

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

На правах рукописи

Дёмина Оксана Николаевна

**Влияние минеральных удобрений на биологическую активность
чернозёма выщелоченного лесостепной зоны Зауралья**

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук
06.01.04 – Агрохимия

Научный руководитель
доктор биологических наук
Ерёмин Дмитрий Иванович

Тюмень – 2021

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОБИОТУ И ЭЛЕМЕНТЫ АЗОТНОГО РЕЖИМА ПАШНИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	9
1.1 Особенности формирования микробоценозов почв	9
1.2 Влияние удобрений на микробиоту чернозема выщелоченного	16
1.3 Биологическая активность почв под действием удобрений	22
1.4 Влияние удобрений на ферментативную активность почв	28
1.5 Нитратный режим почв при внесении возрастающих доз минеральных удобрений	31
1.6 Влияние минеральных удобрений на нитрификацию пахотных почв	34
1.7 Влияние минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота в почве	36
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	40
2.1 Агроклиматические условия места проведения исследований	40
2.2 Погодные условия в период проведения исследований	42
2.3 Характеристика почвы опытного участка	50
2.4 Объекты и методика исследований	54
ГЛАВА 3 ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО	58
3.1 Температура почвы	58
3.2 Влажность почвы	61
ГЛАВА 4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	64
4.1 Изменение численности микробиоты чернозема выщелоченного под действием минеральных удобрений	64

4.2 Скорость целлюлозоразложения в черноземе выщелоченном при внесении возрастающих доз минеральных удобрений	77
4.3 Ферментативная активность чернозема выщелоченного	81
ГЛАВА 5 АЗОТНЫЙ РЕЖИМ И ТЕКУЩАЯ НИТРИФИКАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	88
5.1 Динамика нитратного азота под зерновыми культурами	88
5.2 Влияние минеральных удобрений на текущую нитрификацию чернозема выщелоченного	94
5.3 Содержание легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном при внесении минеральных удобрений	96
5.4 Влияние минеральных удобрений на нитрификационную способность чернозема выщелоченного	100
5.5 Хозяйственный вынос азота яровой пшеницей	104
ГЛАВА 6 ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	107
Глава 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	125
ПРИЛОЖЕНИЯ	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. XX век стал важнейшим периодом развития сельского хозяйства для всего мира. Применение минеральных удобрений к началу XXI века достигло 150 млн. т в пересчете на действующее вещество. Это привело к тому, что уже в 30-х годах в Западной Европе урожайность зерновых культур достигла 3,0 т/га. Основоположник агрохимии в России академик Д.Н. Прянишников отмечал, что Европе потребовалось 100 лет для того, чтобы с помощью плодосменной системы земледелия увеличить урожайность с 7 до 16 ц/га и только 25 лет для увеличения урожайности с 16 до 30 ц/га, благодаря применению минеральных удобрений (Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П., 2002). В настоящее время не менее 50% прибавки урожая формируется за счет минеральных удобрений и на 1 кг питательных веществ приходится 10 и более кг зерна.

В XX веке также было установлено влияние минеральных удобрений на микробиоту почвы. Результаты исследований были неоднозначны. В разных почвенно-климатических условиях минеральные удобрения влияли на бактериальную и грибную биоту неодинаково. Было установлено положительное влияние низких доз удобрений, которые были рассчитаны на урожайность зерновых до 3,0 т/га, однако современные рыночные тенденции требуют ответа, как влияют высокие дозы удобрений, которые нужно вносить для получения 6,0-10,0 т/га зерна.

Поскольку в современной России химическая нагрузка многократно возросла, то возникла необходимость изучения влияния минеральных удобрений на биологическую активность почв. Необходимо отметить еще один аспект живой фазы почвы – гумусообразование и питательные режимы, нарушая которые можно разрушить экосистему планеты. Это делает работы по изучению влияния минеральных удобрений на микробиоту почвы наиболее актуальными и востребованными как учеными, так и практиками.

Для разработки системы расширенного воспроизводства почвенного плодородия необходимо знать, как проявляет себя микробиота при внесении возрастающих доз минеральных удобрений. Поэтому научное обоснование применения минеральных удобрений не нарушающее биологическое равновесие в пахотных черноземах в условиях лесостепной зоны Зауралья является актуальным и значимым.

Цель исследований – изучение влияния минеральных удобрений на биологическую активность чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья.

Задачи исследований:

1. Изучить влияние уровня минерального питания на микробиоту чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья.
2. Выявить влияние минеральных удобрений на ферментативную активность почвенных микроорганизмов.
3. Исследовать азотный режим и текущую нитрификацию чернозема выщелоченного под действием минеральных удобрений.
4. Определить нитрификационную способность чернозема выщелоченного при внесении возрастающих доз минеральных удобрений.
5. Рассчитать вклад микробной биомассы в формирование урожая зерновых культур лесостепной зоны Зауралья и определить экономическую эффективность использования минеральных удобрений.

Научная новизна. Впервые изучено влияние возрастающих доз минеральных удобрений на численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов, участвующих в круговороте углерода и азота. Установлено, что целлюлозоразрушающая микробиота наиболее чувствительна к внесению высоких доз минеральных удобрений (более $N_{150}P_{200}$) по сравнению с нитрифицирующей. Определено влияние минеральных удобрений на ферментативную активность и нитрификационную способность чернозема выщелоченного. Изучен азотный режим и текущая нитрификация чернозема выщелоченного при

внесении возрастающих доз минеральных удобрений. Рассчитан вклад микробиоты в формировании урожайности яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья.

Теоретическая значимость работы. Основные положения диссертационной работы расширяют представление о роли минеральных удобрений на биологические свойства чернозема выщелоченного и будут способствовать дальнейшему развитию теории питания растений.

Практическая значимость работы. Экспериментальные данные по изучению биологической активности служат основой для разработки технологий возделывания зерновых культур в условиях лесостепной зоны Зауралья, обеспечивающих повышение урожайности зерновых культур и стабилизацию гумусового состояния пашни. Материалы диссертации используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Агропочвоведение», «Агрохимия», «Система удобрений», «Экология почв» при подготовке бакалавров и магистров в государственном аграрном университете Северного Зауралья. Результаты полученных исследований успешно прошли производственную проверку в 2020-2021 гг., внедрены на площади 1300 гектар в хозяйствах Тюменской области.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Внесение удобрений в дозе $N_{40}P_{75}$ кг/га не влияет на биологическую активность чернозема выщелоченного, дозы $N_{150}P_{200}$, $N_{185}P_{160}$ повышают ее на 63-75% в течение всего вегетационного периода.

2. Доза удобрений $N_{185}P_{160}$ кг/га угнетает группы аммонифицирующих и иммобилизирующих азот микроорганизмов; оказывает стимулирующее действие на рост численности целлюлозоразрушающей микробиоты.

3. Систематическое внесение минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{200}$ кг/га и выше приводит к уменьшению численности нитрификаторов и отрицательно сказывается на нитрификационной способности чернозема выщелоченного.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья в 2016-2021 гг., а так же на международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения» (Тюмень, 2016-2020); «Новый взгляд на развитие аграрной науки» (Тюмень, 2018; 2021); «Аграрная наука и образование Тюменской области» (Тюмень, 2019); «Университетская наука: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Пенза, 2020); «Новые векторы развития науки и техники в Тюменской области» (Тюмень, 2020); «Биологические приемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Курск, 2021); Всероссийский конкурс на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Курган, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 статей, в том числе 10 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад. В основу работы положены собственные исследования, автор принимал непосредственное участие в составлении методики опыта; самостоятельно проводил полевые опыты и наблюдения, лабораторные исследования; обобщил и проанализировал экспериментальные данные, подготовил публикации в журналах и материалах конференций и написал текст диссертации.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 151 странице компьютерного набора, состоит из введения, 7 глав, основных выводов, предложения производству, содержит 20 таблиц и 12 рисунков. Список литературы включает 231 источник, в том числе 10 иностранных.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность научному руководителю – доктору биологических наук, профессору Дмитрию Ивановичу Ерёмину и коллективу кафедры Почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья за помощь в проведении исследований

и обсуждении их результатов. Отдельная благодарность: кандидату сельскохозяйственных наук Дальфрус Равильевне Майсямовой за консультации и помощь в проведении лабораторных исследований; доктору биологических наук, профессору кафедры общей химии им. И.Д.Комиссарова Ираиде Владимировне Греховой за консультации и тщательную экспертизу диссертационной работы. Родным и близким за моральную поддержку и понимание.

ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОБИОТУ И ЭЛЕМЕНТЫ АЗОТНОГО РЕЖИМА ПАШНИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Агрохимия всегда была важным компонентом сельскохозяйственного производства, направленным на применение удобрений, получение стабильных, высоких урожаев. Ее значимость подтверждена еще несколько веков назад в трудах Ю.Ф. Либиха, М.В. Ломоносова, А.Т. Болотова, К.А. Тимирязева, Д.Н. Прянишникова. Агрохимия – одно из эффективных средств развития и совершенствования растениеводства. Благодаря агрохимии, ее научно-обоснованной системе удобрений даже в Сибири стало возможным получение планируемой урожайности сельскохозяйственных культур. Систематическое применение минеральных и органических удобрений в условиях Западной Сибири оказывает положительное влияние на процессы гумусообразования, стабилизирует азотный режим почв, улучшает их фосфатный и калийный режимы.

В погоне за высокой урожайностью и рентабельностью производства люди стали использовать достижения агрохимии только для получения своей экономической выгоды, забыв о влиянии удобрений на главное средство производства – почву. Забывая и то, что агрохимические средства существенно изменяют не только химические и физические свойства почвы, но и влияют на активность и направленность микробиологических процессов. Поэтому в современных условиях возрастающей техногенной и агрогенной нагрузки на почву агрохимию следует рассматривать не только как приоритетную прикладную, но и как важнейшую фундаментальную эколого-биологическую науку.

1.1 Особенности формирования микробоценозов почв

Почва это многофазная, сложнейшая система, неотъемлемой частью, которой являются живые организмы, начиная от таких животных как

суслики, кроты, землерои до микроорганизмов, к которым относятся грибы, водоросли, бактерии и вирусы. От состава почвенной биоты, ее жизнедеятельности и активности зависит характер и интенсивность круговорота веществ в природе, масштабность и интенсивность фиксации атмосферного азота, способность почвы к самоочищению (Edwards С.А. и др., 1970). Исследования почвенной микробиологии начались еще несколько веков назад К. Либихом, Л. Пастером, которые определили наличие микроорганизмов в почве и предположили их влияние на свойства почвы. С дальнейшим развитием микробиологии и органической химии ученые постоянно изучали роль микробов в трансформации органического вещества с момента поступления в почву растительных остатков до синтеза гумусовых веществ. Попытки объяснить процессы гумификации делались В.В. Докучаевым, П.А. Костычевым, В.И. Вернадским и другими учёными. Научное обоснование и подробное объяснение этому процессу было дано существенно позже. Наиболее известны работы таких ученых как И.В. Тюрин, М.М. Кононова, Л.Н. Александрова. Работы этих ученых не утратили своей актуальности и в XXI веке. Большой вклад в изучении зонального распространения почвенной микробиоты внесли М.В. Федоров (1933); Н.Н. Худяков (1934); Н.Е. Мишустин и В.Т. Емцев (1987); Е.З. Теппер и др. (1993). Именно они начали говорить о влиянии внешних природных и антропогенных факторов на экологическую изменчивость почвенной микробиоты. Под их руководством был изучен микробиологический цикл почв, установлено влияние температуры и влажности почвы, физических свойств, реакции среды (pH), способа обработки. Оценка численности почвенных микроорганизмов имеет первостепенное значение для понимания происходящих в почве микробиологических процессов (Добровольская Т.Г. и др., 2015).

Микробиота почвы представлена разнообразными видами бактерий, грибов, актиномицетами, простейшими и сине-зелеными водорослями. Наиболее распространены в почве грибы, актиномицеты и бактерии

(Звягинцев Д.Г., 1987). Численность микроорганизмов варьирует в очень широких пределах и зависит от типа почвы. В тундровых и подзолистых почвах в грамме почвы находится нескольких миллионов бактерий, а в чернозёмных почвах их численность достигает уже несколько миллиардов штук (Иванова Т.И., 2006; Масютенко Н.П., 2012).

Ведущий микробиолог нашей страны Е.Н. Мишустин (1974) определил, что в г почвы находится до 1 млн. грибной микробиоты. М.А. Куликова (2008) в своих исследованиях отмечала в г почвы численность микроскопических грибов варьирует от 18 до 60 тыс. Д.Р. Майсямова (2014) также отмечала варьирование численности грибов в структуре микробного сообщества чернозёма обыкновенного от 10 до 52 тыс. на г почвы. И.П. Бабьева и Г.М. Зенова (1983) установили, что максимальная микробная масса встречается в дерново-подзолистых почвах и составляет более 400 г/м²; в черноземных почвах её масса почти в два раза меньше – 250 г/м², что объясняется меньшей численностью грибной микробиоты, масса которых значительно больше массы бактерии. В тундрово-глеевой и краснозёмной почве биомасса грибов и бактерий составляет 100 и 130 г/м² соответственно, наименьшая концентрация микробной биомассы наблюдается в пустынной почве, её общее количество составляет менее 50 г/м².

Бактерии – это группа микроорганизмов, активно участвующая в трансформации органического вещества почвы и питания растений (Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г., 2005). Почвенные грибы, так же, как и бактерии тесно связаны с плодородием почвы. Они относятся к гетеротрофным сапрофитным микроорганизмам, обитающим в почве, и способствуют разложению, поступающих в нее субстратов, как животного, так и растительного происхождения (Фомина Н.В., 2008). В процессе жизнедеятельности почвенных грибов синтезируются органические кислоты, главными из которых являются креновая и апокреновая, входящие в состав гумуса, а также различные низкомолекулярные органические

кислоты – лимонная, щавелевая, уксусная (Фрунзе Н.И., 2005; Ерёмин Д.И., 2014).

Актиномицеты или лучистые грибы занимают промежуточное положение между бактериями и грибами. Как бактерии, они прокариоты (не имеют дифференцированного ядра), на питательных средах образуют колонии, подобные бактериальным. Подобно грибам, они образуют мицелий, хотя гораздо тоньше, и способны размножаться спорами. Около 30% микробиоты почвы представлено актиномицетами. Они широко распространены в сухих почвах, так как достаточно устойчивы к недостатку влаги, особенно хорошо это прослеживается в летние месяцы (Перфильев Н.В. и др., 2015). Кроме того, В.С. Артамонова (2002) отмечает, что актиномицеты обладают богатым ферментативным аппаратом и принимают активное участие в процессах минерализации, в том числе труднорастворимых органических веществ. Распределение этих групп микроорганизмов в почве неравномерно и зависит от глубины почвенного профиля и гумусового горизонта. Верхний слой почвы до 2 см содержит очень незначительное количество микроорганизмов, так как находится под непосредственным влиянием солнечного света и подвержен иссушению.

Наибольшее количество микроорганизмов (нитрификаторы, аммонификаторы, целлюлозоразрушающая микробиота) располагается в почве на глубине 5-15 см, что подтверждается исследованиями Д.Р. Майсямовой и Н.В. Абрамова (2008); М.К. Зинченко (2016); Л.Ю. Скопиной (2017), уменьшаясь с глубиной, достигая минимальных значений в слое 30-40 см. А.Н. Власенко (2009) объясняет это анаэробизмом, что так же подтверждается исследованиями В.В. Гейдебрехт (1999), которая говорит о дефиците влаги и низком содержании кислорода, особенно глубже 20 см. В весенний период в Сибири также отмечается неблагоприятная температура, которая также ингибирует активность микробиоты подпахотных слоев. Это подтверждается в монографии В.Г. Сычева и Л. Мюллер (2018). Максимальная численность микроорганизмов в черноземе выщелоченном

отмечена в пахотном 0-20 см слое – 271×10^6 клеток в 1 г. В подпахотном 21-40 см слое их количество заметно снижается – $188,9 \times 10^6$ клеток в г почвы. Они связывают такую дифференциацию биогенности не только с анаэробными условиями, но с изменением содержания гумуса и меньшим поступлением растительных остатков в этот слой.

Как отмечалось выше, температура является важным фактором для развития микроорганизмов в почве. Отношение микроорганизмов к температуре окружающей среды представляет большой интерес, так как она оказывает прямое действие на скорость химических реакций и синтез органических соединений (Чернявская М.И. и др., 2016).

Общеизвестно, что микробиота почвы распространена повсеместно от зоны Арктики до Европейской части (Белюбченко И.С., 2018; Журавлева А.С. и др., 2019). Так как температура этих почв различается, то и состав микробиоты, а соответственно и содержание гумуса будет резко отличаться (Блынская Т.А., 2009; Еремин Д.И., 2010).

В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин (2018) по отношению к температурному режиму выделили следующие группы микроорганизмов: психрофильные, развивающиеся при температуре от 0 до $+15^{\circ}\text{C}$. А.С. Черобаева с коллегами (2011) при низких температурах отмечали снижение нитрифицирующей активности почвы. Наблюдения А.А. Кукишевой, Н.Н. Наплёковой (2009) свидетельствуют о снижении темпов накопления CO_2 в почвенном воздухе при температуре ниже 5°C , что в свою очередь приостанавливает распад органических соединений. J. Aim и др. (1999), W.H. Schlesinger и Andrews J.A. (2000), В.Н. Кудеяров и И.Н. Курганова (2005), отмечают развитие некоторых микроорганизмов при температуре ниже 0°C . Оптимум развития мезофильных микроорганизмов находится в пределах от 3 до $45-50^{\circ}\text{C}$. Большинство повсеместно распространенных грибов и бактерий относится к этой группе. Третья группа развивается при высоких температурах от 30 до 70°C . Их называют термофильными микроорганизмами. Г.Б. Слободкина (2018) в своей работе подробно описала распространение и деятельность

этой группы микроорганизмов. При этом следует отметить, что при высокой температуре усиливается «дыхание» почвы, существенно возрастают процессы денитрификации (Круглов Ю.В. и др. 2012). Высокая температура и влага значительно усиливают концентрацию аммония и процессы минерализации (Mahendrappa М.К. и др., 1986). Л.Г. Мордалева (2017) в своих исследованиях отмечала усиление процесса разложения целлюлозы на глубине 0-20 см до 22,3°С и выпадением осадков 91,0%. Позднее об этом говорила Л.Ю. Скопина (2019).

Огромное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов оказывает влажность почвы. Она является важным фактором, влияющим на способность микроорганизмов к росту и развитию (Dereu J.C. и др., 1995; Мелентьев А.И. и др., 2000; Налян А.Г., 2010, Дорошенко Д.А., 2005; Менькина Е.А., 2017).

Исследования Н.В. Алесиной и Т.А. Снисаренко (2010) говорят, что при влажности почвы 60% НВ создаются наиболее благоприятные условия для развития корневой микробиоты. Наблюдается как общее увеличение микробного количества, так и изменение состава микробиоты. Они же отмечают резкое падение общего количества всех групп микроорганизмов при влажности почвы 80%.

Как показывают исследования Д.А. Дорошенко (2005), при влажности соответствующей показателю влажности завядания грибная микробиота, в том числе актиномицеты, снижают свою активность, а ксерофитная микробиота, наоборот, усиливает свою работу. В южных почвах микробы адаптированы к более сухим условиям существования, чем в северных (Назарько М.Д., 2008; Лисецкий Ф.Р. и др., 2018; Пастухова Н.Д., 2019).

М.В. Гусев и Л.А. Минеева (2003) в своей книге так же отмечают очень сильное влияние влажности на рост и развитие бактерий. Избыток воды в почве резко снижает активность нитрификаторов, количество целлюлозоразлагающих бактерий снижается в семь и более раз. К почвенной засухе приспосабливаются лишь немногие – это споровые

бактерии, цисты азотобактера, грамположительные бактерии и цианобактерии. Д.Г. Звягинцев, Г.М. Зенова (2001) так же отмечают, что актиномицеты более устойчивы к засухе, чем бактерии.

По изучению влияния минеральных удобрений на влагообеспеченность встречается много работ, авторы которых утверждают, что минеральные удобрения оказывают мощное воздействие на её запасы (Рзаева В.В., Еремин Д.И., 2010; Каргин В.И., 2014; Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т., 2017; Окорков В.В. и др., 2019). Минеральные удобрения не оказывают прямого воздействия на влагообеспеченность, но стимулируя рост и развитие сельскохозяйственных растений, способны усилить их водопотребление. Но, несмотря на снижение запасов почвенной влаги на удобренных полях, эффективность водопотребления возрастает.

Одновременно с температурой и влажностью на развитие микроорганизмов большое влияние оказывает реакция среды. Л.М. Полянская и Д.Г. Звягинцев (2005) говорят о том, что большинство бактерий почвы не развиваются при значении реакции среды ниже pH 4,5-5 ед., но некоторые из них могут сохраняться в жизнеспособном состоянии даже при pH 0,9 ед. Минимальные значения кислотности среды для грибов составляют pH 2-3 ед. (Берсенева О.А. и др., 2008). Учеными установлено, что в кислых почвах относительно больше микроскопических грибов, чем в щелочных. В щелочных же условиях лучше размножаются бактерии и актиномицеты (Селянин В.В. и др., 2005).

