

$$\text{СКА} = 8,63 - 0,216 \times P - 0,214 \times K^{0,5} + 0,167 \times NP^{0,5} + 0,179 \times PK^{0,5} (R^2=0,76) \quad (8)$$

В агрономической практике важным параметром является не только получение высокого качества зерна, но и получение общего выхода зерна с единицы площади, обладающего требуемыми показателями. Наибольший сбор по всем трём показателям отмечается в варианте N₉₀, где увеличение сбора относительно контроля составило 71 % для сырого белка, 68 % для суммы критических аминокислот и 94 % для крахмала (таблица 3). Связано это было с тем, что в данном варианте, как показано в наших предыдущих публикациях (Шишков Д.Г., 2023), была получена наибольшая урожайность озимой ржи в 2021 году: 3,01 т/га против 1,75 т/га на контроле.

Таблица 3 – Сбор сырого белка, суммы критических аминокислот и крахмала с урожаем озимой ржи, 2021 г.

Вариант	Сырой белок	СКА	Крахмал
	кг/га		т/га
Без удобрений	207	15,3	0,89
K ₉₀	209	15,4	0,97
P ₉₀	188	13,5	0,98
P ₉₀ K ₉₀	186	13,7	0,91
N ₉₀	355	25,7	1,73
N ₉₀ K ₉₀	314	22,7	1,52
N ₉₀ P ₉₀	253	18,4	1,21
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	269	19,9	1,27
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	234	17,5	1,11
N ₃₀ P ₃₀ K ₁₂₀	239	17,4	1,12
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₃₀	233	17,1	1,16
N ₃₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	251	18,2	1,16
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	262	19,2	1,14
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₁₂₀	238	17,3	1,07
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₃₀	349	24,8	1,62
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	330	23,8	1,40
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	280	20,5	1,27
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₅₀	254	19,0	1,16
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₆₀	245	17,8	1,17
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	262	18,7	1,23
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	245	17,8	1,14
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₁₅₀	266	19,5	1,26
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₆₀	267	19,5	1,24
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	278	20,2	1,22

Выводы. В условиях длительного применения минеральных удобрений отмечено существенное изменение биохимического состава зерна озимой ржи сорта Фалёнская 4. Содержание сырого белка и критических кислот возросло под действием азотных удобрений и снижалось под действием фосфорных. На изменение содержание критических аминокислот также оказывали негативное влияние калийные. Негативное действие

фосфорных и калийных удобрений нивелировалось только при дозе азотных от 120 кг/га д.в. Содержание золы возрастало под действием фосфорных и калийных удобрений. Содержание крахмала имело тенденцию к повышению, однако математически достоверного влияния каких-либо конкретных доз и соотношений не было выявлено. Действием минеральных удобрений можно объяснить 61 % изменения содержания сырого белка, 71 % изменения содержания золы и 76 % изменения содержания суммы критических аминокислот в зерне озимой ржи по вариантам опыта.

Список литературы

1. Андреев Н.Р., Лукин Н.Д., Папахин А.А. Глубокая переработка зерна озимой ржи // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 6(43). С. 9-12.
2. Белоус И.Н., Харкевич Л.П., Адамко В.Н. Влияние систем удобрения на урожай и качество зерна озимой ржи // Агрохимический вестник. 2014. № 1. С. 38-40.
3. Кирин К.П., Сергеева Л.Б., Потапова Г.Н. Изучение урожайности и химического состава зерна озимой ржи в условиях среднего Урала // Молодежь и наука. 2022. № 9.
4. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории лесостепи Юго-Востока Западной Сибири / Е. П. Кондратенко [и др.] // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 143-150.
5. Результаты изучения качества зерна сортов озимой ржи / Н. Н. Нуждина [и др.] // Аграрный вестник Юго-Востока. 2016. № 1-2(14-15). С. 35-37.
6. Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов: методические указания / под ред. В.Н. Перегудова. М.: ВИУА, 1976. 112 с.
7. Формирование партий зерна озимой ржи с повышенным содержанием крахмала / В. А. Сысуев [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 3. С. 78.
8. Сысуев В.А. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Приоритетные направления исследований в решении проблемы multifunctional использования озимой ржи // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 6(43). С. 4-8.
9. Сычев В.Г., Кирпичников Н.А. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. С. 18-94.

10. Шишков Д.Г., Олехов В.Р., Васбиева М.Т. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 3. С. 399-408.

BIOCHEMICAL COMPOSITION OF WINTER RYE GRAIN WITH PROLONGED USE OF VARIOUS DOSES AND RATIOS OF MINERAL FERTILIZERS

D.G. Shishkov, V.R. Olekhov, D.R. Safiullina

Annotation: In a long-term stationary experiment based on an abbreviated 1/9 scheme of a complete factorial experiment (6x6x6), the effect of mineral fertilizers on the content of crude protein, starch, ash and critical amino acids in winter rye grain was studied. The crude protein content varied in the range from 10.6 to 12.4% (for absolutely dry matter), significantly increasing under the action of nitrogen fertilizers and decreasing under the action of phosphorous. The ash content ranged from 0.92 to 1.12% and increased under the influence of phosphorus and potash fertilizers. The amount of critical amino acids was in the range of 7.83-8.95 g/kg. A significant increase in the indicator occurred under the action of nitrogen fertilizers, a decrease under the action of phosphorus and potassium fertilizers. The starch content varied in the range of 51.1-58.0%. There was no reliable effect of mineral fertilizers on the indicator.