Влияние минеральных удобрений на изменение реакции среды достоверно доказаны рядом ученых (Мязин Н.Г., Милютин С.Н., 1998; Гамзиков Г.П. и др., 2007; Зайцева Г.А., 2011; Коростылев С.А. и др., 2015; Аль Дхухаибави Х.Х., 2019). С учетом того, что некоторые удобрения способны либо подкислять, либо подщелачивать почвенный раствор, возникает необходимость использования научно-обоснованного подхода в системе питания растений (Чеботарев Н.Т., Тулинов А.Г., 2012; Хомченко А.А. и др., 2016). Следует помнить, что нейтрализация кислых и щелочных

почв приводит к активизации микробиологических процессов и благоприятно воздействует на рост и развитие сельскохозяйственных культур.

Гранулометрический состав почвы оказывает существенное влияние на водно-физические, механические, тепловые свойства и окислительно-восстановительные процессы и соответственно на активность почвенной микробиоты. Основная часть почвенных микроорганизмов (90-99%) развивается в твердой фазе почвы и лишь 1-10% из них развиваются в почвенном растворе. По гранулометрическому составу можно судить и о плодородии почвы, сохранение которого в настоящее время занимает центральное место в развитии сельского хозяйства (Еремин Д.И., 2014). Положительный эффект в поддержании плодородия почвы даёт применение органических и минеральных удобрений (Бобренко И.А. и др., 2016; Красницкий В.М., 2016). Н.Н. Дмитриев и Г.П. Гамзиков (2015) при длительном применении минеральных удобрений отмечают не только стабилизацию гумусового состояния, но и прибавку урожайности ячменя.

Несмотря на многочисленные исследования по изменению численности и биомассы почвенных микроорганизмов под действием минеральных удобрений, научные публикации содержат определенные противоречия, не позволяющие сделать однозначные выводы.

Таким образом, развитие микроорганизмов в почве определяется целым комплексом экологических факторов, которые необходимо учитывать при разработке системы удобрений с учетом климатических особенностей конкретного региона.

1.2 Влияние удобрений на микробиоту черноземов выщелоченных

Кроме природных факторов, оказывающих непосредственное влияние на активность почвенной микробиоты, существует и антропогенное воздействие, которое в минимальные сроки может кардинально изменить её деятельность в почве (Свистова И.Д., 2004). Ещё в 30-х годах прошлого века

Д.Н. Прянишников установил, что минеральные удобрения в большей или меньшей степени стабилизируют уровень гумуса в зависимости от количества оставляемых пожнивных и корневых остатков. Внесение в почву минеральных и органических удобрений усиливает интенсивность микробиологических процессов, в результате чего увеличивается трансформация органических и минеральных веществ.

Органические удобрения вносят не только для изменения питательного режима, но и для стабилизации гумусного состояния пахотных почв. При длительном применении навоза существенно улучшаются физико-химические и агрофизические свойства пахотного слоя. При его использовании почва обогащается микробиотой, усиливая ее биологическую активность и выделение углекислоты, тем самым создает оптимальные условия для минерального питания растений. Результаты исследований А.Х. Куликовой и Г.В. Сайдяшевой (2014) показали, что без применения удобрений баланс азота, фосфора и калия был резко отрицательным.

Л.В. Мосина и Г.Е. Мёрзлая (2013) в своих исследованиях при внесении навоза до 6,0-9,0 т/га отмечают создание благоприятного азотного режима для питания растений. И.В. Грехова с коллегами (2020) описывали благоприятное влияние торфо-соломистых компостов на содержание минерального азота. За годы исследований они отмечали увеличение содержания аммонийного и нитратного азота по фону компост и компост +5 т/га извести. А также показали положительное действие органических удобрений и многолетних трав на плодородие почвы. Роль последних в своих работах подробно описывал А.С. Моторин (2020).

Альтернативой навозу и компостам являются сидераты – растения, выращенные специально для запашки. Главным их достоинством является быстрая минерализация почвенной микробиотой, при этом высвобождаются легкодоступные питательные вещества и, как отмечают многие исследователи, стабилизируется гумусовое состояние. Е.Я. Рижия (2002)

доказала, что запашка злакового, крестоцветного и бобового сидератов увеличивает биологическую активность пашни на 9-30% по сравнению с чистым паром. Этому же мнению придерживается Р.Г. Османьян (2007). На фоне донникового пара установлено повышение биологической активности, улучшение питательного режима почвы и прибавка урожая твёрдой пшеницы. Введение сидерального горохового пара способствовало снижению групп микроорганизмов, усваивающих органические формы азота, до 21%, увеличению микроорганизмов, ассимилирующих минеральные формы азота – до 47%, а также уменьшению доли минерализаторов гумуса – до 25% (Турусов В.И. и др., 2018). С.В. Обушенко и В.Б. Троц (2018) в своих исследованиях доказали, что, при внесении минеральных удобрений в дозе ($N_{30}P_{60}K_{60}$) под сидеральные растения до запашки микробиологическая активность почвы повышалась в среднем на 14,4-40,3%.

Наиболее распространенным органическим удобрением в настоящее время является солома. Она занимает важное место в вопросах восстановления запасов гумуса и повышении плодородия почвы (Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н., 1971; Галсанова Б.Ж., 2015). Л.В. Юшкевич (2013) отмечает, что солома является энергетическим материалом для микроорганизмов и источником энергии для биологических процессов. При внесении соломы почва обогащается углеродом, который способствует усилению жизнедеятельности микроорганизмов и повышению биологической активности почвы. В благоприятных водно-температурных условиях внесение соломы и минеральных азотных удобрений в 5-6 раз увеличивает численность нитрифицирующих бактерий, в 2-3 раза общее количество микроорганизмов (Борейша В.И., Вильдфлуш Р.Р., 1980). К.Ч. Хисамова (2015) в своей работе говорит о благоприятном действии соломы на азотфиксацию, которая составляет 25 кг/га на удобренном варианте и превышает контроль в 5 раз. При минимальной обработке почвы без применения соломы прослеживается обратная корреляция между

содержанием гумуса и бактериями, живущими на мясопептонном агаре (МПА) и крахмало-аммиачном агаре (КАА) ($r = -0,69$; $-0,81$). Причиной этого является дефицит растительных остатков в пахотном слое, поскольку они аккумулируются на поверхности почвы. Поэтому при отсутствии заправки соломы в пахотном горизонте возникает конкуренция среди микробиоты и доминировать начинает та, которая в качестве источника питания использует минеральные формы азота. Использование соломы дает прямую корреляционную связь между бактериями на МПА и КАА ($r = 0,66$; $0,76$), целлюлозоразложением и дыханием почвы ($r = 0,79$; $0,68$). Авторы рекомендуют для ускорения минерализации органического вещества использовать солому в качестве органического удобрения совместно с азотными удобрениями (Майсямова Д.Р., Лазарев А.П., 2008; Ахтямова А.А., Савченко А.А., 2017).

Л.Г. Комарцева (2010) отмечает положительное последствие навоза, соломы на фоне минеральных удобрений на численность сапрофитных микроорганизмов, которая увеличилась в 2-2,5 раза. При последствии органических удобрений грибы составляли 1,8-5,2 тыс. клеток в г почвы.

Широкое применение минеральных удобрений – одно из необходимых условий интенсификации земледелия (Еремин Д.И., 2002; Шерстобитов С.В., 2015; Бобренко И.А., 2004). Эта объективная необходимость следует за ежегодным ростом численности населения и их потребности в продовольствии. Минеральные удобрения – основной поставщик азота, фосфора и калия в пахотных почвах. Соответственно с помощью удобрений можно не только увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, но и повысить продуктивность пашни в целом. Внесение минеральных удобрений резко интенсифицирует микробиологические процессы в почвах. Это до определенных пределов может рассматриваться как положительное явление, если ставится задача повышения урожая (Звягинцев Д.Г., 2005). Работами Н.Н. Наплековой (1974) и О.М. Селиверстовой (2009), установлено, что активность

почвенной биоты зависит от вида, формы, дозы минеральных удобрений и сочетания элементов питания в них. Ими было выявлено положительное влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на микробиоценоз почвы. При внесении минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{50}K_{90}$ увеличивалось биоразнообразие бактерий и доля микоризных грибов. Применение высоких доз удобрений ($N_{140}P_{50}K_{190}$) привело к снижению общей численности микроорганизмов и их биоразнообразия. Азотные и фосфорные удобрения больше всего влияют на микробиологическую активность почвы (Микитин С.В., 2017). Внесение азотных удобрений напрямую связано с доступностью биогенного азота для микроорганизмов (Хузиахметов Р.Х. и др., 2012). А.А. Дудук и коллеги (2016) при внесении азотных удобрений до 190 кг отмечают увеличение численности бактерий в почве на 17-39% и актиномицетов на 16-53% в зависимости от варианта обработки почвы. Одновременно с этим происходит снижение численности в ней плесневых грибов на 17-62%. Применение фосфорных удобрений увеличивает общую биологическую активность, активизирует деятельность азотминерализующих бактерий, а также увеличивает выделение CO_2 в почвенный воздух (Круглов Ю.В., 2016). Систематическое применение азотно-фосфорных удобрений способствует росту численности микроорганизмов в пахотном и подпахотном слоях почвы на 40% в сравнении с неудобренным контролем (Хамова О.Ф., 2001). При сравнении степени влияния различных видов минеральных удобрений на почвенную микробиоту большее внимание уделяется азотным удобрениям, чуть меньше фосфорным, калийные же туки из-за слабого влияния занимают одно из последних мест (Мишустин Е.Н., 1976; Алешин Е.П., 1990; Шеуджен А.Х., 2015; Сычев В.Г., 2019). Состав микробиоты под действием калийных удобрений существенно не меняется, хотя несколько возрастает численность бактерий, а также актиномицетов и микроскопических грибов (Дорофеева Е.А., 2003; Малюкова Л.С. и др., 2012).

Исследования Д.В. Абанина (2008) показали, что внесение умеренных доз минеральных удобрений повышает содержание в почве бактериальной микробиоты, а высокие дозы (120 и более кг д.в./га) ингибируют ее развитие. При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ численность бактерий возрастала в 2 раза; грибов – в 1,5 раза и актиномицетов в 3 раза по сравнению с не удобренным вариантом. При увеличении доз минеральных удобрений до $N_{90}P_{90}K_{90}$ почвенная микробиота нарастает. Н.Н. Шулико и коллеги (2015) также подтверждали увеличение численности агрономически важных групп микроорганизмов при длительном использовании минеральных удобрений.

В работе Д.Р. Майсямовой (2005) говорится об отзывчивости грибной микробиоты и актиномицетов к высоким дозам минеральных удобрений и их способности расщеплять сложные органические вещества. И.Ф. Храмцов и Н.Ф. Кочегарова (1999) при длительном применении минеральных удобрений отмечали более высокий уровень содержания гумуса в почве по сравнению с не удобренными вариантами. Содержание гумуса в слое почвы 0-20 см при уровне минерального питания $N_{28}P_{45}$ превышало контроль на 0,56%.

Ряд исследователей отмечают, что длительное применение только минеральных удобрений изменяет соотношение численности разных физиологических групп микроорганизмов, снижается содержание аммонифицирующих бактерий, актиномицетов и увеличивается накопление фитотоксичных микроорганизмов (Мишустин Е.Н., 1972; Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., 1990; Артамонова В.С., 2002 и др.). Б.А. Ягодин (2002) отмечает снижение негативного влияния минеральных удобрений при их совместном внесении с органическими удобрениями в разных формах. При этом увеличивается численность аммонификаторов, азотфиксаторов и повышается активность ферментов.

Внесение органических удобрений совместно с небольшими нормами азотных удобрений (30 кг/га) существенно повышает численность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий и в комплексе с

другими положительными факторами способствует повышению урожайности зерна до 0,2-0,3 т/га (Белоус И.Н., 2015).

И.В. Синявский, Ю.З. Чиняева (2017) также отмечают хорошее последствие органоминеральных удобрений на общую численность микроорганизмов в почве. Общая численность микроорганизмов при совместном внесении минеральных и органических удобрений превысила контроль почти в 2 раза. Доля бактерий увеличилась на 15%. А также они отмечают увеличение органического вещества на 0,5-1,0% и увеличение урожайности яровой пшеницы на 0,5-0,6 т/га зерна.

Следовательно, внесение оптимальных доз минеральных и органических удобрений улучшает жизнедеятельность микроорганизмов, повышает их общую численность и биологическую активность и тем самым позволяет стабилизировать содержание гумуса в почве, улучшить условия минерального питания растений и урожайность сельскохозяйственных культур.

1.3 Биологическая активность почв под действием удобрений

Главным источником органического вещества в почве являются растения и их отмершие остатки. Целлюлоза – один из главных компонентов растительных остатков. Она играет существенную роль в гумусообразовании и тем самым влияет на элементы плодородия. Биологическая активность почв – понятие многогранное. Она характеризует масштабы, направление процессов превращения веществ и энергии (Майсямова Д.Р., Абрамов Н.В., 2008), поэтому биологическую активность считают суммарным результатом сопряженно протекающих биохимических процессов (Коржов С.И. и др., 2009). На сегодняшний день существует множество способов определения биологической активности почвы, но наиболее комплексным показателем, характеризующим работу почвенных микроорганизмов, является целлюлозоразложение и эмиссия CO₂ («дыхание почвы»). Как отмечают Н.Н. Наплекова (1974) и Л.М. Подымкина (2004) на

активность разложения целлюлозы влияют следующие факторы: температура, влажность, аэрация, минеральные удобрения, биологические свойства растительности и особенности агротехники. Также они утверждают, что внесение минеральных удобрений даже в малых дозах оказывает влияние на активность разложения целлюлозы. Н.Н. Наплековой и Л.М. Подымкиной установлена сильная зависимость разложения целлюлозы с дозой азотных удобрений и глубиной заделки растительных остатков, коэффициент корреляции составил 0,75 и 0,99 ед. соответственно. В опытах В.В. Козловой (2019) корреляционная связь гумуса и целлюлозоразлагающей активности почвы составляла от 0,39 до 0,61. Наиболее интенсивное разложение клетчатки происходит при содержании в почве гумуса от 1,6-2,2%. Тесная прямолинейная корреляционная связь ($r=0,72$, $y=19,68+0,10x$) отмечена между дозой азотного удобрения в посевах озимой пшеницы и целлюлозоразлагающей активностью почвы. При увеличении дозы азота на 1 кг интенсивность разложения клетчатки будет увеличиваться на 0,10%.

Н.Н. Шулико и коллеги (2015) отмечают, что минеральные удобрения, главным образом азотные, оказывают максимальный эффект на интенсивность разложения целлюлозы, превышая контроль на 23%. Т.А. Блынская (2009) в своих исследованиях установила, что при применении удобрений на дерново-подзолистых почвах в дозах $N_{80}P_{60}K_{80}$ отмечается увеличение интенсивности дыхания до 104 мг CO_2 /кг в час, и целлюлозоразлагающей активности почвы до 28% относительно не удобренных вариантов. А.А. Кукишева (2011) отмечает ещё большую интенсивность разложения целлюлозы при внесении минеральных удобрений (до 30-46% относительно варианта без удобрений), она также установила, что в этом процессе участвуют бактерии рода *Sporocytophag* и грибная микробиота *Dematium*.

Длительное применение высоких доз минеральных удобрений (по 120 кг д.в. и выше) ингибирует развитие бактериальной микробиоты и снижает

микробиологическую активность почвы в начале вегетации растений, вследствие чего и уменьшается интенсивность разложения целлюлозы, которая является общим показателем биологической активности почвы (Еремин Д.И., 2002). При использовании органоминеральной системы удобрений отрицательный эффект от высоких доз минеральных туков снижается, и вновь наблюдается интенсификация микробиологических процессов (Салем Мохамед А. и др., 2005; Шулико Н.Н. и др., 2015).

В работе Н.Н. Шулико (2017) количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов повышалось при уровне минерального питания $N_{18}P_{42}$ и $N_{18}P_{42}$ +солома на 99 и 52% соответственно. Это так же установлено А.А. Постоваловым и Н.А. Немировой (2009); А.А. Постоваловым (2018). Они отмечают, что целлюлозоразлагающая активность почвы на вариантах с внесением минеральных удобрений была выше контроля.

В опытах Т.А. Дудкиной и И.В. Дудкина (2017) просматривалась тенденция роста биологической активности при внесении как органических, так и минеральных удобрений. Имелись только различия интенсивности разложения целлюлозы по горизонтам почвы, слой 0-20 см отличался максимальным целлюлозоразложением.

Внесение азотных удобрений и навоза являлись главными факторами стимулирования активности целлюлозолитического микробного сообщества в исследованиях О.В. Поддубной и О.В. Симанкова (2016). Без внесения минеральных удобрений активность разложения целлюлозы составила 2,6 мг/сут.; на фоне без органики при внесении возрастающих доз азота N_{60-120} активность разложения возрастала в 3 раза и составляла 7,4-7,9 мг/сут. На фоне последствий 50 т/га и 100 т/га навоза активность целлюлозоразложения возрастала в 2,0 и 2,5 раза по отношению к контролю и составляла 5,3 и 6,5 мг/сут. соответственно.

В результате многолетних исследований, проводимых кафедрой земледелия ГАУ Северного Зауралья, было установлено, что максимальная скорость целлюлозоразложения проявляется при отвальной обработке,

тогда как при нулевой этот показатель существенно меньше. Данный факт находит подтверждение в работах Л.Ю. Скопиной (2000), Н.В. Перфильева и коллег (2015).

В исследованиях Д.Р. Майсямовой и А.С. Хлебникова (2014) наибольшее количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов наблюдалось в слое почвы 10-20 см по всем видам основной обработки. Авторы связывают это с достаточным содержанием растительных остатков в этом слое. Д.Р. Майсямова (2005) также отмечает, что распахиваемость почвы приводит к преобладанию процессов минерализации над процессами гумификации. А дифференцированная обработка может привести к токсикозу почвы из-за накопления грибов рода *Penecillium* и *Fusarium*. При безотвальной обработке растительные остатки преимущественно сосредоточены в верхнем слое почвы. Это приводит к дифференциации пахотного слоя по содержанию гумуса, о чём свидетельствуют исследования В.В. Рзаевой и Д.И. Ерёмина (2010).

Результаты исследований А.В. Ениной и Н.В. Фисунова (2017) показали, что при ежегодной отвальной обработке происходит снижение микробиологической активности в первый месяц экспозиции из-за нарушения аэрации при обороте пласта. Они же отмечают создание благоприятных условий на разложение целлюлозы в слое 0-10 см без оборота пласта. На вариантах с безотвальной и минимальной обработками максимум биологической активности приходится на первую половину вегетации. В дальнейшем целлюлозоразлагающая активность снижалась до 20-28% от исходной массы полотна.

Н.В. Абрамов и С.А. Семизоров (2012) заметили, что при отвальной обработке и чередовании ее с поверхностной разложение льняных полотен без минеральных удобрений было невысокое, разложение органических остатков происходило медленно и не приводило к полной минерализации.

Тесную связь целлюлозолитической активности с влажностью, температурой и питательным режимом подтверждают в своих

исследованиях Л.Д. Тихомирова (1973) и Н.Н. Наплекова (1974). В частности, Л.Д. Тихомировой установлено снижение общей численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов при низкой влажности черноземной почвы в летние месяцы.

Также Н.Н. Шулико с коллегами (2016) отмечают зависимость целлюлозолитической активности и влажности почвы. Они установили, что активность разложения целлюлозы в почве в засушливые годы уменьшается на 33% по сравнению с влажными. Низкая влажность черноземной почвы в летние месяцы снижает общую численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Я.Т. Суюндуков и коллеги (2010) в начальный период вегетации из-за недостатка влаги отмечали медленный распад льняной ткани, с выпадением осадков этот процесс резко усиливался. Скорость убыли льняного полотна была минимальна в июне, максимальна – в июле. Они сделали заключение о выраженной зависимости целлюлозолитической активности от месячной суммы осадков, коэффициент корреляции составил $r = 0,99$, $p \geq 0,95$.

При благоприятном водно-воздушном режиме почвы разложение полотна происходит в 3 раза быстрее. Наибольшей целлюлозоразлагающей активностью характеризовалась почва в варианте навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$ (Климкина Ю.М., 2015). О.А. Шаховой (2016) между запасами влаги в почве и убылью льняного полотна в слое 0-30 см установлена сильная прямая ($r = 0,81$) и достоверная ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$) связь. Микробиологическая активность выщелоченного чернозёма на 67% зависит от запасов влаги в фазу кущения и перед уборкой яровой пшеницы.

Целлюлозолитическая активность почвы заметно уменьшается с глубиной (Кузнецова Л.Н., 2014). Учитывая тот факт, что удобрения оказывают существенное влияние на целлюлозоразложение, необходимо уделить внимание размещению растительных остатков и минеральных удобрений по пахотному слою.

Эмиссия углекислого газа или дыхание почвы представляет собой важный процесс в круговороте углерода на нашей планете (Наумов А.В., 2003; Сушко С.В. и др., 2019). А.Г. Ермакова и Н.М. Сулимова (1973) установили, что черноземы выщелоченные Тюменской области в начале весны отличаются слабой микробиологической активностью. Они это связывали с низкой температурой почвы и недостаточным содержанием азота, необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов. Д.И. Еремин (2016) определил, что с прогреванием почвы активизируется деятельность микробиоты почвы, что выражается в увеличении интенсивности выделения углекислого газа с поверхности почвы от 4,0 до 22,08 г $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{час}$. Он так же отмечал, что внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна увеличивает биологическую активность. На максимальном агрофоне с дозой удобрений $\text{N}_{170}\text{P}_{260}$ кг действующего вещества на гектар был отмечен обратный эффект – деятельность микробиоты угнетается и как следствие интенсивность дыхания тоже снижается.

При изучении чернозема типичного на Украине О.П. Сябрук со своими коллегами (2014) отмечали максимальную способность почвы к продуцированию CO_2 в весенний период, особенно при органо-минеральной системе удобрений. Они доказали всплеск выделения CO_2 после обильного выпадения осадков в летний период. По результатам их исследований в 2012 г. эмиссионные потери углерода составляли 480-520 кг/га.

Интенсивность «дыхания» почвы зависит от совокупности факторов: гидротермических условий, вида удобрений, особенностей сельскохозяйственной культуры (Шилова Н.А., 2014). Внесение удобрений усиливает эмиссию CO_2 в 1,2-1,7 раза под разными культурами, что связано с ростом численности микробиоты и интенсивностью процессов минерализации и гумификации органического вещества в почве. Идет нарастание наземной массы и корневой системы. По данным автора эмиссия

CO₂ нарастает с весны, достигает максимальных значений летом и постепенно снижается к осени.

1.4 Влияние удобрений на ферментативную активность почв

Ферментативная активность почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов и является одним из основных биологических показателей, характеризующих плодородие (Крамарева Т.Н., 2003). Ферменты играют важную роль в обмене веществ, участвуя в разложении растительных остатков, создании новых органических соединений, трансформации и минерализации почвенного органического вещества (Соколов Г.А. и др., 2009; Куликова А.Х. и др., 2017). Источником почвенных ферментов служат растения, микроорганизмы, животные, грибы, водоросли. Накапливаясь в почве, ферменты становятся неотъемлемым реактивным компонентом экосистемы (Галстян А.Ш., 2009).

Еще Л.П. Карягина (1986) говорила о том, что при рассмотрении вопроса плодородия почвы особое внимание нужно уделять окислительно-восстановительным ферментам – полифенолоксидазе (ПФО) и пероксидазе (ПО). Так как по их активности можно оценить потенциал почвенной биоты, а их соотношение указывает на направление трансформации органического вещества в почве. Пероксидаза – фермент, осуществляющий окисление органических веществ почв за счет кислорода воздуха и перекиси водорода; его влияние направлено на минерализацию гумусовых веществ. Усиленное выделение микробиотой ПО приводит к интенсивной минерализации почвенного органического вещества. Полифенолоксидаза – фермент, участвующий в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса (Майсямова Д.Р. и др., 2008). Т.А. Девягова совместно с Т.Н. Крамаревой (2003) писали о полифенолоксидазной активности как об одном из основных показателей усиления процесса гумификации органических остатков биоценоза. В тоже

время чрезмерное накопление ПФО может негативно сказаться на азотном питании, ингибируя минерализацию почвенного органического вещества.

Вопрос о ферментах пахотных почв давно представляет интерес для почвоведов, агрохимиков и экологов. Ферментативная активность почвы подвержена изменениям под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. Активность оксидоредуктаз проявляется при сочетании температуры 20-30⁰С и влажности 40-60% от полной влагоемкости, выше и ниже этих значений активность ферментов заметно снижается (Хазиев Ф.Х., 2008). Он так же отмечает, что в естественных экосистемах ферментативная активность выше, чем на землях сельскохозяйственного назначения. Почвы с нейтральной реакцией среды и достаточной насыщенностью основаниями Са, Mg характеризуются высокой активностью ферментов.

Так считали и М.К. Зинченко и И.Ю. Винокуров (2016), которые указывали зависимость развития инвертазной активности от погодных условий. Внесение органических удобрений оказало положительный эффект на мобилизацию уреазы в почве, особенно в первый год действия органических удобрений. Использование навоза в дозе 40 т/га на фоне минеральных удобрений стимулировало активность каталазы и инвертазы, что характеризует процессы биогенеза гумусовых веществ.

Широкое варьирование ферментативной активности каталазы от агрофизических и водных свойств в своих исследованиях показали Л.Г. Шорохова и А.З. Хубиева (2019). Внесение минеральных и органических удобрений оказывало благоприятное действие на ферментативную активность почвы, в зависимости от дозы удобрений она увеличивалась в 1,1-1,2 раза.

Э.В. Шваковой (2015) выявлена прямая зависимость активности инвертазы и обратная зависимость активности уреазы, фосфатазы и каталазы от влажности почвы. Наибольшая уреазная ($r=-0,93$), фосфатазная ($r=-0,76$) и каталазная ($r=-0,90$) активности почвы проявляются при температуре почвы 15-20⁰С и умеренной влажности почвы 20-25%.

Инвертазная активность ($r=0,73$) почвы, наоборот, усиливается при увеличении влажности почвы.

Г.П. Гамзиков (2012) подтверждал, что при сочетании оптимальных экологических факторов в агроэкосистемах устанавливается биологическое равновесие, однако антропогенное влияние может его нарушить, в том числе обработкой почвы и внесением удобрений. Этому же мнения придерживаются и иностранные авторы (Balota E.L. и др., 2003; Nillson K.S. и др., 2005; Opelt K., 2007). З.З. Аюпов (2015) утверждает, что применение ресурсосберегающей основной обработки почвы на фоне удобрений способствует повышению активности ферментов ПФО и ПО относительно классической обработки почвы. Исследованиями Д.Р. Майсямовой и коллег (2008, 2020) установлено увеличение полифенолоксидазной активности в черноземе по мере возрастания гумуса. В процессе распашки чернозема происходит нарушение биологического равновесия физиологических групп микроорганизмов; возрастает коэффициент минерализации, что приводит к дегумификации пахотного чернозема. По соотношению процессов гумификации и минерализации (активность ферментов ПФО и ПО) пахотного чернозема в зависимости от обработок можно судить о процессах превращения почвенного органического вещества.

Л.М. Бурлакова и Г.Г. Морковкин (2005) одним из мощных факторов, изменяющим ферментативную активность пахотных почв считают минеральные удобрения, которые могут способствовать как увеличению, так и ингибированию ферментативной активности. О.С. Безуглова и др. (2019) поддерживают данный факт в своих исследованиях. Они экспериментально подтвердили увеличение ферментативной активности при внесении соломы и компенсирующей дозы минерального азота, которая дает дополнительное питание почвенным микроорганизмам и повышает их активность в процессах биотрансформации. Подтверждается это и в исследованиях М.К. Зинченко и С.И. Зинченко (2020), которые проводили мониторинг влияния разного уровня минеральных и органических

удобрений (низкий – навоз 40 т/га; интенсивный – $N_{100}P_{80}K_{160}$ + навоз 40 т/га; интенсивный минеральный – $N_{350}P_{220}K_{390}$; интенсивный органоминеральный – $N_{310}P_{150}K_{310}$ + навоз 60 т/га; высокоинтенсивный минеральный – $N_{480}P_{280}K_{575}$; высокоинтенсивный органоминеральный – $N_{430}P_{180}K_{360}$ + навоз 80 т/га) на активность уреазы и выявили устойчивое увеличение ее активности в середине лета на всех фонах интенсификации.

Применение соломы, минеральных удобрений и биологического препарата Байкал ЭМ-1 оказывает значительное влияние на ферментативную активность почвы. В среднем за три года исследований активность уреазы по отношению к контролю повышалась от 1,9 до 2,4, фосфатазы – от 1,8 до 2,3 и инвертазы – от 2,3 до 3,0 раз (Куликова А.Х. и др., 2017). В.В. Лапа и др. (2012) отмечают более высокую активность этих ферментов именно на фоне минеральных удобрений, так инвертазная активность составила 2275-2933 мг глюкозы/кг, уреазная 187,5-210,0 мг/кг, в результате этого произошло усиление минерализации углерод- и азотсодержащих органических соединений почвы.

Кроме того, многолетние исследования ученых-микробиологов нашего региона отмечают так же, что ферментативная активность как комплексный показатель зависит не только от удобрений, обработки почвы, но и от предшествующей культуры (Майсямова Д.Р., 2005; Перфильев Н.В. и др., 2015; Скопина Л.Ю., 2017; Wu Н. и др., 2018).

Несмотря на имеющиеся сведения о ферментативной активности почв при различных антропогенных воздействиях, в настоящее время их недостаточно для зон рискованного земледелия и требуется дальнейшее изучение.

1.5 Нитратный режим почв при внесении возрастающих доз минеральных удобрений

Азот один из основных элементов питания, необходимых для роста и развития сельскохозяйственных культур. Именно ему принадлежит

основная роль в формировании продуктивности агроценозов (Шерстобитов С.В., 2015). Почти весь азот, поступивший почву, находится в виде органических соединений и недоступен растениям. Культурные растения потребляют из почвы азот в виде аммонийных, нитратных и нитритных солей (Назарюк В.М., 2017). Поэтому от поступления азота в почву и до потребления его растениями происходит ряд превращений: аммонификация, нитрификация, денитрификация. Процесс аммонификации осуществляют аммонифицирующие бактерии, которые минерализуют азотсодержащие органические вещества с высвобождением аммонийного азота. Дальнейшее превращение азота, связанное с окислением аммиака, называется нитрификацией. От интенсивности процесса нитрификации зависит азотный режим почвы – один из главных факторов почвенного плодородия. Неиспользованные растениями нитраты в процессе денитрификации переходят в молекулярную форму азота, который возвращается из почвы в атмосферу. В процессе минерализации азот аммония быстро окисляется до нитратов, поэтому преобладающей минеральной формой азота в почвах является азот нитратов (Ягодин Б.А. 2002). Что так же отмечают Г.П. Гамзиков (1981) и В.М. Назарюк (2002) на черноземных почвах Западной Сибири.

Черноземы Западной Сибири характеризуются неустойчивым азотным режимом при относительно высоком содержании общего азота (Танасиенко А.А. с коллегами (2016); Дёмин Е.А., Еремин Д.И., 2017). Это связано с низкой микробиологической активностью, в следствие неблагоприятного температурного режима. До 50-х годов прошлого столетия эта проблема была неактуальной для ученых и аграриев, поскольку Западную Сибирь не рассматривали как сельскохозяйственный регион страны. Для формирования урожайности зерновых культур не более 12-15 ц/га не было необходимости изучать питательный режим сибирской пашни и разрабатывать систему удобрений. Сейчас, когда аграрное производство шагнуло далеко вперед, необходимо учитывать, что получение высоких

урожаев требует детального изучения азотного режима почв, в особенности динамики нитратов, которые очень подвижны по профилю почвы (Абрамов и др., 2016; Котченко С.Г. и др., 2017; Красницкий В.М., 2003).

Азот в почве всегда находится в минимуме и главным, наиболее эффективным фактором пополнения его запасов в почве являются минеральные удобрения. О.Ф. Хамова (2001), О.Ф. Хамова и Н.Ф. Кочегарова (2004) в своих опытах при длительном применении минеральных удобрений говорят о достоверном повышении (57%) азота нитратов в почве по отношению к контролю. Положительное действие минеральных удобрений, которые увеличивали урожайность полевых культур и содержание нитратного и аммонийного азота, подтверждается работами Е.Н. Дьяченко и В.Т. Мальцевым (2008). Содержание нитратного азота на контроле снижалось к концу вегетации, вследствие потребления его культурой ячменя и закреплением почвенными микроорганизмами (Шулико Н.Н., 2017). На варианте с внесением удобрений количество азота нитратов было выше на 149% по сравнению с не удобренным вариантом. Совместное применение минеральных удобрений с соломой ($N_{18}P_{42}$ +солома), инокуляцией ($N_{18}P_{42}$ +инокуляция) оказало положительное влияние на содержание нитратного азота в почве, увеличив его содержание до 134 и 173% соответственно по отношению к контролю. Увеличение содержания нитратного азота в черноземе типичном под озимой пшеницей в зернотравянопропашном севообороте при внесении минеральных удобрений подтверждает А.А. Ореховская (2019).

Исследования Н.М. Сидоровой и Ю.И. Ермохина (2008) свидетельствуют о том, что в зависимости от уровня минерального питания содержание нитратного азота в слое почвы 0-30 см колеблется от 85 до 152 кг/га в весенний период. В.В. Кидин и В.В. Зенкина (2009) отмечали, что обработка почвы увеличивает интенсивность нитрификации и денитрификации в пахотном слое. В подпахотных горизонтах процессы восстановления нитратов практически не происходили, что связано с низкой

биологической активностью гетеротрофной микробиоты (Гармашов В.М. и др., 2019). Сравнение традиционной и поверхностных обработок по разным предшественникам безусловно подтверждает положительное воздействие вспашки на обеспечение почв нитратным азотом (Кейль А.В., 2019).

Быстрая изменчивость азота в почве должна учитываться при разработке системы удобрений с учетом климатических особенностей конкретного региона и сельскохозяйственных культур.

1.6 Влияние минеральных удобрений на нитрификацию пахотных почв

В повышении плодородия почвы огромное значение имеет деятельность различных микроорганизмов (Кружков Н.К., 2007), а активность протекания нитрификации является важнейшим показателем микробиологического состояния почвы (Минеев В.Г. и др., 2004).

Нитрификация протекает только в аэробных условиях при незначительном дефиците влаги. При недостатке кислорода нитрификация затухает и начинается обратный процесс (денитрификация), при котором нитраты восстанавливаются до молекулярного азота с промежуточным образованием различных оксидов или аммиака.

Почвы Западной Сибири имеют свои региональные особенности, обусловленные суровым климатом и почвообразующими породами. Эффективное плодородие напрямую связано с деятельностью микробиоты и накоплением питательных веществ. Как показали исследования ряда ученых (Клевенская И.Л., 1974; Кочкина А.В., 2016) нитрифицирующие бактерии не развиваются, если почва не прогрелась выше 10⁰С и ее влажность более 80-90%.

Минеральная система удобрений, которая в настоящее время наиболее распространена, не только обеспечивает питательными веществами сельскохозяйственные культуры, но и оказывает непосредственное влияние на нитрификацию и денитрификацию пахотных почв. Роль минеральных удобрений в регулировании нитрификационных процессов неоднозначна.

Анализ литературных источников показал, что удобрения имеют как положительный, так и отрицательный эффект (Свистова И.Д. и др., 2004; Гамзиков Г.П., 2013; Еремин Д.И., 2017).

А.В. Щур и др. (2015) показывали интенсивность увеличения нитрификации под действием азотных удобрений в 2 раза по отношению к контролю. При внесении органо-минеральных удобрений процесс нитратонакопления усиливался в 4 раза по отношению к контролю. Эти сведения так же подтверждаются исследованиями Н.Н. Шулико и коллег (2015) – нитрификационная способность почвы на удобренных вариантах превышала контроль на 25%. Применение органо-минеральных удобрений способствует усилению процесса нитрификации в пахотном слое почвы в среднем в 2 раза и в 4,5 раза в подпахотном, что отмечали в своих работах Г.И. Уваров и А.П. Курбатов (2014). В то время как влияния обработки на нитрификационную активность почвы они не выявили. А.А. Ореховская (2019) же наоборот показала сильную взаимосвязь обработки почвы и активности нитрифицирующей микробиоты.

В.М. Назарюк и др. (2007) при исследовании серых лесных почв отмечали увеличение нитрификационных процессов от посева до цветения, в дальнейшем их активность значительно уменьшалась. В.И. Макаров (2016), В.И. Макаров и Т.Н. Галева (2017) показывали варьирование нитрифицирующей активности в дерново-подзолистых почвах от 8,2 до 26,8 мг/кг. Высокая корреляционная связь нитрифицирующей способности почвы была связана с содержанием гумуса и обменного аммония. Они так же отмечали, что при pH меньше 4,0 ед. происходит резкое снижение нитрифицирующих процессов. Т.В. Лобков, Ю.А. Бобкова (2015) отмечали, что при активном использовании почвы в сельском хозяйстве нитрификационная активность выше, чем на залежных почвах.

Несмотря на то что изучением данного вопроса занимаются с 60-х годов прошлого столетия, однозначного ответа по влиянию минеральных удобрений на почвенную микробиоту в условиях Северного Зауралья нет.

Поэтому изучение микробных сообществ в пахотных почвах и влияние на них агрохимикатов актуально, практически значимо и важно для сельскохозяйственного производства. Следовательно, для одновременного увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения почвенного плодородия необходимо использовать научно обоснованную систему удобрений и средств химизации, направленную на оптимизацию питания с учетом микробиологического состояния почв (Гамзиков Г.П., 2004; Абрамов Н.В. и др., 2010; Назарюк В.М., 2017; Sherstobitov S.V., 2019).

1.7 Влияние минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота в почве

В Западной Сибири, по данным Г.П. Гамзикова (2013), содержание общего азота в черноземах может превышать даже европейские аналоги. Черноземные почвы юга Тюменской области характеризуются меньшим содержанием общего азота и резко убывающим его распределением в почвенной толще (Еремин Д.И., 2012). Его высокое содержание не означает наличие в достаточном количестве доступных для растений форм данного элемента (Азаров В.Б., 2004). Как показала практика агрохимических обследований земель сельскохозяйственного назначения и многочисленные научные исследования, более 80% почв характеризуются дефицитом доступного для растений азота, необходимого для формирования средних урожаев. Из этого следует, что доступный азот для сельскохозяйственных культур в пахотных почвах лесостепной зоны Зауралья находится в первом минимуме (Абрамов Н.В., 2009).

Наиболее стабильной и близкой к фактической обеспеченности растений азотом является фракция легкогидролизуемого азота, который при нитрификации очень быстро переходит из органической части в минеральные вещества.

Исследования легкогидролизуемого азота начали проводить несколько десятилетий назад и продолжают до настоящего времени. Несмотря на сотни краткосрочных исследований и десятки многолетних опытов, мнения ученых разделились. Часть исследователей выявили корреляцию между продуктивностью культур и содержанием легкогидролизуемого азота, что дает возможность оптимизировать систему удобрений (Ражева Д.Р., 2009; Фадькин Г.Н., Костин Я.В., 2012; Фадькин Г.Н., 2013; Шаталина Л.П., 2018). Другая группа ученых так и не смогла найти доказательства зависимости между этими показателями (Глухих М.А., Калганова Т.С., 2015; Центило Л.В., Цюк А.А., 2019). Самым радикальным приемом увеличения в почве минерального азота по мнению Б.М. Бижоева (1988), И.А. Ступакова и др. (2001); В.И. Титова и др. (2015) является внесение удобрений. Г.И. Уваров и В.Д. Соловиченко (2009), которые на основании длительных стационарных опытов установили, что органо-минеральные удобрения увеличивают в почве содержание легкогидролизуемого азота. Содержание гидролизуемого азота в зернотравянопропашном севообороте в слое почвы 0-10 см без применения удобрений было по вспашке 146,2 мг/кг, при минимальной обработке – 135,1 мг/кг. Внесение минеральных удобрений увеличивало его содержание на 11,1-22,3 мг/кг соответственно (Ореховская А.А., 2019). На содержание легкогидролизуемого азота большее влияние оказывали удобрения, чем способы основной обработки почвы. Максимальное содержание легкогидролизуемого азота в почве отмечено при совместном внесении двойной дозы навоза и минеральных удобрений. (Уваров Г.И., Карабутов А.П., 2014). Н.Ф. Гомонова и В.Г. Минеев (2012) при длительном применении минеральных удобрений так же установили увеличение фракций легкогидролизуемого азота. Мелкая обработка почвы способствовала повышению содержания щелочногидролизуемого азота в целом для слоя 0-100 см почвы в зернопропашном севообороте; в зернопаропропашном, наоборот, приводила к его уменьшению. Совместное применение органических и минеральных

удобрений при мелкой обработке почвы заметно увеличили содержание щелочногидролизуемого азота лишь в зернопаропропашном севообороте (Уваров Г.И., Боровская Я.Ю., 2014). Е.В. Навольнева (2018) при внесении возрастающих доз минеральных и органических удобрений отмечала, что содержание гидролизуемого азота увеличивалось независимо от вида севооборота и способа основной обработки почвы. При этом статистически значимое увеличение этого показателя имело место во всех глубинах. Этот факт прослеживается в работе И.М. Шевченко (2015), которая указывала, что внесение органо-минеральных доз удобрений, в сравнении с контролем, существенно увеличивало содержание легкогидролизуемого азота в слое почвы 0-40 см почвы. Значительное количество легкогидролизуемого азота было отмечено на варианте с внесением органоминеральных повышенных доз удобрений при мелкой обработке и составило 198,2 мг/кг – это на 5,1 мг/кг больше, по сравнению с контролем. Наименьшее содержание легкогидролизуемого азота на этом же фоне питания было отмечено на варианте с длительным применением комбинированной обработки – 191 мг/кг.

А.Н. Кадычегова и др. (2009) определили, что значительное влияние на динамику легкогидролизуемого и нитратного азота оказывают метеоусловия (вклад фактора 69 и 74%), в меньшей мере – минеральные удобрения (вклад фактора 1 и 6%). Что так же отмечала Л.П. Шаталина (2018), в исследованиях которой содержание легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном в большей степени определялось фактором времени, увеличение составило в среднем 19,7-39,2 мг/кг, по фону удобрений – 3,1 мг/кг, независимо от типа севооборота.

Показатель легкогидролизуемого азота в почве рекомендуется учитывать при прогнозировании доз азотных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры, с учетом водно-воздушного режима почв и биологических процессов.

Таким образом, анализ литературных источников показал, что, исследований по влиянию минеральных удобрений, особенно высоких доз, на развитие почвенной микробиоты черноземов лесостепной зоны Зауралья недостаточно для формирования однозначного мнения. Отсутствие данных по влиянию минеральных удобрений под зерновые культуры на микроорганизмы, участвующие в гумусообразовании и формировании азотного режима пахотных почв, не позволяет оптимизировать систему удобрений, обеспечивающую снижение себестоимости получаемой продукции и расширенное воспроизводство плодородия пашни.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Агроклиматические условия места проведения исследований

Тюменская область расположена на территории Западно-Сибирской равнины и занимает её значительную часть. Земельный фонд области составляет 146,6 млн. га. Сельскохозяйственные угодья занимают чуть больше 20% всей территории области. Область отличается суровыми природно-климатическими условиями, большинство территории отнесено к районам Крайнего Севера или приравнено к ним. По природно-климатическим условиям территория южной части Тюменской области разделена на четыре агроклиматические зоны: тайга, подтайга, северная и южная лесостепь. Исследования по влиянию минеральных удобрений на микробиоту почвы проводились в северной лесостепи, которая представляет собой расчлененную, слабо заболоченную равнину.