Keywords: factorial experience; mineral fertilizers; winter rye; biochemical composition of grain

«ГК СОЮЗАГРОХИМ»

современная технология защиты растений!

Познакомьтесь с продукцией СОЮЗАГРОХИМ, разработанной на основе мирового опыта и собственных исследований.



азот (NH_2), 95 г/л + магний (MgO), 12,5 г/л + бор (В), 2,5 г/л + медь (Cu), 12,5 г/л + цинк (Zn), 5 г/л + железо (Fe), 15 г/л + марганец (Mn), 20 г/л + молибден (Mo), 0,25 г/л + дигидрокверцетин, 0,5 г/л

Преимущества:

- Быстро и эффективно снабжает растения микроэлементами и предотвращает их дефицит
- Активизирует образование хлорофилла, повышая интенсивность процесса фотосинтеза, увеличивая объем зеленой массы растения.
- Нормализует обмен веществ и купирует междужилковый хлороз, позволяя набрать растениям максимальную массу урожая.
- Позволяет купировать недостаток микроэлементов на стадии формирования плода, увеличивая урожайность.
- Уменьшает отток микроэлементов из листьев в другие части растения, чем улучшает качество сельскохозяйственной продукции и позволяет набрать нужную массу урожая.

ООО «Союзагрохим»:
117452 Россия Москва, Симферопольский бульвар, д. 29, к. 8
info@s-ah.ru
+7 495 287-85-36

It's time to be the first

АГРУСХИМ
АЛАБУГА

«ГК СОЮЗАГРОХИМ»

современная технология защиты растений!

Познакомьтесь с продукцией СОЮЗАГРОХИМ, разработанной на основе мирового опыта и собственных исследований.



азот (NH_2), 110 г/л + магний (MgO), 12,5 г/л + бор (В), 2,5 г/л + медь (Cu), 5 г/л + цинк (Zn), 10 г/л + железо (Fe), 10 г/л + марганец (Mn), 10 г/л + молибден (Mo), 3 г/л + кобальт (Co), 1 г/л + дигидрокверцетин, 0,5 г/л

Преимущества:

- Быстро и эффективно снабжает растения микроэлементами и предотвращает их дефицит.
- Регулирует активность ферментов, участвующих в азотистом обмене, окислительно-восстановительных процессах (нитрогеназа - фиксация N_2 , нитратредуктаза- редукция NO_3 , ксантиндегидрогеназа), снижает риск накопления нитратов.
- Повышает фиксацию атмосферного азота, способствует образованию клубеньковых бактерий у бобовых, за счет чего повышается урожайность и качество продукции.
- Предотвращает абортированность растений, на фоне сильных стрессов.
- Ускоряет формирование, рост и развитие листьев, формирование и развитие мощной корневой системы.

ООО «Союзagroхим»:
117452 Россия Москва, Симферопольский бульвар, д. 29, к. 8
info@s-ah.ru
+7 495 287-85-36

Sojuzagrochim
EXTRA QUALITY
It's time to be the first

АГРУСХИМ
АЛАБУГА

«ГК СОЮЗАГРОХИМ»

современная технология защиты растений!

Познакомьтесь с продукцией СОЮЗАГРОХИМ, разработанной на основе мирового опыта и собственных исследований.

агро
СТИМУЛ

молибден (Mo), 150 г/л + азот (N), 12 г/л + фосфор (P2O5), 250 г/л + дигидрокверцетин, 0,5 г/л

Преимущества:

- Быстро и эффективно снабжает растения молибденом и предотвращает его дефицит в растениях;
- Улучшает углеводный обмен, синтез хлорофилла и метаболизм витаминов;
- Увеличивает содержание белка, углеводов, повышает зимостойкость и стрессоустойчивость растений;
- Регулирует активность ферментов, участвующих в азотистом обмене, окислительно-восстановительных процессах (нитрогеназа — фиксация N₂; нитратредуктаза — редукция;
- NO₃, ксантиндегидрогеназа), снижает риск накопления нитратов;
- Повышает фиксацию атмосферного азота, способствует образованию клубеньковых бактерий у бобовых, за счет чего повышается урожайность и качество продукции;
- Увеличивает коэффициент использования минеральных удобрений;
- Прекрасно совместим с протравителями семян и инокулянтами, отличное покрытие и адгезия элементов питания на поверхности семян.



ООО «Союзагрохим»:
117452 Россия Москва, Симферопольский бульвар, д. 29, к. 8
info@s-ah.ru
+7 495 287-85-36



It's time to be the first



АГРУСХИМ
АЛАБУГА