Климат северной лесостепи Тюменской области континентальный, сухой. Он формируется главным образом под влиянием воздушных масс азиатского материка. Беспрепятственное проникновение арктических масс воздуха с севера и сухих из Казахстана и Средней Азии обуславливает резкие изменения климата (Агроклиматические ресурсы, 1972).

Главная особенность климата в этой зоне – морозная и снежная зима. Среднесуточные температуры января по праву делают этот месяц самым холодным. Постоянные морозы устанавливаются с первых чисел ноября до первых чисел апреля. Высота снежных сугробов достигает 70-80 см. Продолжительность залегания снежного покрова 150-155 суток. Глубина промерзания почвы – 90-220 см (Иваненко А.С., Кулясова О.А., 2008). Весенний и осенний периоды короткие и характеризуются резким переходом к теплу и холоду. Лето короткое, но очень теплое. Средняя июльская температура достигает +25 градусов. Продолжительность дня в летние месяцы составляет 15-18 часов, что является благоприятным фактором для развития сельскохозяйственных культур.

Среднегодовое количество осадков составляет 374-415 мм, из них в теплый период (апрель-октябрь) выпадает 288-318 мм, в холодный период (ноябрь-март) – 80-105 мм. В северной лесостепи водный режим почв – периодически промывной. Отрицательные температуры в осенне-зимний период достигают насыщенных водой горизонтов, создавая сплошную льдистость с нулевой водопроницаемостью. Весной при снеготаянии этот горизонт становится водоупором, усиливая возникновение верховодки (Агроклиматический справочник, 1972).

Для большинства культур начало вегетации совпадает с переходом среднесуточной температуры воздуха через 5°C. Активная вегетация протекает при температуре воздуха выше 10°C. Продолжительность этого периода 114-123 суток. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 5°C на повышение происходит 25 апреля, через 10°C – 24 мая.

Средняя дата перехода температуры почвы через 10°C на глубине 5 см отмечается 11-15 мая, через 4-7 суток происходит прогревание почвы до 10°C на глубине 10 см. Теплообеспеченность вегетационного периода характеризуется суммой положительных температур выше 10°C, которая в северной лесостепи составляет 1800-1900°C.

Влагообеспеченность культурных растений характеризуется суммой осадков за вегетационный период, запасом продуктивной влаги в метровом слое почвы и гидротермическим коэффициентом Г.Т. Селянинова (ГТК). Среднемноголетняя величина ГТК в северной лесостепи 1,2-1,3, что характеризует данную территорию как умеренно увлажненную. При этом создаются оптимальные условия для нормального роста и развития основных полевых культур, возделываемых в регионе.

На длительность вегетационного периода оказывают влияние заморозки, которые могут значительно сократить период активной вегетации. Весенние заморозки прекращаются 20-25 мая, но отмечаются и в июне. Первые осенние заморозки наблюдаются в середине сентября, но

могут быть и в августе. В сентябре бывают продолжительные затяжные дожди. Продолжительность безморозного периода – 100-120 суток.

Климатические условия юга Тюменской области позволяют выращивать зерно, картофель, овощи, грубые и сочные корма. Наличие больших площадей сенокосов и пастбищ создает благоприятные условия для молочно-мясного животноводства. Здесь производится около 80% сельскохозяйственной продукции области.

Основными факторами, ограничивающими продуктивность земледелия в лесостепной зоне области, считаются: дефицит влаги в отдельные годы, недостаточная теплообеспеченность, нестабильность эффективного почвенного плодородия, особенно азотного питания. Таким образом, система земледелия в Тюменской области должна разрабатываться с учетом биопотенциала агроэкосистем и оптимизации всех факторов роста и развития полевых культур.

2.2 Погодные условия в период проведения исследований

Агрометеорологические условия являются одним из объективных факторов, определяющих уровень урожая и исходное качество зерновых культур. Погодные условия формируются, главным образом, под влиянием воздушных масс азиатского материка. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха достигает 51°C. Характерным для климата данного региона является суровая холодная зима, непродолжительное лето и короткие весна и осень.

Погодные условия вегетационного периода 2016 года. За период вегетации 2016 г. сумма активных температур выше десятиградусного уровня составила в среднем 2937°C. Этот период продолжался 121 сутки. Сумма осадков за вегетационный период составила 151 мм, что на 92 мм меньше многолетних данных.

В начале мая отмечена невысокая температура воздуха, которая составила 7,6°C (рис. 1, приложение А). Во второй декаде температура

поднялась до отметки 10,9°C и не отличалась от средне многолетних данных. После посева яровой пшеницы температура стала постепенно увеличиваться и к третьей декаде составила 17,4°C., что в свою очередь могло оказать благоприятное влияние на рост и развитие посевов. Однако количество осадков в этот период было незначительным, в среднем за май месяц сумма осадком была меньше среднемноголетних значений почти на 85% (рис. 2).

В июне погодные условия были наиболее устойчивыми по температурному режиму, резких перепадов не наблюдалось. Температура воздуха держалась на отметке 16,0-17,9°C, превышая многолетние показатели только в первой декаде месяца. Количество осадков за июнь составило 58 мм, из которых больше половины выпало во второй декаде месяца.

Первая декада июля была достаточно теплая (18,5°C) с небольшим количеством осадков (5 мм). Данные показатели оказали благоприятное воздействие на развитие яровой пшеницы. Выпадение обильных осадков наблюдалось в течение второй декады месяца, которое превысило среднемноголетние показатели более чем в 2 раза и составило 67 мм. В течении 11 дней третьей декады месяца выпал всего 1 мм осадков. Температура в этот период зафиксирована на отметке 19,5°C, что было чуть выше многолетних данных. Данное явление увеличивало засоренность посевов.

Август 2016 г. характеризовался высокими температурами, превышение относительно многолетних данных составило 19,1°C, в то время как осадков выпало меньше нормы на 44 мм. Первая и вторая декады августа были жаркие и сухие. Средняя температура составила 23°C, при норме 15,7°C. Осадков как в первую декаду, так и во вторую декаду месяца выпало по 4 мм, что было значительно меньше среднемноголетних значений. Третья декада в августе отмечалась небольшим снижением температуры до 18°C, но все же оставалась выше многолетних температур.

Осадков в виде дождей в эту декаду было чуть больше, чем в предыдущие и составило 6 мм (норма 18 мм).

В целом, погодные условия вегетационного периода 2016 г. характеризовались как умеренно-жаркие, в отдельные периоды сухие, но при этом положительно повлияли на рост, развитие и урожайность яровой пшеницы.

Погодные условия вегетационного периода 2017 года. В мае была теплая погода, с близкими значениями к средне многолетней норме. Среднемесячная температура воздуха составляла $+10^{\circ}\text{C}$, что выше многолетних значений всего на $0,6^{\circ}\text{C}$. По осадкам различия были более существенными. В первую декаду мая количество осадков было на уровне нормы и составило 8 мм. Тогда как во вторую и третью декаду количество, выпавших осадков превышало норму в 1,3-2,7 раза. Максимальное увлажнение составило 38 мм.

В первую декаду июня температура воздуха была на уровне средне многолетних значений – $13,6^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде произошло ее увеличение до $18,7^{\circ}\text{C}$, что превышало норму на 2°C . К третьей декаде июня температура воздуха вновь была на уровне средне многолетних данных. Дефицит осадков наблюдался в первой декаде месяца, тогда осадков выпало на 15 мм меньше нормы. Во второй декаде июня отмечалось высокое увлажнение, сумма осадков превысила норму в 4 раза. К третьей декаде степень увлажнения нормализовалась и была даже на 2°C меньше средне многолетних показателей.

В июле месяце температура воздуха в первую декаду не отличалась от нормы. Вторая декада этого месяца была холоднее на $1,6^{\circ}\text{C}$ по отношению к средне многолетней температуре. А в третьей декаде наоборот на $0,7^{\circ}\text{C}$ превышала норму.

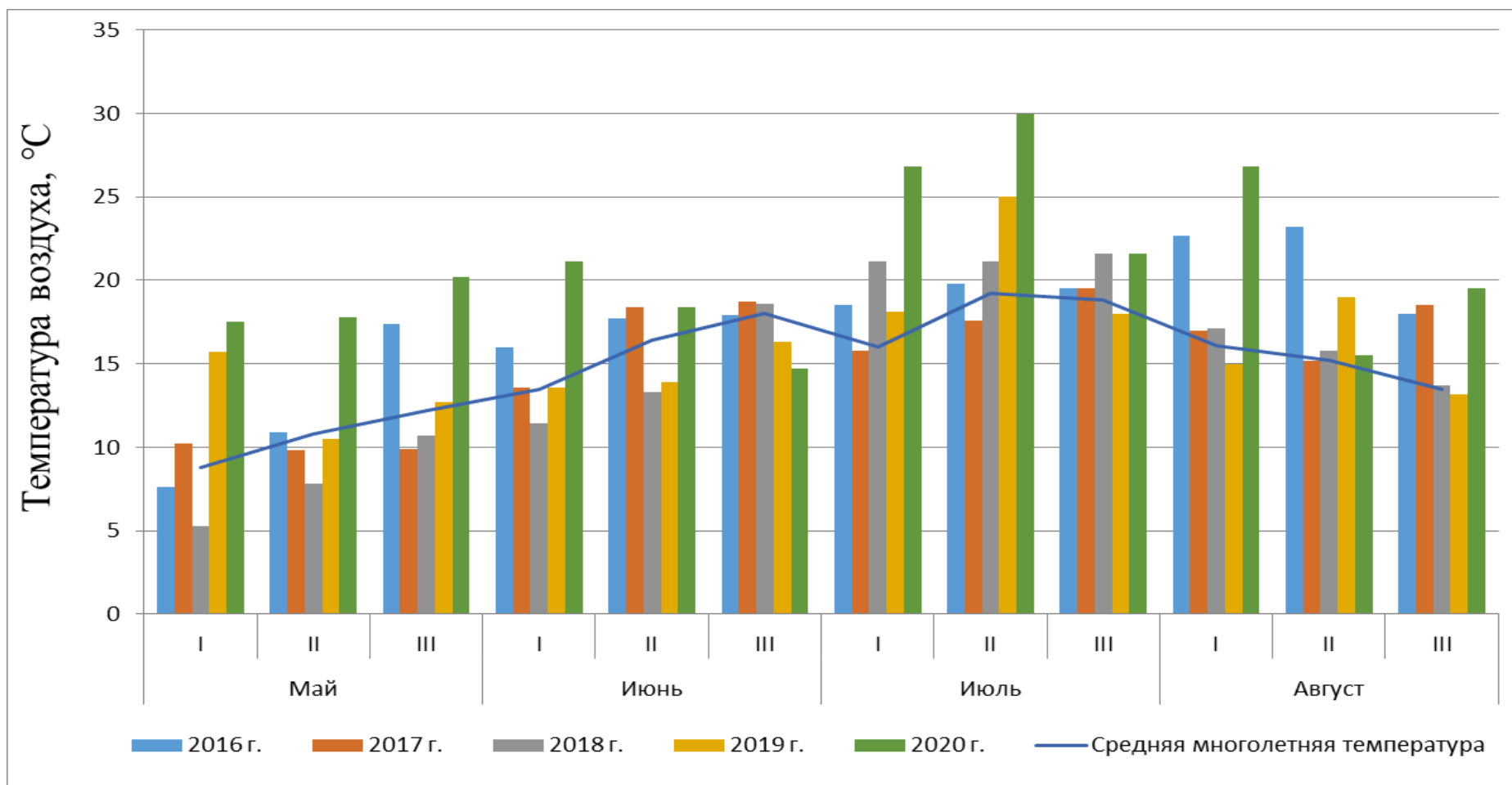


Рисунок 1 – Температура воздуха в годы исследований, °C (2016-2020 гг.)

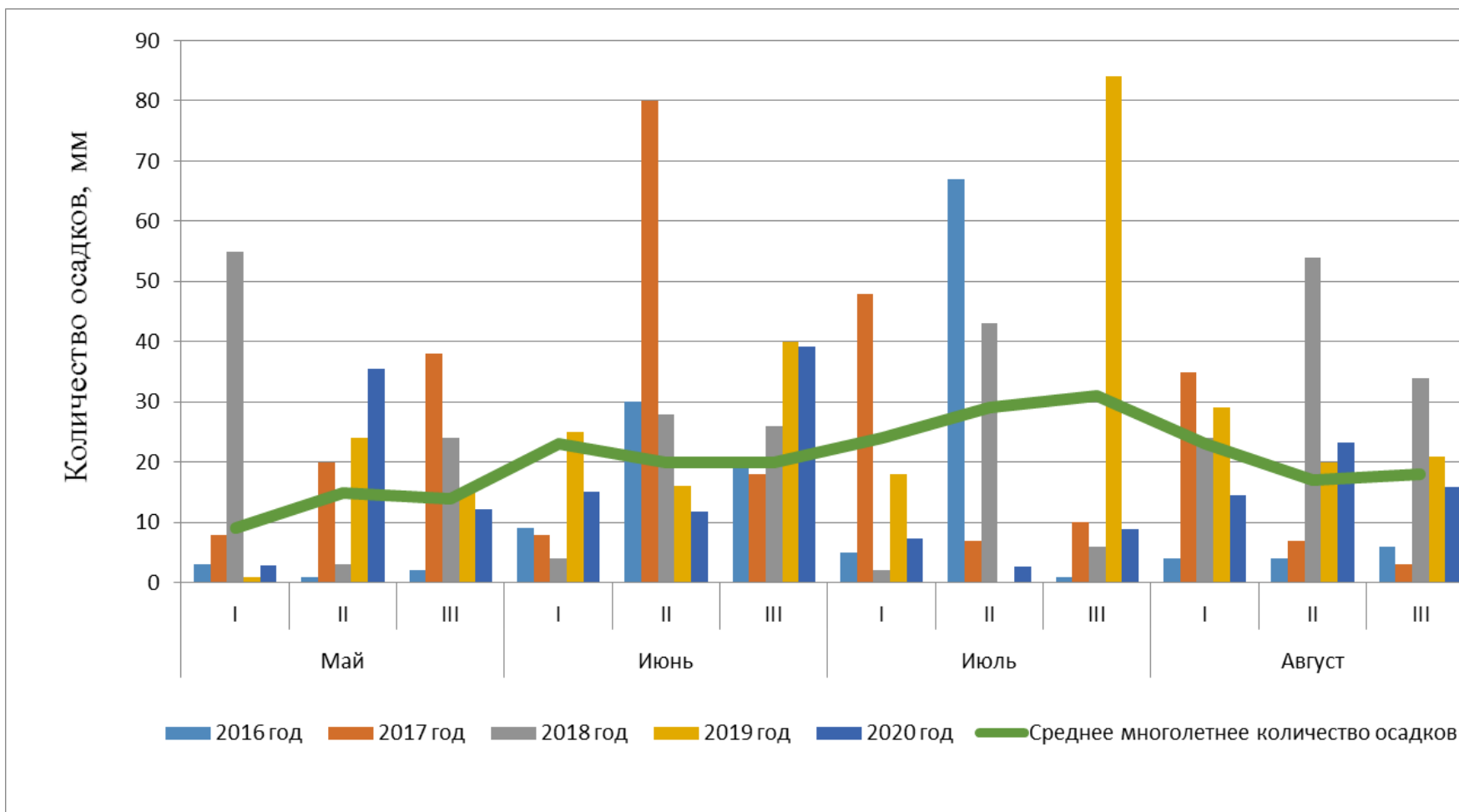


Рисунок 2 – Количество осадков в годы исследований, мм (2016-2020 гг.)

Выпадение осадков в июле было очень нестабильным. В первой декаде сумма осадков составила 48 мм и превышала норму в 2 раза. Во вторую и третью декаду месяца осадки сократились до 7-10 мм, что было меньше нормы в 4-3 раза соответственно.

Август характеризовался умеренной температурой воздуха близкой к среднемноголетним значениям. В первую декаду месяца температура была чуть выше нормы, а во второй декаде абсолютно совпала с многолетними значениями. Третья декада по температурным показателям превышала норму на 5°C. Количество осадков было выше нормы только в первую декаду месяца и составило 25 мм. Дальнейшее развитие яровой пшеницы и ее уборка проходили при дефиците влаги. Сумма осадков в этот период не превышала 7 мм, тогда как норма находилась на уровне 17-18 мм.

Вегетационный период 2017 г. был в целом тёплый, температура воздуха в половине месяцев превышала климатическую норму. Варьирование осадков было более существенным, поэтому периодически отмечалось повышенное увлажнение, а порой засуха.

Погодные условия вегетационного периода 2018 года. Май отмечался невысокой температурой воздуха в течение всех трёх декад, разница с нормой составила почти 3°C. Осадки за исключением второй декады месяца существенно превышали среднемноголетние значения. В первую декаду превышение составило 46 мм, в третью декаду – 10 мм.

В первой и третьей декаде июня температура воздуха практически не отличалась от среднемноголетних значений. Во второй декаде температура воздуха была ниже климатической нормы на 4,1°C и составила 13,3°C. Развитие растений в первой декаде проходило при недостатке влаги, так как количество осадков за декаду составило 4 мм при норме 23 мм. Вторая и третья декада по сумме осадков были близки к среднемноголетним значениям, но все же превышали их на 8-6 мм соответственно.

Июль был самым тёплым месяцем, средняя температура воздуха составила 21,3°C, что почти на 3,5°C выше нормы. Количество осадков за

первую и третью декаду составили 2 и 6 мм, тогда как норма 24-31 мм соответственно. Во второй декаде сумма осадков в 1,5 раза превышала норму.

Август был достаточно тёплым и влажным. Среднемесячная температура воздуха в августе составила 15,5°C, что на 0,6°C выше среднемноголетних значений. Количество осадков по всем трём декадам превышало норму, превышение составило от 1 до 37 мм. В целом за месяц осадков выпало 187% месячной нормы.

Погодные условия 2018 г. были более стабильны по температуре и осадкам (за исключением некоторых периодов), что способствовало развитию благоприятных условий для жизнедеятельности растений и микроорганизмов.

Погодные условия вегетационного периода 2019 года. Начало первой декады месяца было теплым, но сухим. Температура воздуха превышала норму почти в 2 раза. Осадков при этом выпало за первую декаду 1 мм. Во второй и третьей декаде месяца температура воздуха практически не отличалась от нормы. Осадков во второй декаде выпало на 9 мм больше нормы, третья декада и среднемноголетние значения по осадкам отличались незначительно.

Первая декада июня была теплая и дождливая. Средняя температура составила 13,6°C, количество осадков 25 мм, эти показатели были близки к норме. Вторая и третья декада была холоднее, температура воздуха находилась на уровне 13,9-16,3°C, что было меньше нормы на 2,5-1,7°C соответственно. Сумма осадков за вторую декаду составила 16 мм, что меньше среднемноголетних цифр на 4 мм. В третью декаду месяца осадки превышали норму в 2 раза.

В июле первая декада месяца была умеренно теплая и дождливая. Средняя температура воздуха составила 18,1°C, норма +16°C. Количество осадков за декаду составило 18 мм и было ниже нормы на 6 мм. Вторая декада месяца была сухая и жаркая. Средняя температура 25°C, норма

18,2°C. При достаточно жаркой погоде осадков в этом месяце не было при норме 29 мм, что не могло не отразиться на развитии почвенной микробиоты и урожайности яровой пшеницы. В третьей декаде месяца температура была близка к среднемноголетним показателям, а вот количество осадков превысило норму почти в 3 раза и составило 84 мм.

Август был умеренно теплый и влажный. Средняя температура воздуха в первой декаде месяца составила +15°C, норма +16,1°C. Вторая декада месяца по температуре была выше нормы почти на 4°C и составила 19°C. Температура третьей декады месяца была на уровне среднемноголетних значений. Количество осадков по всем декадам превышало норму. Превышение составило 6, 3 и 3 мм соответственно.

Погодные условия 2019 г. были благоприятны для роста и развития растений. Однако высокие температуры и осадки способствовали развитию не только культурных растений, но и сорной растительности. В некоторые периоды почва была сильно переувлажнена.

Погодные условия вегетационного периода 2020 года. Май 2020 г. был существенно теплее как нормы, так и предыдущего года. Средняя температура за 3 декады составила 18,5°C что практически на 8°C выше нормы. Однако осадков в этот период, за исключением второй декады месяца, выпадало меньше нормы. Сумма осадков во второй декаде составила 36 мм, что в 2,5 раза превышало многолетние данные.

Высокие температуры сохранялись до второй декады июня включительно, разница с среднемноголетними значениями составляла 7,6°C и 2°C. В третьей декаде снизилась по отношению к норме на 3,3°C. Количество осадков в первую и вторую декады месяца было в 1,5-1,8 раза ниже нормы. В третью декаду наоборот почти в 2 раза осадки превысили среднемноголетние показатели.

Июль месяц был отмечен как самый жаркий, средняя температура месяца составила 26,1°C. Среднемноголетние значения по трем декадам были

превышены на 10,8, 10,8 и 2,8°C соответственно. А количество осадков по всем трем декадам месяца были ниже нормы в 3,3-10,7 раз.

Август так же как июль был жарким, средняя температура за месяц составила 20,6°C, при норме 14,9°C. Количество осадков в первой и третьей декаде месяца было ниже нормы на 8 и 2 мм. Во второй декаде отмечено увеличение осадков до 23 мм, что на 35% выше нормы.

В целом 2020 г. был благоприятным для своевременного развития и созревания сельскохозяйственных культур и для формирования высокой урожайности. Фактический сбор зерна в этом году соответствовал планируемой урожайности и составил 6,24 т/га.

Таким образом, вегетационный период 2016 г. характеризовался как умеренно-жаркий, иногда сухой; 2017 г. – влажный с умеренными температурами для роста и развития яровой пшеницы; 2018 г. – тёплый с достаточным, иногда избыточным увлажнением; 2019 г. – высокой температурой воздуха и осадками выше нормы; 2020 г. – дефицитом осадков на фоне высоких температур, превышающих среднемноголетние значения на 25-40%.

2.3 Характеристика почвы опытного участка

Почвенный покров Тюменской области имеет длительную историю изучения и освоения. Условия почвообразования на этой территории имеют ряд особенностей, обуславливающих географическую уникальность характерных для нее почв и почвенного покрова (Каретин Л.Н., 1990). В Тюменской области черноземы выщелоченные почти целиком размещены в лесостепной зоне. Они сформировались на покровных и лессовидных суглинках и глинах, которые повсеместно содержат карбонат кальция. Породы не засолены, поэтому черноземы региона не имеют признаков реликтового и современного засоления. Основные площади черноземов в настоящее время практически полностью вовлечены в сельскохозяйственный оборот.

Стационарный полевой опыт ГАУ Северного Зауралья расположен на территории учебно-опытного хозяйства университета в 12 км от г. Тюмени и в 1,5 км от д. Утешево. Территория хорошо дренирована с ярко выраженным преобладанием автоморфных почв, господствующее место принадлежит черноземам и темно-серым лесным (Каретин Л.Н., 1990). Стационар по изучению минеральных удобрений был заложен в 1995 году, исследования на котором ведутся по настоящее время.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, маломощный, тяжелосуглинистый, песчано-иловатый. В составе содержит до 28% крупной пыли (0,05-0,1 мм) что подчеркивает лёссовидный характер пород и морфологически усиливает их опесчаненность. На юге Тюменской области преобладают тяжелосуглинистые разности выщелоченных черноземов с высоким содержанием физической глины (40-70%), мелкого песка и крупной пыли (20-50%) (Мищенко Л.Н., Мельников А.Л., 2007).

Чернозем стационарного участка имеет следующее строение:

$A_{\text{пах}}$ – 0-20 см. Темно-серый, почти черный, уплотненный, свежий, тяжелосуглинистый, глыбисто-комковатый. Много корней, отмечаются песчинки на гранях почвенных агрегатов. Переход в следующий горизонт резкий, с ясным выделением плужной подошвы.

A – 21-28 см. Темно-серый, плотнее вышележащего горизонта, свежий, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатой структуры. Переход постепенный.

AB_1 – 29-36 см. Темно-серый с буроватым оттенком, уплотнен, свежий, тяжелосуглинистый. Структура комковато-ореховатая. Встречается много корней, песчинки на структурных отдельностях. Переход неровный, языковатый.

B_2 – 37-90/115 см. Светло-бурый, плотный сверху, книзу плотность уменьшается, свежий, среднесуглинистый. Структура ореховатая. Встречаются корни и отпечатки корней, в верхней половине горизонта редко встречается галька диаметром не более 1 см и песчинки. Переход по структуре и плотности постепенный. Не вскипает.

B_k – 91-116/185 см. Неоднородной окраски: светло-бурые языки, идущие из верхнего горизонта, чередуются с желто-палевыми и палево-серыми языками, поднимающимися из нижнего горизонта. Он тонкопористый, слегка уплотнен, свежий, структура не выражена, среднесуглинистый. Встречаются корни, редкая галька. Вскипает от HCl, линия вскипания неровная, языковатая. Карбонаты вверху в виде журавчиков и псевдомицелия, книзу – трубочки и псевдомицелий. Переход ясный.

Характер вертикального распределения гумуса резко убывающий, что свойственно черноземам Западно-Сибирской фации. Содержание органического углерода в пахотном слое (0-30 см) варьирует от 4,44 до 5,25% (табл. 1). В подпахотном слое его содержание резко уменьшается, достигая 2,56%. Запасы гумуса в метровом слое равны 440 т/га.

Содержание общего азота по пахотному слою варьирует незначительно – 0,43-0,44%. На глубине 30-50 см его содержание уменьшается до 0,18-0,21%. Обеспеченность доступными для растений азотом перед посевом зерновых культур в годы исследований была очень низкой, что является региональной особенностью черноземных почв Западной Сибири.

Содержание валового фосфора в пахотном слое составляет 0,16-0,18%, в более глубоких слоях данный показатель резко снижается – в слое 30-50 см он достигает 0,10-0,11%. Общие запасы данного элемента питания в слое 0-50 см достигают 8,0-8,5 т/га. Содержание подвижного фосфора в годы исследований варьировало от 70 до 88 мг/кг, что соответствовало среднему уровню обеспеченности.

Калийное состояние чернозема на стационаре характеризовалось высокой обеспеченностью – содержание подвижных форм данного элемента питания в годы исследований варьировало от 150 до 172 мг/кг почвы. Обменная кислотность пахотного слоя в годы исследований существенно не изменялась – 5,4-5,6 ед., при степени насыщенности основаниями более 90% от емкости катионного обмена.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика чернозема выщелоченного на опытном поле ГАУ Северного Зауралья (Еремин Д.И., Рзаева В.В., 2012)

	Содержание, %			S	H _г	V, %
Слой почвы, см	Органический углерод	Общий азот	Валовой фосфор	ммоль(экв)/100 г почвы		
0-10	5,25	0,44	0,18	34,0	3,5	91
10-20	5,22	0,45	0,18	31,9	3,5	90
20-30	4,44	0,43	0,16	31,4	3,8	89
30-40	2,56	0,21	0,11	26,3	2,4	92
40-50	1,16	0,18	0,10	22,2	2,5	90
50-60	0,91	Не опред.	Не опред.	18,5	2,1	90
60-70	0,68	-//-	-//-	18,4	2,1	90
70-80	0,72	-//-	-//-	19,5	2,3	89
80-90	0,42	-//-	-//-	20,2	1,0	95
90-100	0,31	-//-	-//-	23,2	1,0	96
S – сумма обменных оснований; H _г – гидролитическая кислотность; V – степень насыщенности основаниями						

Чернозем выщелоченный опытного поля ГАУ Северного Зауралья характеризуется высокой суммой обменных оснований, достигающей в пахотном слое 31,4-34,0 ммоль(экв)/100 г почвы, что характерно для черноземных почв лесостепной зоны Зауралья. С глубиной данный показатель постепенно снижается до минимальных значений в слое 50-70 см достигающих 18,5 ммоль(экв)/100 г почвы. Минимум приходится на безгумусный бескарбонатный горизонт (B₂). По мере приближения к иллювиально-карбонатному горизонту (B_к) величина суммы обменных оснований возрастает до 23,2 ммоль(экв)/100 г почвы. В составе почвенных катионов абсолютно преобладает кальций. Гидролитическая кислотность в пахотном горизонте составляет 3,5-3,8 ммоль(экв)/100 г почвы. С глубиной данный показатель снижается, достигая минимума в слое 80-100 см.

Формирование температурного режима черноземов выщелоченных лесостепной зоны Зауралья находится в тесной связи с погодными условиями. Весеннее оттаивание, преимущественно, проходит от

поверхности в глубь почвы, что делает процесс прогревания корнеобитаемой зоны очень медленным, по сравнению с европейскими аналогами черноземов.

Продолжительность периода отрицательных почвенных температур со второй декады ноября до середины апреля, что составляет около 5 месяцев. Глубина промерзания в среднем равна 160 см. Период активных температур до четырех месяцев – от середины мая до октября. Средняя глубина прогреваемости до 200 см.

Таким образом, плодородие чернозёма выщелоченного, на котором расположено опытное поле ГАУ Северного Зауралья, не имеет существенных отличий от чернозёмов лесостепной зоны Зауралья. Морфогенетические признаки и основные свойства типичны для всей зоны

2.4 Объекты и методика исследований

Схема опыта предусматривала внесение минеральных удобрений в дозах в среднем за годы исследований: $N_{40}P_{75}$; $N_{150}P_{200}$; $N_{185}P_{160}$ кг/га д.в., что соответствовало уровню минерального питания необходимого для формирования планируемой урожайности яровой пшеницы 3,0, 5,0 и 6,0 т/га зерна соответственно. В качестве контроля был выбран вариант без внесения минеральных удобрений. Формирование урожая зерновых культур проходило за счет естественного плодородия чернозема. За период с 1995 по 2020 гг. минеральные удобрения на контроле ни разу не вносили. Во время уборочных работ, солома зерновых культур измельчалась и разбрасывалась непосредственно на делянке.

Дозы минеральных удобрений рассчитывали методом элементарного баланса с учетом содержания питательных веществ в почве (приложения Ю-АВ) и текущей нитрификации – 60 кг/га. Использовали аммиачную селитру и аммофос. Калийные удобрения не вносили, поскольку обеспеченность данным элементом питания была очень высокой.

Обработка почвы – отвальная, проводили после уборки культур на глубину 20-22 см. Весной при наступлении физической спелости почвы боронили в 4 следа боронами ЗБЗТ. В день посева вносили удобрения разбросным способом с последующей культивацией на глубину 8-10 см. В опыте высевали яровую пшеницу сорт Новосибирская-31. Посев приходился на третью декаду мая.

Образцы почвы для агрохимического анализа и определения биологической активности отбирали с пахотного горизонта 0-30 см в течение вегетации в основные фазы развития яровой пшеницы (посев, цветение, восковая спелость).

Исследования проводили в лаборатории экологии почв Агробιοтехнологического центра ГАУ Северного Зауралья и кафедральной агрохимической лаборатории. Содержание потенциально доступного для растений азота (легкогидролизуемого) определяли по методу Корнфилда; нитратный азот в почвенных образцах по Грандваль-Ляжу дисульфифеноловым методом; нитрификационную способность по методу С.П. Кравкова. Содержание общего азота в зерне и соломе – методом мокрого озоления (смесь серной кислоты и перекиси водорода) по ГОСТу 108469-1. Определение азота текущей нитрификации проводили расчетным способом, предложенным Ю.И. Ермохиным (2004).

Целлюлозоразлагающую способность почвы изучали с помощью аппликационного и весового методов Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой (1976). Для определения целлюлозоразлагающей активности в изучаемые слои почвы (0-10; 10-20; 20-30 см) закладывались полоски хлопчатобумажной ткани на глубину до 30 см. Повторность опыта 3-х кратная, сроком на вегетационный период (июнь-август). Аппликаторы извлекали из почвы в определенной последовательности в конце каждого месяца. Время экспозиции последних полотен составило 3 месяца (приложение Л). В лабораторных условиях освобождали полотна от твердых примесей, просушивали и взвешивали на электронных весах. О

целлюлозолитической активности почв судили по убыли, выраженной в процентах от первоначальной массы по методике Д.Г. Звягинцева (очень слабая <10, слабая 10-30, средняя 30-50, сильная 50-80, очень сильная >80).

Количественный состав целлюлозоразлагающих бактерий определяли – на среде Гетчинсона, микромицетов – на среде Чапека, актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре (КАА) (приложение И). Поверхностный посев на питательные среды проводили по воздушно-сухой почве, а затем помещали в термостат на 7 суток при температуре 25-30°C. Через неделю после посева подсчитывали число выросших на средах колоний.

Активность ферментов пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО) изучали по методике Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловской (1986). Значение активности ферментов ПО и ПФО использовали для вычисления коэффициента (К) накопления гумуса: $K = \text{ПФО} / \text{ПО}$. Если соотношение $\text{ПФО} / \text{ПО} < 1$, то процесс распада гумуса идёт активнее, чем его синтез. Если соотношение $\text{ПФО} / \text{ПО} > 1$, то процессы гумификации в данном случае являются преобладающими.

Температуру почвы измеряли на глубине до 30 см почвенным термометром ТПВ-50 по фазам вегетации яровой пшеницы. Влажность определяли термостатно-весовым методом в пахотном горизонте в основные фазы развития яровой пшеницы.

Исследования были проведены в полноценно развернутом в пространстве и времени трехпольном севообороте со следующим чередованием культур: однолетние травы, яровая пшеница, овес. Чередование культур за годы исследований не менялось. Размеры делянки – 4x25 м (100 м²), учётная площадь – 50 м². Размещение делянок последовательное, в четырёхкратном повторении.

Учет урожая проводили путем обмолота делянок комбайном Terrior с пересчетом на 14% влажность.

Статистическая обработка данных проведена по Б.А. Доспехову (1985) и с помощью программного продукта Microsoft Excel. Для определения вклада

случайных и контролируемых факторов был применен алгоритм расчетов «Надстройка Excel для сельскохозяйственной статистики» (Гончар П.П., Чертов В.Г., 2003). Проводилась стандартная процедура дисперсионного анализа – подсчитывались средние значения признака в каждой из совокупностей, находилось значение F-критерия и наименьшей существенной разницы.

ГЛАВА 3 ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

3.1 Температура почвы

Температурный режим является одним из наиболее важных условий, определяющих эффективное плодородие почвы и работу почвенных микроорганизмов. Яровая пшеница теплолюбивая культура, поэтому определяющим фактором при ее возделывании является температура не только воздуха, но и почвы.

2016 год. Период вегетации 2016 г. характеризовался благоприятным температурным режимом. Максимальная температура была отмечена перед уборкой и достигала в слое 0-10 см 21°C. Температура почвы перед посевом в слое почвы 10-30 см составляла 15,7°C, что способствовало оптимальному развитию корневой системы. В слое 0-10 см она составила 16,8°C, что выше нижележащих слоёв на 1,8 и 1,9°C соответственно (рис. 3, приложение Б).

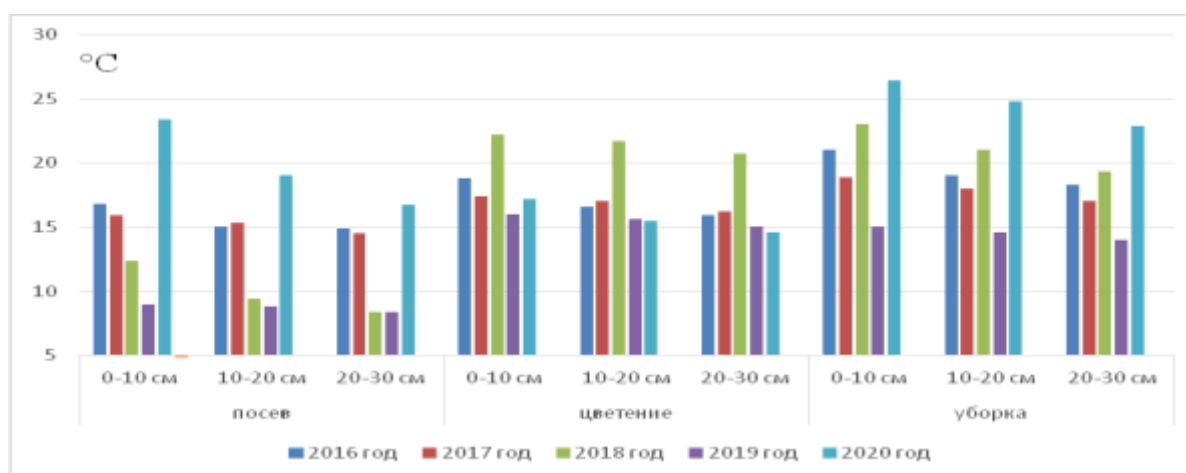


Рисунок 3 – Температура почвы в годы исследований, °C (2016-2020 гг.)

Увеличение температуры почвы в верхнем слое почвы в начале мая связано не только с интенсивностью солнечной радиации и увеличением температуры воздуха, которая в первой декаде мая 2016 г. на 25% превысила средние многолетние значения, но и высоким коэффициентом поглощения

тепловой энергии гумусовым горизонтом чернозёма. К концу июня пахотный горизонт прогрелся до температуры 15,9-18,8°C. Развитие листовой поверхности зерновых культур препятствовало перегреву пахотного слоя, который мог возникнуть в связи увеличением среднесуточной температуры воздуха.

Увеличение среднесуточной температуры воздуха в августе оказало положительное влияние на температурный режим почвы. Температура пахотного слоя увеличилась до 18,3-21°C. Это положительно повлияло на процесс созревания яровой пшеницы и способствовало поддержанию микробиологической активности на высоком уровне.

2017 год. Температура почвы перед посевом в пахотном горизонте не была подвержена сильным колебаниям. Средняя температура этого периода в слое 0-30 см составила 15,2°C, что способствовало созданию благоприятных условий для развития корневой системы и повышения эффективности расхода питательных веществ при прорастании. Увеличение температуры воздуха в июне способствовало прогреву пахотного горизонта до 17,4°C. Развитие яровой пшеницы продолжалось в благоприятных условиях. Положительная температура в это период наиболее важна, так как идёт созревание зерновки, от которой зависит урожайность. Максимальная температура почвы 18,9°C отмечена в августе в слое 0-10 см, что так же как и в 2016 г. благоприятно отразилось на развитии почвенной биоты.

2018 год. Низкие температуры воздуха в мае этого года способствовали медленному прогреванию пахотного слоя. Температура верхнего слоя (0-10 см) почвы была на 3,5-4,4°C ниже, чем в предыдущие года. В нижележащих слоях температура не превышала 8-9°C, что в свою очередь замедляло развитие яровой пшеницы и снижало активность микробиоты. К фазе кущения почва прогрелась уже до 20,7-22,2°C и не снижалась до самой уборки, что благоприятно повлияло на численность целлюлозоразлагающей микробиоты, а соответственно и на интенсивность убыли массы полотна. Из-за отклонения от оптимума температурного режима в критические периоды

развития яровой пшеницы получить максимальную урожайность не удалось. Фактическая урожайность по итогам вегетационного периода составила 5,54 т/га.

2019 год. За период вегетации яровой пшеницы 2019 г. температура воздуха была невысокой и составила в среднем 15,9°C с небольшими декадными перепадами. Это в свою очередь отразилось на температуре почвы, которая в начале мая прогрелась всего до 8,4-9°C. К фазе цветения температура почвы достигла 16°C в слое почвы 0-10 см, что соответствует оптимальному значению для развития растений. По отношению к предыдущим годам температура этого периода была минимальной, разница составила от 1,4 до 6,2°C. Но несмотря на это совокупность накопленного тепла, влаги и внесение минеральных удобрений способствовало получению планируемых урожаев.

К периоду уборки происходило закономерное снижение температуры почвы по всему пахотному слою до 15-14°C.

2020 год. За годы исследований 2020 г. был самым теплым. Устойчивая, ясная и солнечная погода способствовала аккумуляции тепла в почвенной толще по всему пахотному слою. Температура почвы в слое 0-10 см перед посевом составила 23,4°C. В более глубоких слоях температура также была высокой и составила 19,0-16,7°C. В фазу цветения листовая поверхность создавала свой температурный микроклимат, который, несмотря на высокую температуру воздуха, обеспечивал снижение температуры почвы до 17,2-14,6°C. Август месяц отличался превышением среднемноголетних значений по температуре воздуха и превысил норму. В связи с этим температура почвы в этот период была максимальной за все 5 лет исследований и составила 26,4°C в слое 0-10 см; 24,8°C в слое 10-20 см и 22,9°C в слое почвы 20-30 см. При этом отмечался пик микробиологической активности и получение максимальной урожайности яровой пшеницы.

Таким образом, температура пахотного слоя чернозёма выщелоченного зависит от среднесуточной температуры воздуха; от степени развитости

листового аппарата зерновых культур, препятствующего перегреву и физическому испарению воды.

3.2 Влажность почвы

Наряду с температурой почвы одним из важных аспектов получения высокого урожая яровой пшеницы является поддержание благоприятной водообеспеченности почвы, оказывающей значительное влияние на ее развитие в течение вегетации.

Вода в почве необходима не только для растений, но и для почвенной микробиоты. Оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов создаются при 60% от полной влагоемкости почвы. При этом важно отметить, что зависимость всех видов бактерий в оптимальной увлажненности почвы выше, чем актиномицетов и грибов. В период достаточного увлажнения активно протекают процессы аммонификации и нитрификации. При длительном иссушении почвы активная деятельность почвенных микроорганизмов снижается.

Внесение удобрений не оказывает прямого влияния на начальные запасы воды в почве. Но, стимулируя растения в период вегетации, они препятствуют физическому испарению воды из пахотного слоя. На естественном агрофоне смыкание рядков в посевах зерновых культур происходит значительно позже, в сравнении с удобренными вариантами. На полях, где используются высокие дозы минеральных удобрений, растения в разы увеличивают биомассу и потребляют воду в большем количестве, чем на неудобренных полях. Эффективность расхода, выражаемая коэффициентом водопотребления значительно выше – на создание одного центнера зерна яровая пшеница может потреблять 6-8 мм, а на полях с естественным агрофоном этот показатель достигает 12-15 мм на тонну зерна (Старицына Т.А., Шерстобитов С.В., 2019).

В период всходов и кущения яровой пшеницы влажность почвы в слое 0-30 см находилась на уровне 25-27%, отклонения по вариантам были, но не

существенны, что объясняется единой системой обработки почвы. Влагообеспеченность по шкале увлажнённости в период прорастания яровой пшеницы была неудовлетворительной. Особенно это проявлялось в 2016 г. и отдельные периоды 2017 г., когда стояла жаркая погода, а количество осадков было в разы меньше среднееголетних значений.

В фазу цветения, несмотря на большое количество осадков, влажность пахотного слоя была ниже, чем в фазу кущения и составила 19% (табл. 2), что обусловлено физическим испарением влаги из пахотного слоя, которому способствовала высокая температура воздуха. Несмотря на то, что внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 6,0 т/га зерна способствовало нарастанию биомассы пшеницы, на запасы влаги в почве их влияния не выявлено. Влажность на удобренных вариантах по пахотному слою варьировала от 21 до 23%, однако следует отметить, что она снижалась по почвенному профилю и была минимальной в слое 20-30 см как на контроле, так и на вариантах с внесением минеральных удобрений.

Таблица 2 – Динамика влажности пахотного слоя чернозема выщелоченного под посевами яровой пшеницы при различном уровне минерального питания, % от массы почвы (2016-2020 гг.)

Вариант	Слой, см	Кущение	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	0-10	25±1	21±1	29±2
	10-20	27±2	20±1	28±2
	20-30	26±3	16±1	22±2
N ₄₀ P ₇₅	0-10	24±2	20±2	25±3
	10-20	25±1	22±2	24±2
	20-30	24±3	21±1	21±1
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	24±2	22±1	30±2
	10-20	28±2	22±2	21±1
	20-30	25±3	17±2	20±2
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	20±1	24±1	27±3
	10-20	25±2	24±1	24±3
	20-30	26±3	20±1	18±1
НСР ₀₅ для фактора А (фазы вегетации) – 2%; для фактора В (уровень питания) – 3%; для фактора С (слой) – 3%				

Перед уборкой содержание влаги в верхнем 10 см слое почвы было максимальным. На контроле влажность составила 29%, на удобренных вариантах варьировала в пределах 25, 30 и 27% соответственно. Это связано с выпадением обильных осадков в конце лета в отдельные годы. В дальнейшем отмечено снижение влажности почвы по пахотному горизонту. На вариантах с внесением удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га в этот период продолжалось активное потребление влаги растениями пшеницы, поэтому запасы влаги были – минимальными 18-20% соответственно. В 2016 и 2020 гг. на максимально удобренных вариантах влажность почвы снижалась до 10-11%, а в 2017 г. отмечено снижение влажности до 4-9% (приложения В-Ж).

Несмотря на сильные изменения влажности по годам, по вариантам и по слоям, было установлено, что с повышением уровня минерального питания влажность пахотного слоя во второй половине вегетации яровой пшеницы уменьшается. С выпадением осадков разница между вариантами постепенно нивелируется. Установлено, что перед посевом яровой пшеницы слой 0-10 см характеризовался отклонением влажности от оптимума. В более глубоких слоях условия увлажнения были благоприятными для развития микробиоты. В период посев-кущение тенденция сохранялась. После смыкания рядков и до фазы цветения в приземном слое формировался благоприятный микроклимат, который положительно влиял на влажность пахотного слоя. Вторая половина вегетации характеризовалась иссушением почвы под действием физического испарения и транспирации воды. Влажность 0-20 см слоя почвы отличалась от оптимума для почвенной микробиоты.

ГЛАВА 4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

4.1 Изменение численности микробиоты чернозема выщелоченного под действием минеральных удобрений

Значительную долю в микробной биомассе чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья занимают аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии. Перед посевом яровой пшеницы численность аммонификаторов в слое 0-30 см на контроле составляла 6,1 млн. КОЕ/г почвы (табл. 3, приложения М, П, С).

Таблица 3 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на численность физиологических групп микроорганизмов, осуществляющих трансформацию азота в почве, млн. КОЕ/ г почвы (2018-2020 гг.)

Вариант	Аммонификаторы (МПА)			Нитрификаторы (олигонитрофилы) (ГА)			Иммобилизаторы азота (КАА)		
	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка
Без удобрений	6,1	5,2	3,5	8,0	6,1	5,6	4,2	9,3	3,4
N ₄₀ P ₇₅	6,7	7,3	3,7	8,0	6,2	5,5	4,2	8,9	3,6
N ₁₅₀ P ₂₀₀	7,7	5,6	6,1	6,2	8,0	6,3	6,5	7,8	5,4
N ₁₈₅ P ₁₆₀	9,5	4,7	10,7	5,0	7,6	7,7	6,1	5,6	5,1

На варианте с внесением азотно-фосфорных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна численность микроорганизмов этой же группы на 10% превышала контроль. Особое внимание необходимо уделить вариантам с высоким агрофоном. При систематическом внесении удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна численность аммонификаторов была существенно выше контроля – 7,7 и 9,5 млн. КОЕ/г

почвы. Это обусловлено последствием минеральных удобрений, вносимых в прошлые годы.

В фазу цветения численность аммонифицирующих бактерий на контроле была на 15% ниже, чем при посеве. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна оказало благоприятное воздействие на развитие данной группы микроорганизмов. Их численность превышала контроль почти на 30%. При внесении возрастающих доз минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна 5,0 и 6,0 т/га зерна заметно резкое снижение их численности до 4,7 млн. КОЕ/г почвы, что может быть связано с активным потреблением питательных элементов растениями яровой пшеницы.

Перед уборкой численность аммонификаторов на варианте без внесения минеральных удобрений и на варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна была на одном уровне 3,5-3,7 млн. КОЕ/г почвы. Дальнейшее повышение уровня минерального питания стимулировало рост их численности. При внесении удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га микробная масса аммонифицирующих бактерий превышала контроль почти в 2 раза и достигала 6,1 млн КОЕ/г почвы. На максимальном агрофоне их численность составила 10,7 млн. КОЕ/г почвы, что более чем в 3 раза превышало контроль.

Следующий за аммонификацией этап высвобождения азота путем разложения органических азотсодержащих соединений осуществляется нитрифицирующими бактериями. Численность олигонитрофилов перед посевом на контроле составила 8 млн. КОЕ/г почвы. Внесение низких доз минеральных удобрений не оказало существенного влияния на их развитие. Повышение агрофона подавляло развитие нитрификаторов, снижая их численность на 23 и 38% соответственно относительно контроля. В фазу цветения отмечена обратная закономерность. Численность нитрифицирующих бактерий на контроле и варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность зерна 3,0 т/га между собой отличалась

незначительно. При этом была ниже на 23%, чем при посеве. При внесении удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна численность нитрификаторов увеличилась до 8 и 7,6 млн. КОЕ/г почвы. К моменту уборки их количество вновь снижалось на контроле и на варианте с невысоким агрофоном, но увеличивалось на вариантах с максимальным насыщением минеральными удобрениями.

Численность бактерий-иммобилизаторов азота при посеве на контроле и на варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна была одинаковой и составила 4,2 млн. КОЕ/г почвы. На вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна произошло увеличение в среднем на 33,3%.

На контроле в фазу цветения яровой пшеницы их количество с применением NP на 3,0 т/га зерна было максимальным по сравнению с другими группами бактерий в этот же период. Их численность составила 9,3-8,9 млн. КОЕ/г почвы соответственно. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна происходит снижение до 7,8 млн. КОЕ/г почвы. На варианте с максимальным агрофоном происходит угнетение иммобилизирующих бактерий, их численность на 40% меньше контроля. Уменьшение количества иммобилизаторов азота в период цветения сохраняется до момента уборки, составляя 3,4-3,6 млн. КОЕ/г почвы на контроле и на варианте с внесением NP на 3,0 т/га зерна. На варианте с внесением NP на 5,0 т/га зерна отмечается увеличение этой группы микроорганизмов до 5,4 млн. КОЕ/г почвы, что выше контроля на 37%. Вариант с внесением NP на планируемую урожайность 6,0 т/га зерна незначительно отличался от предыдущего.

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на азотный режим почвы можно установить путем сопоставления коэффициента минерализации и иммобилизации Мишустина. Расчеты показали, что в весенний период коэффициент минерализации в пахотном слое чернозема выщелоченного незначительно варьировал от 0,6 до 0,8 ед. (рис. 4). Это указывает на процесс

микробиологического поглощения минерального азота, что приводит к ухудшению азотного режима пахотных почв и является теоретическим обоснованием необходимости использования азотных удобрений в весенний период в условиях Северного Зауралья.

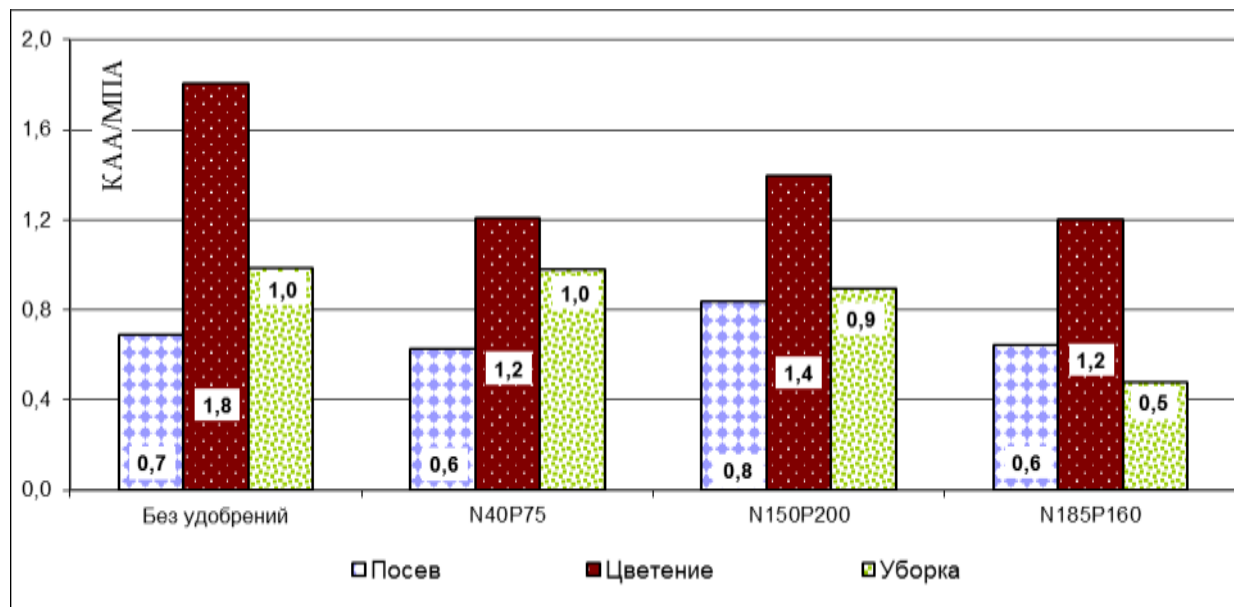


Рисунок 4 – Динамика коэффициента минерализации и иммобилизации Мишустина (КАА/МПА) при внесении минеральных удобрений, ед. (2018-2020 гг.)

В период цветения на контроле коэффициент Мишустина увеличился до максимальных значений – 1,8 ед., что указывает на интенсивную минерализацию органического вещества почвы и высвобождение из него азота. При внесении минеральных удобрений данный коэффициент уменьшился до 1,2-1,4 ед., что на 22-33% ниже значений контроля. Данный факт указывает на негативное воздействие минеральных удобрений на минерализующих азот бактерий и актиномицетов.

Перед уборкой урожая коэффициент мобилизации на контроле и на варианте с внесением минеральных удобрений на планируемые урожайности 3,0 и 5,0 т/га зерна был одинаковым и составил 0,9-1,0 ед., что в свою очередь свидетельствует о сбалансированности процессов минерализации и иммобилизации азота в пахотном черноземе. На варианте с максимальным агрофоном (NP на 6,0 т/га зерна) коэффициент Мишустина достиг

минимальных величин – 0,5 ед., что указывает на поглощение минерального азота удобрений почвенной микрофлорой. Для Северного Зауралья это является положительным моментом, поскольку существенно уменьшается вероятность вымывания неизрасходованного минерального азота в осенний и весенний периоды.

Наиболее интересным показателем, сочетающим в себе активность микрофлоры и трансформацию почвенного органического вещества, является коэффициент олиготрофности. Наши расчеты показали, что в весенний период микрофлора активно разрушает почвенные органические вещества на вариантах с низким агрофоном (контроль, NP на 3,0 т/га). Коэффициент олиготрофности на них составил 1,3 и 1,2 ед. соответственно (рис. 5).

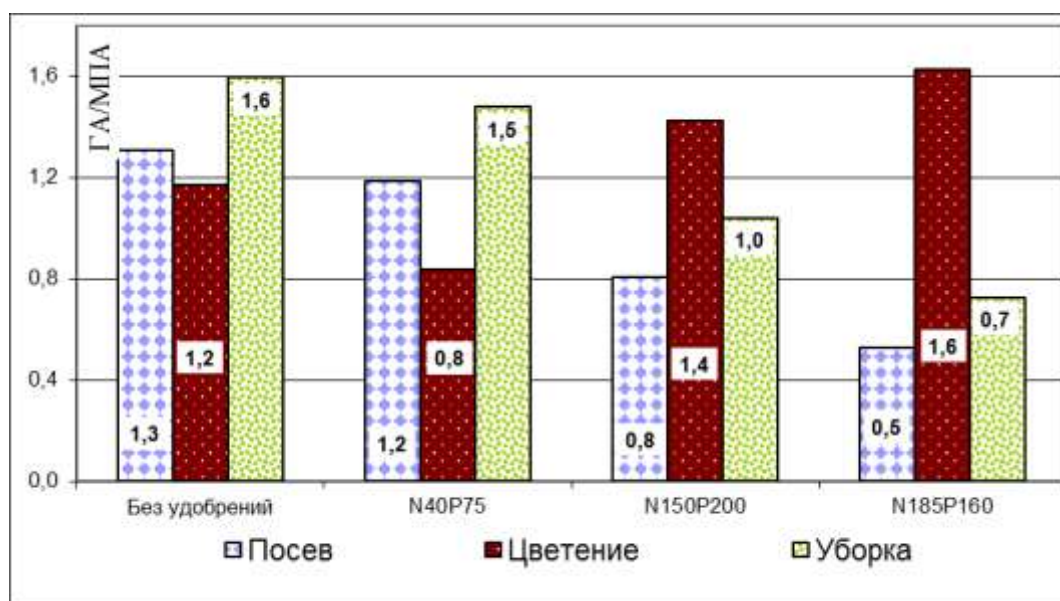


Рисунок 5 – Коэффициент олиготрофности чернозема выщелоченного при внесении возрастающих доз минеральных удобрений, ед. (2018-2020 гг.)

На участках, где систематически вносили высокие дозы удобрений (NP на 5,0 и 6,0 т/га), этот показатель был существенно ниже и достигал 0,8 и 0,5 ед. соответственно. Данный факт указывает на потенциальное гумусообразование пахотного слоя чернозема при использовании высоких доз минеральных удобрений. Нужно учитывать, что при дефиците растительных остатков положительный баланс гумуса не будет достигнут.

К моменту цветения, которое приходится на первую половину июля, коэффициент олиготрофности на контроле оставался на прежнем уровне – 1,2 ед. относительно весеннего периода. Это свидетельствует о том, что процесс минерализации органического вещества преобладает над гумусообразованием в пахотном черноземе при отсутствии минеральных удобрений. В конце вегетации минерализация существенно возрастает, о чем свидетельствует повышение коэффициента до максимальных величин (1,6 ед.).

На варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна отношение микроорганизмов, растущих на голодном и мясопептонном агаре в середине лета уменьшилось до 0,8 ед., что указывает на благоприятные условия для гумусообразования. При наличии достаточного количества растительных остатков можно добиться положительного баланса гумуса при систематическом внесении минеральных удобрений. К уборке на варианте с NP на 3,0 т/га азотный режим ухудшался, что приводило к резкому росту численности нитрификаторов. Данный факт указывает на создание условий для активной минерализации почвенного органического вещества. Нужно отметить, что этот период достаточно короткий, поскольку почва быстро охлаждается в сентябре-октябре, тем самым существенно снижая ее биологическую активность.

Систематическое внесение высоких доз минеральных удобрений под зерновые культуры (NP на 5,0 и 6,0 т/га) привело к резкому повышению коэффициента олиготрофности до 1,4 и 1,6 ед. соответственно. Данный факт указывает на сильную минерализацию органического вещества в середине лета. Это также подтверждается исследованиями А.А. Ахтямовой (2018), которая изучала скорость разложения соломы на этих же агрофонах. В конце вегетации зерновых культур коэффициент олиготрофности снизился до 1,0 и 0,7 ед. соответственно. Это произошло за счет увеличения численности

аммонификаторов (МПА) во второй половине лета, что компенсировало активность олигонитрофилов (ГА), разрушающих органическое вещество.

Целлюлоза является одним из главных компонентов растительных остатков, а целлюлозоразлагающие микроорганизмы (педотрофы) играют огромную роль в почвообразовательном процессе. С их помощью идёт разложение стойких азотистых и безазотистых органических соединений, в том числе, входящих в состав почвенного перегноя или гумуса (Белюбченко И.С., 2016).

Перед посевом численность педотрофных микроорганизмов на контроле и на минимальном агрофоне (NP на 3,0 т/га зерна) отличалось между собой незначительно и варьировала в пределах 8,7-8,8 млн. колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы (табл. 4, приложения К, М, О). При ежегодном внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна, их численность в весенний период была на 12% выше контроля и достигала 9,9 млн. КОЕ/г почвы. При максимальном уровне минерального питания численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в весенний период была еще выше, достигая 12,0 млн. КОЕ/г почвы, что в 1,5 раза больше значений контроля. Это указывает на качественное изменение состава микробиоты черноземных почв при систематическом внесении высоких доз минеральных удобрений.

В период цветения на контроле отмечено снижение численности педотрофной микробиоты до 5,0 млн. КОЕ/г почвы. По всем вариантам с внесением минеральных удобрений отмечен рост численности данной группы микроорганизмов. При минимальных дозах минеральных удобрений их количество было выше почти в 2 раза и составило 9,8 млн. КОЕ/г почвы. Высокие дозы минеральных удобрений оказали максимальное воздействие на развитие микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, их численность возросла до 13,6-15,1 млн. КОЕ/г почвы, что на 63-67% выше значений контроля.

Перед уборкой на контроле и на минимальном агрофоне по отношению к предыдущей фазе численность педотрофов снизилась и варьировала в пределах 4,2-4,8 КОЕ/г почвы. На вариантах, где вносили более высокие дозы удобрений, их количество в почве было максимальным, достигая 16,6-17,3 КОЕ/г почвы.

Таким образом, при внесении возрастающих доз минеральных удобрений происходит достоверное увеличение численности педотрофов – коэффициент корреляции более 0,9 единиц.

Грибы (микомицеты), как и бактерии, принимают активное участие в почвообразовательном процессе, участвуя в разложении органических остатков, синтезе и минерализации гумуса (Звягинцев Д.Г. и др., 2005). Грибная микробиота в наших исследованиях оказалась самой многочисленной. В весенний период её численность по вариантам варьировала в пределах 13,4-14,0 млн. КОЕ/г почвы (приложения Н, Р, Т). В фазу цветения количество грибной микробиоты увеличилось в связи с появлением новых растительных остатков в виде корневой массы. На контроле и на варианте с невысоким уровнем минерального питания (NP на 3,0 т/га зерна) их численность была на одном уровне – 20,0 млн. КОЕ/г почвы. На максимально удобренных вариантах прослеживалось развитие этой группы микроорганизмов до 22,0 млн. КОЕ/г почвы, что на 10% выше значений контроля.

К уборке прослеживалось обратное явление – микомицеты активно развивались на контроле и на минимальном агрофоне. Внесение минеральных удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна резко угнетало грибную микробиоту, о чем свидетельствовало снижение их численности до 10 и 14,0 млн. КОЕ/г почвы соответственно. По сравнению с контролем количество микомицетов было на 64,3 и 50,0% меньше. Это может быть связано с быстрой переработкой свободных гуминовых кислот (фракция ГК_I) почвенной микробиотой при стимулировании ее высокими

дозами минеральных удобрений (Еремин Д.И., 2012; Семенов В.М., Когут Б.М., 2015; Гасанова Е.С. и др., 2019).

Большое распространение в почвах имеют актиномицеты, которые представляют собой переходную форму между бактериями и грибами. Они участвуют в разложении гумусовых веществ, наиболее обогащенных азотом.

Численность актиномицетов в наших исследованиях заметно меньше, чем других групп микроорганизмов, что может быть связано с истощением почвы и созданием благоприятных условий для развития патогенной микробиоты (Майсямова Д.Р., Абрамов Н.В., 2008). На контроле в весенний период актиномицетов насчитывалось лишь 0,5 млн. КОЕ/г почвы. Внесение минеральных удобрений, даже в минимальной дозе, стимулировало рост численности данной группы микроорганизмов. При внесении удобрений на планируемую урожайность зерна 3,0 т/га их количество увеличивалось уже на 17% относительно контроля. На варианте с NP на 5,0 т/га зерна разница с контролем составила 28,6%. На максимальном агрофоне (6,0 т/га зерна) их численность достигла 1,2 млн. КОЕ/г почвы в этот период, превышая контроль более чем в 2 раза.

В фазу цветения на контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна насчитывалось актиномицетов 0,3-0,4 млн. КОЕ/г почвы. Снижение численности данной группы микроорганизмов, по нашему мнению, связано с дефицитом почвенного азота в этот период. На варианте с NP на 5,0 т/га их численность резко увеличилась до 1,8 млн. КОЕ/г почвы и была на 83% выше значений контроля. При дальнейшем повышении уровня минерального питания происходило увеличение численности актиномицетов до 2,8 млн. КОЕ/г почвы, что выше на 89% контроля. Данный факт указывает на непосредственное влияние возрастающих доз минеральных удобрений на динамику развития актиномицетов.

Перед уборкой численность актиномицетов на контроле была максимальной и составила 1,3 млн. КОЕ/г почвы. Внесение минеральных удобрений даже в малых дозах способствовало снижению их численности на

23% относительно контроля. Высокие дозы удобрений привели к резкому снижению количества представителей этой группы микроорганизмов. На максимальном агрофоне их численность снизилась до 0,3 млн. КОЕ/г почвы, разница с контролем составила 76,5%.

Таблица 4 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на численность отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов, млн. КОЕ/г почвы (2018-2020 гг.)

Вариант (фактор В)	Аммонификаторы (МПА)			Педотрофы (ПА)			Микомицеты (Чапек)			Актиномицеты (КАА)		
	Посев (фактор А)	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка
Без удобрений	6,1	5,2	3,5	8,7	5,0	4,1	13,4	20,0	28,0	0,5	0,3	1,3
N ₄₀ P ₇₅	6,7	7,3	3,7	8,8	9,8	4,8	14,0	20,0	33,0	0,6	0,4	1,0
N ₁₅₀ P ₂₀₀	7,7	5,6	6,1	9,9	13,6	16,7	14,0	21,0	10,0	0,7	1,8	0,8
N ₁₈₅ P ₁₆₀	9,5	4,7	10,7	12,8	15,1	17,3	13,0	22,0	14,0	1,2	2,8	0,3
HCP ₀₅	А – 1,7 В – 1,3			А – 1,4 В – 1,1			А – 2,1 В – 1,7			А – 1,7 В – 1,3		

Для характеристики степени освоения органической части почвы микробиотой был рассчитан коэффициент педотрофности. Низкие его значения (<1) свидетельствуют о слабой степени вовлечения почвенного гумуса и его трансформации. Высокие индексы педотрофности (>1) указывают на усиление усвоения микроорганизмами питательных веществ из запасов гумуса (Казеев К.Ш., 2016).

Результаты исследований показали, что весной на всех вариантах с внесением минеральных удобрений коэффициент педотрофности был одинаковым и составил 1,3 ед., на контроле его значение составило 1,4 ед. (рис. 6). В фазу цветения коэффициент по вариантам резко варьировал. На контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна разница составила уже более 20% относительно контроля. Высокие дозы удобрений способствовали

развитию целлюлозоразлагающей микробиоты и увеличили коэффициент педотрофности до 2,4-3,2 ед., что в свою очередь подтверждает развитие благоприятных условий для интенсивной минерализации почвенного органического вещества.

К моменту уборки значение коэффициента педотрофности на контроле и на минимальном агрофоне варьировало в пределах 1,2-1,3 ед. и почти не отличалась от предыдущих фаз развития. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га коэффициент педотрофности составил 2,7 ед. Это может способствовать усилению освоения микроорганизмами питательных веществ из запасов гумуса. При дальнейшем увеличении уровня минерального питания отмечено снижение активности данной группы микроорганизмов и их численности. Коэффициент педотрофности перед уборкой зерновых культур составил 1,6 ед., что указывает на снижение процесса минерализации гумуса в осенний период. Причиной, по мнению Д.Р. Майсямовой (2014), является проявление эффекта угнетения микрофлоры в более поздние периоды развития яровой пшеницы в результате накопления микотоксинов в течение вегетации.

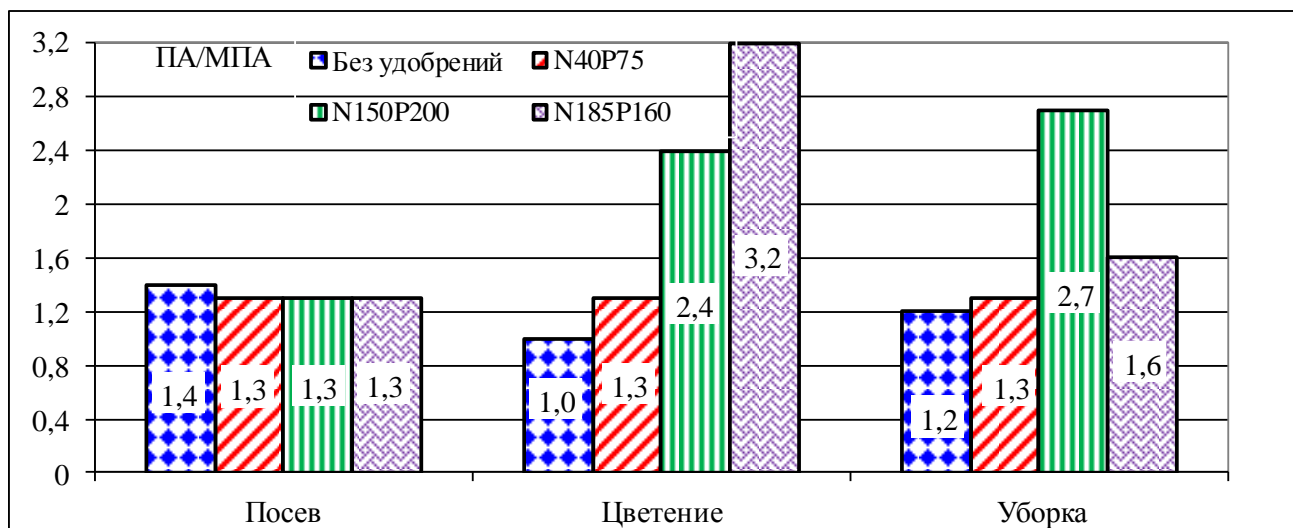


Рисунок 6 – Динамика коэффициента педотрофности при внесении минеральных удобрений, ед. (2018-2020 гг.)

Расчет показателей мицелиальных форм показал, что на всех вариантах в течение вегетации яровой пшеницы соотношение грибы/актиномицеты

меньше единицы. Перед посевом на контроле их соотношение варьировало в пределах 0,3-0,1 ед. (рис. 7). В фазу цветения на контроле и на минимальном агрофоне активно развивалась грибная микробиота, тогда как численность актиномицетов снижалась. Поэтому соотношение грибы/актиномицеты было максимальным в этот период и составило 0,7-0,6 ед. В группу почвенных грибов входит еще и патогенная микробиота, поэтому данные показатели свидетельствуют о создании благоприятных условий в почве для накопления инфекционного фона. При внесении максимальных доз азотно-фосфорных удобрений существенно возросла численность актиномицетов, поэтому на этих вариантах соотношение грибы/актиномицеты составило 0,1 ед. При развитии актиномицетов в почве заметно снижается инфекционный фон, так как актиномицеты являются антагонистами патогенной микробиоты.

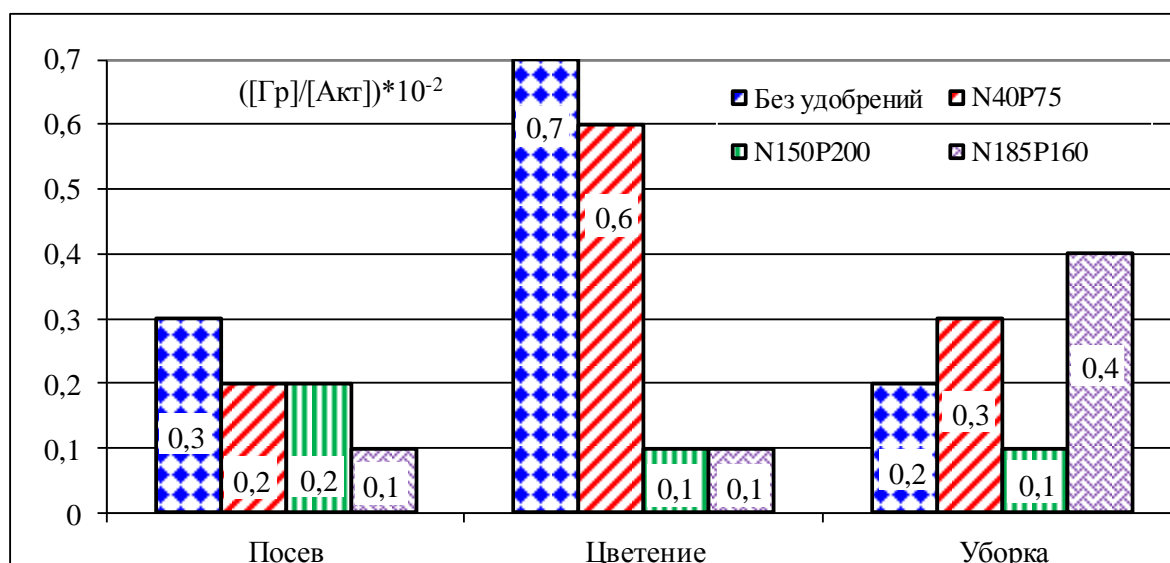


Рисунок 7 – Влияние минеральных удобрений на соотношение мицелиальных форм микроорганизмов, ед. (2018-2020 гг.)

К уборке на контроле и на минимально удобренном варианте численность грибной микробиоты значительно выросла, поэтому соотношение грибы/актиномицеты увеличилось до 0,2-0,3 ед. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна соотношение грибы/актиномицеты вновь снизилось до 0,1 ед. Этому способствовало резкое снижение численности грибной микробиоты. На

варианте с максимальным уровнем минерального питания отмечено небольшое увеличение численности микомицетов и наоборот резкое снижение численности актиномицетов. Соотношение грибы/актиномицеты при этом составило 0,4 ед. Увеличение данного соотношения в сторону грибной микробиоты может способствовать накоплению микотоксинов в почве.

Таким образом, внесение азотно-фосфорных минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна способствовало увеличению численности целлюлозоразлагающих почвенных микроорганизмов на 20% относительно контроля. Максимальное влияние на развитие педотрофной микробиоты оказало внесение минеральных удобрений в дозах, рассчитанных на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га. Численность педотрофных микроорганизмов на этих вариантах в 2,5-3,0 раза превышала контроль. Грибная микробиота в весенний период по вариантам варьировала в пределах 13,0-14,0 млн. КОЕ/г почвы. В фазу цветения их численность увеличилась до 20,0-22,0 млн. КОЕ/г почвы. Перед уборкой на контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна их численность была максимальной, составив 28,0-33,0 млн. КОЕ/г почвы. Внесение высоких доз минеральных удобрений способствовало снижению их количества до 11,0-14,0 млн. КОЕ/г почвы, это было ниже контроля на 64,3-50% соответственно.

Численность актиномицетов была самой низкой по фазам вегетации яровой пшеницы и не превышала 2,8 млн. КОЕ/г почвы. Перед посевом и в фазу цветения внесение высоких доз минеральных удобрений способствовало росту численности актиномицетов. При их увеличении в почве создаются условия для снижения инфекционного фона, что подтверждается соотношением грибы/актиномицеты – 0,1 ед. К уборке их численность снизилась до 0,3 млн. КОЕ/г почвы. Это повлияло на соотношение грибы/актиномицеты, которое в этот период составило 0,4 ед., что в свою очередь могло способствовать активному развитию патогенной микробиоты и накоплению микотоксинов. Еще большее проявление этого

процесса отмечалось в период цветения яровой пшеницы на контроле и на варианте с невысоким уровнем минерального питания. Соотношение грибы/актиномицеты составило 0,7-0,6 ед.

4.2 Скорость целлюлозоразложения в черноземе выщелоченном при внесении возрастающих доз минеральных удобрений

Микробиота выполняет важную функцию в минерализации органических остатков, поступающих в почву. Разложение целлюлозы является основным и самым масштабным деструкционным процессом в почве, который осуществляется группой целлюлозолитических микроорганизмов. Интенсивность разложения целлюлозы – один из показателей общей биологической активности почвы и ее плодородия.

Степень разложения целлюлозы зависит как от температуры, увлажнения, аэрации почвы, так и дозы минеральных удобрений, обработки почвы и растительности. Уровень влияния разного минерального фона на интенсивность целлюлозоразложения приведен в таблице 5, а также в приложении К.

В среднем за годы исследований на варианте без внесения минеральных удобрений в слое 0-10 см разложение целлюлозы за 3 месяца экспозиции составило $28 \pm 7\%$ от исходной массы полотна. Интенсивность разложения по мере углубления не отличалась от слоя 0-10 см, при наименьшей существенной разнице (фактор В) 3%. Следует отметить, что в первый месяц экспозиции разложение было максимальным и находилось в зависимости от слоя на уровне 15-18%. Во второй месяц экспозиции разложение полотна было заметно ниже предыдущего и составляло всего 3-6% по исследуемому горизонту. Данный факт говорит о сильной зависимости процесса разложения целлюлозы от погодных условий вегетационного периода – размах значений составил 13-32%. В третий месяц экспозиции разложение в верхнем слое составило 10%, затем снижалось до 8% в слое 10-20 см и до 6%

в слое 20-30 см. Следует заметить, что зависимость разложения полотна от внешних факторов была средней и чуть выше средней.

Таблица 5 – Влияние возрастающего уровня минерального питания на интенсивность целлюлозоразложения, % от исходной массы (2016-2020 гг.)

Вариант (фактор А)	Слой, см (фактор В)	Срок экспозиции, мес. (фактор С)			Описательная статистика					
		1	2	3	1 эксп.		2 эксп.		3 эксп.	
					<i>max-min</i>	<i>Cv, %</i>	<i>max-min</i>	<i>Cv, %</i>	<i>max-min</i>	<i>Cv, %</i>
Без удобрений	0-10	15±8	18±7	28±7	16	51	14	36	10	24
	10-20	18±8	22±5	30±9	20	43	13	23	20	28
	20-30	17±7	23±5	29±7	17	42	11	21	17	26
N ₄₀ P ₇₅	0-10	15±5	26±6	37±11	10	32	18	24	25	29
	10-20	18±4	29±9	36±11	10	24	19	31	23	30
	20-30	19±4	34±5	39±5	8	23	12	16	12	13
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	18±10	37±7	49±11	19	52	16	20	24	23
	10-20	19±8	41±8	51±12	19	42	23	20	34	24
	20-30	27±6	37±10	46±9	69	96	25	27	23	20
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	22±8	44±11	56 ±9	27	58	28	26	24	16
	10-20	24±9	48±16	59±11	20	37	42	32	28	19
	20-30	23±9	42±5	55±6	23	39	11	11	15	11
НСР ₀₅ для: факторов: А – 2%; В – 3%; С – 5%.										

Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна способствовало усилению микробиологической активности – убыль массы полотна за 3 месяца экспозиции по слоям составила 36-39%, что на 17-25% выше значений контроля. Максимальная активность целлюлозоразложения так же, как и на контроле была в первый месяц экспозиции и составляла от 15 до 19%, стандартное отклонение варьировало в пределах 4-5 ед. Данный факт объясняется совокупностью улучшения азотного и водного режима в почве в начале лета. В этот период размах максимума и минимума был незначительным, составляя 8-10 ед. Коэффициент вариации был средним, в слое 0-10 см чуть выше среднего. Во второй месяц экспозиции разложение целлюлозы уменьшилось до 5-11% от исходной массы, но всё равно было

выше значений контроля. Во второй экспозиции прослеживалось увеличение размаха между максимумом и минимумом, зависимость деструкционных процессов от внешних факторов была на уровне 16-31%. В третий месяц экспозиции разложение клетчатки так же как в предыдущий месяц не превышало 11%, стандартное отклонение составило $\pm 5-11$ ед. Интенсивность целлюлозоразложения в верхних слоях почвы от внешних условий зависела больше, чем в нижележащем слое 20-30 см, коэффициент вариации составил 13%.

Внесение удобрений на получение планируемой урожайности 5,0 т/га зерна усиливало процесс целлюлозоразложения в период второй и третьей экспозиции, в первую экспозицию значения были схожи с контролем и с минимально удобренным вариантом (NP на 3,0 т/га зерна). Важно отметить, что интенсивность разложения напрямую зависела от всех внешних факторов (температура, влажность, минеральные удобрения), особенно в слое 20-30 см, где коэффициент вариации составил 96%. Во вторую экспозицию замечена высокая активность целлюлозолитической микробиоты, деятельность которой средне зависела от внешних условий согласно коэффициенту вариации, который составил по слоям 16-25%. Убыль массы полотна за вторую экспозицию по слоям достигла 19% соответственно. В третий месяц экспозиции убыль массы полотна в верхних слоях почвы составила 10-12%. В слое 20-30 см разложение не превышало 9%, стандартное отклонение и размах максимальных и минимальных значений варьировали в небольших пределах. Интенсивность процесса разложения на 20-24% зависела от условий внешней среды. Температура и влажность почвы в этот период были оптимальными.

Стимулирующее действие на активность разложения целлюлозы при внесении минеральных туков на планируемую урожайность 6,0 т/га зерна отмечалось лишь в первые два месяца экспозиции, а в августе это действие снизилось, и убыль полотна была минимальной. За первый месяц экспозиции убыль полотна на этом варианте составила 22-24%. Во второй месяц

экспозиции вновь наблюдалась высокая активность целлюлозоразложения, достигая 26% за июль. В этот период в почве активизировалась работа грибной микробиоты, которая совместно с минеральными удобрениями способствовала активному разложению целлюлозы. Доля утраченного полотна на максимальном агрофоне (NP на 6,0 т/га зерна) превышала контроль на 50-80% в зависимости от слоя почвы. Зависимость этого процесса от внешних факторов была невысокой, в слое 20-30 см даже слабой и составила 11%. В третий месяц экспозиции активность целлюлозоразложения по слою находилась примерно на одном уровне 12-13%, что превышало значения контроля в 1,5-2 раза.

Наши расчеты показали, что интенсивность целлюлозоразложения преимущественно зависит от нескольких факторов. Наибольшее влияние оказали минеральные удобрения, доля их вклада составила – 62% (табл. 6). Этим объясняется столь сильная убыль льняного полотна на удобренных вариантах в годы исследований.

Таблица 6 – Результаты трехфакторного дисперсионного анализа интенсивности разложения целлюлозы (2016-2020 гг.)

Источник вариации	Сумма квадратов	Сумма степеней свободы	Дисперсия	F _{факт}	F _{таб 095}	Влияние, %
Уровень минерального питания (фактор А)	19585,3	3	6528,4	2072,5	2,7	61,3
Слой почвы (фактор В)	90,1	2	45,1	14,3	3,1	0,3
Погодные условия (фактор С)	7486,8	4	1871,7	594,2	2,5	23,4
Взаимодействие: АВ	326,1	6	54,4	17,3	2,2	1,0
АС	1511,1	12	125,9	40,0	1,8	4,7
ВС	998,8	8	124,8	39,6	2,0	3,1
ABC	1572,3	24	65,5	20,8	1,6	4,9

Следующим фактором являются погодные условия, в частности температура и влажность. Доля их вклада в процесс разложения целлюлозы

составила 24%. Совокупное влияние факторов (АС; ВС и АВС) было незначительным – их доли вклада в целлюлозоразложение не превышали 5%.

Таким образом, за годы исследований установлено, что в первый месяц экспозиции внесение удобрений на планируемые урожайности 3,0 и 5,0 т/га зерна не оказало влияния на процесс разложения целлюлозы. Значения были на уровне контроля. Дальнейшее повышение уровня минерального питания стимулировало процесс разложения целлюлозы на варианте с внесением NP на 6,0 т/га зерна, превышая контроль в среднем на 28%. Более заметное действие минеральных удобрений на целлюлозоразложение отмечено во второй месяц экспозиции. За 2 месяца вегетации на варианте с минимальным уровнем минерального питания (NP на 3,0 т/га зерна) разложение клетчатки составило 26-34%, при этом 11-15% из них разрушалось в июле. Тогда как на контроле за этот период разложилось порядка 18-23% органического материала от исходной массы ткани, из них на июль приходилось всего 3-6%. Дальнейшее увеличение доз минерального питания способствовало повышению целлюлозной активности в 1,5 раза, по отношению к контролю разница достигала более 90%. В этот период микробиота в слое 0-20 см вела активную работу, так как температура и влажность почвы были оптимальными. За период третьей экспозиции разложение на контроле и на варианте с максимальной насыщенностью удобрениями было невысоким, составляя не более 10-13% от исходной массы ткани соответственно.

По всем слоям на вариантах с внесением минеральных удобрений за период вегетации пик целлюлозной активности отмечался в июле в слое 10-20 см, являясь наиболее благоприятным по температурному, водному и питательному режимам.

4.3 Ферментативная активность чернозема выщелоченного

Ферментативная активность почвы это один из показателей ее биологической активности, характеризующий потенциальную способность системы сохранять гомеостаз. Перед посевом на контроле и на варианте с

низким агрофоном полифенолоксидазная (ПФО) активность находилась на уровне 0,0315-0,0335 мг бензохинона/10 г почвы в час – разница между вариантами не превышала 6% ($НСР_{05} = 0,002$) (табл. 7, приложения У-Х). На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна активность полифенолоксидазы была почти на 40% выше относительно контроля. Это говорит о том, что при многолетнем внесении минеральных удобрений, в дозах, обеспечивающих урожай зерновых культур до 5,0 т/га, на момент посева микробиота уже активна, поэтому содержание ПФО на черноземе возрастает. Данный факт указывает на благоприятные условия для трансформации почвенного органического вещества и гумификации растительных остатков. С повышением дозы минеральных удобрений активность полифенолоксидазы в почве снижается – коэффициент корреляции составляет -0,85 ед., что соответствует отрицательной тесной связи. На максимальном агрофоне отмечена минимальная активность этого фермента – 0,0257 мг бензохинона/10 г почвы в час, что на 20% ниже значений контроля.

В фазу цветения отмечено резкое варьирование полифенолоксидазной активности по вариантам, следует отметить, что на максимальном агрофоне она оставалась минимальной. На варианте без внесения минеральных удобрений полифенолоксидазная активность составила 0,0203 мг бензохинона/10 г почвы в час, что по шкале Д.Г. Звягинцева соответствовало очень низкому уровню. На варианте с NP на 3,0 т/га активность этого фермента увеличилась почти в 2 раза. На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна ферментативная активность также была выше контроля и составила 0,0321 бензохинона/10 г почвы в час. На максимальном агрофоне активность полифенолоксидазы снизилась до 0,0198 мг бензохинона/10 г почвы в час, но существенно не отличалась от контроля.

К моменту уборки невысокая активность полифенолоксидазы сохранилась. На контроле в этот период она находилась на отметке 0,0276 мг

бензохинона/10 г почвы в час. На минимальном агрофоне (NP на 3,0 т/га зерна) содержание фермента было на 13% выше контроля. Вариант с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна от контроля существенно не отличался, разница составила менее 4%. На максимальном агрофоне (NP на 6,0 т/га) вновь отмечено снижение полифенолоксидазной активности до 0,0241 мг бензохинона/10 г почвы в час, что на 13% ниже контроля. Данный факт, вероятно, свидетельствует о том, что внесение высоких доз минеральных удобрений угнетает грибную микробиоту, которая выделяет ПФО (Ананьева Ю.С., 2008, Безуглова О.С., 2019).

Таблица 7 – Влияние минеральных удобрений на полифенолоксидазную активность чернозема выщелоченного (2018-2020 гг.)

Время отбора проб	Наличие полифенолоксидазы (ПФО) (мг бензохинона/10 г почвы в час)				Активность ПФО относительно контроля, %		
	Без удобрений	N ₄₀ P ₇₅	N ₁₅₀ P ₂₀₀	N ₁₈₅ P ₁₆₀	N ₄₀ P ₇₅	N ₁₅₀ P ₂₀₀	N ₁₈₅ P ₁₆₀
Посев	0,0315	0,0335	0,0438	0,0257	6,3	39,0	-18,4
Цветение	0,0203	0,0386	0,0321	0,0198	90,1	58,1	-2,5
Уборка	0,0276	0,0316	0,0287	0,0241	14,5	4,0	-12,7
НСР ₀₅	0,002	0,003	0,005	0,005	-	-	-

Характер распределения активности пероксидазы по вариантам аналогичен и совпадает с характеристикой предыдущего окислительно-восстановительного фермента. Перед посевом пероксидазная активность находилась на уровне 0,0369 мг бензохинона/10 г почвы в час (табл. 8; приложения Р-Т). Внесение минеральных удобрений до 3,0 т/га способствовало увеличению ее активности по сравнению с контролем на 7%. Дальнейшее повышение уровня минерального питания снижало ее активность. На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна пероксидазная активность снизилась на 20% по отношению к контролю и составила 0,0292 мг

бензохинона/10 г почвы в час. На максимальном агрофоне активность пероксидазы увеличилась до 0,0321 мг бензохинона/10 г почвы в час и была выше по сравнению с предыдущим вариантом, но оставалась на 13% ниже значений контроля.

Таблица 8 – Влияние минеральных удобрений на активность пероксидазы в черноземе выщелоченном (2018-2020 гг.)

Время отбора проб	Наличие полифенолоксидазы (ПФО) (мг бензохинона/10 г почвы в час)				Активность ПФО относительно контроля, %		
	Без удобрений	N ₄₀ P ₇₅	N ₁₅₀ P ₂₀₀	N ₁₈₅ P ₁₆₀	N ₄₀ P ₇₅	N ₁₅₀ P ₂₀₀	N ₁₈₅ P ₁₆₀
Посев	0,0369	0,0398	0,0292	0,0321	7,9	-20,9	-13,0
Цветение	0,0454	0,0350	0,0366	0,0315	-22,9	-19,4	-30,6
Уборка	0,0497	0,0425	0,0311	0,0297	-14,5	-37,4	-40,2
НСР ₀₅	0,005	0,005	0,004	0,007	-	-	-

В фазу цветения на контроле отмечена максимальная пероксидазная активность, которая составила 0,0454 мг бензохинона/10 г почвы в час. Внесение минеральных удобрений даже в невысоких дозах оказало негативное влияние на активность пероксидазы, снижение составило 23% по отношению к контролю. На варианте с NP на 5,0 т/га разница составила почти 20%. На этих вариантах создались условия для синтеза гумусовых веществ. Однако на максимальном агрофоне разница с контролем составила уже более 30%, и накопление гумуса сменилось его минерализацией.

Пред уборкой активность пероксидазы оставалась максимальной на контроле и находилась на уровне 0,0497 мг бензохинона/10 г почвы в час. На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна 3 т/га зерна она снизилась на 13% относительно контроля. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна и выше ингибирует пероксидазную активность, снижая ее уже на 37-40% по отношению к контролю.

Активность полифенолоксидазы и пероксидазы в почвах исследуется параллельно. В практическом аспекте имеет значение не количество этих ферментов, а их соотношение, которое получило название – коэффициент гумификации ($K_{\text{гум}}$). Если соотношение ПФО/ПО меньше единицы, то процесс распада гумуса идёт активнее, чем его синтез. Если соотношение ПФО/ПО больше единицы, то процессы гумификации в данном случае являются преобладающими. Необходимо отметить тот факт, что $K_{\text{гум}}$ не отражает фактическое гумусовое состояние почв, а лишь только показывает благоприятные условия для гумификации и минерализации почвенного органического вещества.

Наши исследования показали, что в весенний период соотношение ПФО к ПО на контроле и на вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 6,0 т/га зерна варьировало в пределах 0,8-0,9 ед. (рис. 8). На варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{200}$, что соответствовало получению планируемой урожайности 5,0 т/га – это соотношение увеличилось до 1,5 ед. и было выше контроля на 40%. Данный факт говорит о развитии благоприятных условий для процессов гумификации.

К середине лета на контроле отмечено развитие устойчиво-благоприятных условий для процессов минерализации органического вещества, коэффициент при этом составил 0,4 ед. На вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 5,0 т/га зерна коэффициент накопления гумуса было выше контроля на 64-56%, и варьировал в пределах 1,1-0,9 ед. соответственно. Такие значения коэффициента гумификации говорят об относительном равновесии между процессами синтеза и распада гумусовых веществ. Дальнейшее повышение уровня минерального питания (NP на 6 т/га зерна) способствовало снижению ферментативной активности и как следствие привело к уменьшению коэффициента накопления гумуса, который составил 0,6 ед. Это является доказательством, что при внесении высоких доз минеральных удобрений на

пашне в Западной Сибири создаются благоприятные условия для минерализации органического вещества, в результате чего высвобождался минеральный азот, необходимый растениям. При дефиците растительных остатков на полях, где вносятся удобрения, процессы минерализации будут преобладать над гумификацией, что приведет к ухудшению основных свойств почв.

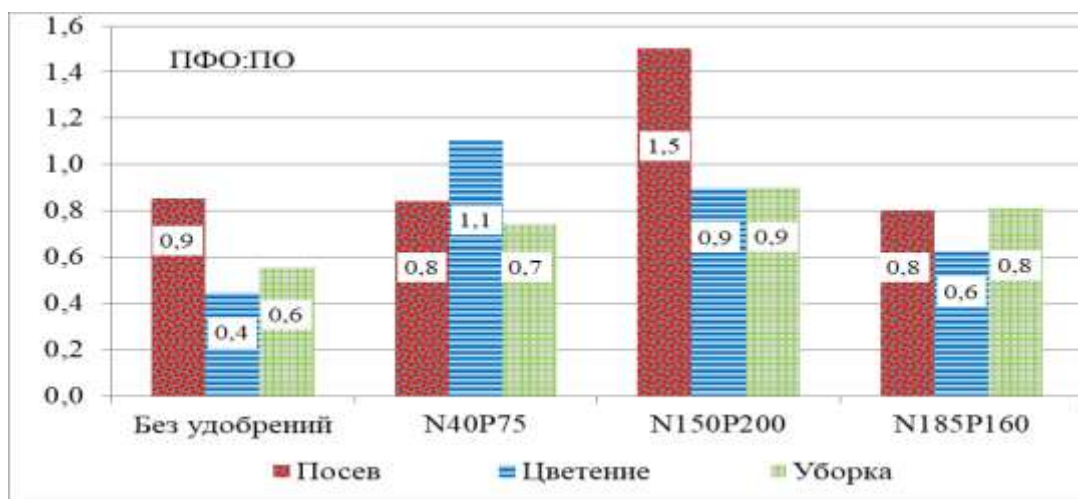


Рисунок 8 – Динамика коэффициента накопления гумуса в черноземе выщелоченном при внесении возрастающих доз минеральных удобрений, ед. (2018-2020 гг.)

К моменту уборки на контроле, не смотря на повышение коэффициента гумификации до 0,6 ед. благоприятные условия для минерализации гумуса сохранились. На минимальном агрофоне данный коэффициент был на 36,4% ниже, чем в фазу цветения яровой пшеницы. На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна сохранялся баланс синтеза и распада органических веществ - коэффициент гумификации составил 0,9 ед. На варианте с максимальной насыщенностью минеральных веществ этот же показатель был на уровне 0,8 ед., что на 25% выше значений в период цветения яровой пшеницы.

В результате проведённых исследований было установлено, что активность полифенолоксидазы на естественном агрофоне снижалась от посева к уборке и варьировала в пределах 0,0315-0,0276 бензохинона/10 г почвы в час. Минеральные удобрения на планируемые урожайности 3,0

(N₄₀P₇₅ д.в.) и 5,0 т/га зерна (N₁₅₀P₂₀₀ д.в.) увеличивали её активность на 22-23% по отношению к варианту без удобрений. При внесении максимальных доз азотно-фосфорных удобрений (N₁₈₅P₁₆₀ д.в.) полифенолоксидазная активность снижалась в среднем на 12% по отношению к контролю.

Пероксидазная активность чернозема выщелоченного была максимальной на контроле по всем фазам развития яровой пшеницы и варьировала в пределах 0,0369-0,0497 мг бензохинона/10 г почвы в час. Внесение минеральных удобрений даже в невысоких дозах снижало активность пероксидазы на 19% относительно контроля. На варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна эта разница составила 25%, на максимальном агрофоне она достигла 27% соответственно.

Соотношение активности этих ферментов показало, что оптимальные условия для гумусообразования создаются при внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность до 5,0 т/га зерна включительно на фоне заправки соломы. Многолетнее использование высоких доз минеральных удобрений (NP на 6,0 т/га зерна) ингибирует ферментативную активность почвы и способствует минерализации гумусовых веществ.

ГЛАВА 5 АЗОТНЫЙ РЕЖИМ И ТЕКУЩАЯ НИТРИФИКАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

5.1 Динамика нитратного азота под зерновыми культурами

Нитратный режим любых почв характеризуется высокой степенью изменчивости как во времени, так и пространстве. Однако, несмотря на это, он является не менее важным чем фосфорный и калийный режимы. Исследования агрохимиков разных регионов нашей страны показали очень тесную положительную связь между содержанием нитратов и урожайностью сельскохозяйственных культур (Гамзиков Г.П., 2004; Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р., 2017; Котченко С.Г. и др., 2017; Красницкий В.М. и др., 2020). Многолетние стационарные исследования кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья установили, что чернозем выщелоченный в весенний период характеризуется очень низкой обеспеченностью нитратным азотом – в слое 0-40 см его содержание составляет 4,2 мг/кг почвы (табл. 9, приложения Ц-Щ). Нитраты располагаются преимущественно в слое 0-20 см – 5,2 мг/кг почвы. За годы исследований их содержание варьировало в средней степени ($CV=11\%$). Глубже – их содержание уменьшается до 3,2 мг/кг почвы. Концентрация нитратов в слое 20-40 см варьировала по годам существенно сильнее чем в выше лежащем слое – CV составил 30%.

Систематическое внесение минеральных удобрений в дозах на планируемую урожайность 3,0 т/га зерновых не оказывает достоверного влияния на содержание нитратного азота в почве перед посевом. На варианте, где вносили минеральные удобрения на планируемую урожайность 5,0 т/га достоверная разница перед посевом была отмечена только в слое 20-40 см, где содержание было равным 4,2 мг/кг, что на 30% выше значений контроля ($HCp_{05}=0,3$ мг/кг).

Несмотря на высокую подвижность нитратов в почве, вариант с максимальной насыщенностью удобрениями (NP на 6,0 т/га зерна) характеризовался максимальным количеством N-NO₃. В слое 0-20 см его содержание составило 6,6 мг/кг почвы, а в слое 20-40 см – 4,8 мг/кг. Разница относительно контроля была выше значений НСР₀₅.

Расчет коэффициентов вариации показал, что многолетнее использование минеральных удобрений не оказывает достоверного уменьшения варьирования содержания нитратов перед посевом зерновых культур. Коэффициенты варьирования на удобренных вариантах в слое 0-20 см составили 11-23%. В слое 20-40 см они были значительно выше – 16-29%.

Таким образом, нами установлено, что систематическое внесение минеральных удобрений в двух культурах (яровая пшеница, овес) в трехпольном зернопаровом севообороте не оказывает существенного влияния на содержание нитратного азота перед посевом. Причинами этого являются: поглощение его однолетними травами; частичное вымывание нитратов вглубь почвенного профиля в осенне-зимний период, что было установлено ранее (Еремин Д.И., 2002).

Таблица 9 – Динамика нитратного азота при внесении минеральных удобрений, мг/кг почвы (2018-2020 гг.)

Вариант (фактор А)	Слой, см	Время отбора проб (фактор В)			
		Посев	Кушение	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-20	5,2±0,6	9,3±3,5	4,4±1,4	3,6±2,1
	20-40	3,2±1,0	6,1±2,3	2,6±1,1	1,9±1,0
N ₄₀ P ₇₅	0-20	5,2±0,6	22,1±4,2	7,9±2,0	4,3±0,5
	20-40	3,3±0,9	14,0±4,3	5,2±1,7	2,7±0,7
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	5,5±1,3	45,3±6,8	13,7±2,9	8,6±2,5
	20-40	4,2±0,7	28,3±7,8	8,9±1,5	5,1±0,8
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	6,6±1,1	57,6±8,9	19,8±3,1	10,1±1,1
	20-40	4,8±1,0	35,5±7,3	14,8±2,4	7,5±0,9
НСР ₀₅ для слоя 0-20 см: по фактору А – 0,4 мг/кг; по фактору В – 2,8 мг/кг НСР ₀₅ для слоя 20-40 см: по фактору А – 0,3 мг/кг; по фактору В – 3,5 мг/кг					

Внесение минеральных удобрений под предпосевную культивацию дифференцирует пахотный горизонт по уровню содержания питательных

веществ. Нитраты, в отличие от фосфора и калия, не удерживаются ни одним видом поглотительной способности почвы. В условиях лесостепной зоны Зауралья они быстро растворяются и способны мигрировать на глубину промачивания в весенний период. В условиях Зауралья глубина промачивания в весенний период не превышает 40 см, в отдельные годы (засушливые) миграция нитратов не проявляется, однако за все время существования стационара (год закладки 1995) не было ни одного случая, когда аммиачная селитра не растворилась к моменту прорастания зерновых культур.

В период кушения яровой пшеницы содержание нитратного азота в слое 0-20 см на контроле увеличилось до 9,3 мг/кг почвы; в слое 20-40 также было отмечено повышение данного показателя до 6,1 мг/кг. Несмотря на активное поглощение питательных веществ в период прорастание-кушение количество нитратов увеличилось почти в 2 раза относительно содержания до посева. Необходимо отметить роль погодных условий на нитрификацию чернозема при отсутствии минеральных удобрений. За годы исследований варьирование содержания нитратов в фазу кушения было значительным ($CV=38\%$).

На варианте с дозой удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га обеспеченность доступным для растений азотом была повышенной. В слое 0-20 см содержание нитратов достигло 22,1 мг/кг, что в 2,4 раза выше контроля. Внесение минеральных удобрений снизило коэффициент вариации в слое 0-20 см до 19%, что соответствовало средней степени изменчивости. Также повышение концентрации нитратов было в слое 20-40 см, где она достигла 14,0 мг/кг почвы. Необходимо отметить что изменчивость этого показателя оставалась значительной ($CV=31\%$).

Внесение $N_{150}P_{200}$ кг д.в. привело к повышению содержания азота нитратов в слое 0-40 см до 36,8 мг/кг почвы, что соответствовало очень высокой обеспеченности растений данным элементом питания. В корнеобитаемой зоне (0-20 см) концентрация нитратов была максимальной –

45,3 мг/кг почвы. В слое 20-40 см содержание N-NO₃ возросло почти в 5 раз по сравнению с контролем. Коэффициент вариации для этих слоев составил 15 и 28% соответственно.

Вариант с максимальным насыщением удобрений NP на 6,0 т/га характеризовался избыточно высокой обеспеченностью нитратным азотом в слое 0-40 см. Содержание N-NO₃ в слое 0-20 см в среднем за годы исследований составило 57,6 мг/кг, а в слое 20-40 см – 35,5 мг/кг. Столь высокая концентрация обусловлена полным растворением азотных удобрений и отсутствием дождей в этот период. Также этот вариант характеризовался минимальной степенью изменчивости: в слое 0-20 см коэффициент вариации был равен 15%; в слое 20-40 см – 21%.

В период от кущения до цветения яровая пшеница активно поглощает питательные вещества из почвы. По данным Ю.И. Ермохина (2015) в это время она потребляет до 90% азота от общего выноса. На контроле в период цветения содержание нитратного азота в слое 0-40 см уменьшилось до 3,5 мг/кг почвы, что соответствовало очень низкой обеспеченности зерновых культур. Наиболее сильное поглощение азота нитратов было в слое 20-40 см, где в этот период складываются благоприятные условия для корневой системы. В слое 0-20 см снижение содержания нитратов выражено в меньшей степени, хотя мы не исключаем и вероятность того, что за счет более интенсивной нитрификации часть поглощенного растениями азота компенсировалась. Расчет коэффициента вариации показал, что за годы исследований в слое 0-40 см очень сильно изменяется содержание нитратного азота (CV=40%).

На варианте, где вносили удобрения на получение 3,0 т/га зерна, содержание нитратов в слое 0-20 см составило 7,9 мг/кг, а в слое 20-40 см 5,2 мг/кг почвы. Это соответствовало низкой обеспеченности. На варианте с более высоким уровнем минерального питания (NP на 5,0 т/га зерна) обеспеченность яровой пшеницы нитратным азотом оставалась в категории низкой (6-12 мг/кг), но по содержанию была более чем в 3 раза выше

контроля. На высоком агрофоне яровая пшеница не способна полностью поглотить минеральный азот из почвы в первой половине вегетации. Поэтому есть вероятность его потери в период дождей второй половины вегетационного периода. На этом варианте было отмечено уменьшение степени варьирования содержания нитратного азота в слое 0-40 см. Коэффициент вариации составил 19%.

Яровая пшеница на максимальном агрофоне ($N_{185}P_{160}$) не смогла в полной мере потребить азотные удобрения в первой половине вегетации. Содержание нитратов в слое 0-20 см составило 19,8 мг/кг почвы, что почти в 5 раз больше значений контроля. В слое 20-40 см данный показатель был равен 14,8 мг/кг. Среднее содержание нитратов в слое 0-40 см соответствовало повышенной обеспеченности. Коэффициент вариации показал среднюю степень изменчивости содержания нитратов на варианте с максимальным агрофоном в период цветения ($CV=17\%$).

Период налива зерна и созревания яровой пшеницы характеризуется продолжением процесса поглощения питательных веществ из почвы, хоть и не с такой интенсивностью. Наличие достаточного количества минерального азота в почве в этот период формирует высокие урожаи за счет увеличения озерненности и массы 1000 зерен. В условиях достаточного увлажнения азот может спровоцировать вторичное кущение, которое негативно отразится на сборе урожая.

Зерновые культуры в фазу восковой спелости зерна уже не поглощают питательные вещества из почвы, завершая свой жизненный цикл оттоком пластических веществ из листьев и соломины в колос. Поэтому в конце лета складываются благоприятные условия для накопления нитратов в почве. В наших опытах содержание нитратного азота в слое 0-40 см было минимальным – 2,8 мг/кг почвы, что соответствовало очень низкой обеспеченности. Максимальное содержание (3,6 мг/кг) было в слое 0-20 см, что на 30 ниже значений перед посевом. На варианте, где вносили удобрения на планируемую урожайность 3,0 т/га, нитратов осталось чуть больше чем на

контроле: в слое 0-20 см – 4,3 мг/кг; в 20-40 см – 2,7 мг/кг, что также было меньше значений перед внесением минеральных удобрений.

На варианте с высоким уровнем питания (NP на 5,0 т/га зерна) после уборки яровой пшеницы в почве остался неизрасходованный азот в количестве 2 мг/кг, что соответствует 10 кг/га. Максимальное содержание N-NO₃ было в слое 0-20 см. С глубиной концентрация снижалась, достигая 5,1 мг/кг почвы.

Максимальный агрофон, созданный минеральными удобрениями, выделялся относительно других вариантов высоким содержанием нитратов перед уборкой яровой пшеницы. В слое 0-20 см их концентрация была равна 10,1 мг/кг, а глубже – 7,5 мг/кг почвы, что на 54% выше первоначального значения. Столь высокое содержание нитратов в период уборочных работ объясняется невостребованностью данного элемента питания яровой пшеницей, которая сформировала фактический урожай ниже запланированного. Причиной этого являются особенности погодных условий в годы проведения опытов.

За годы исследований установлено, что черноземы лесостепной зоны Зауралья характеризовались неустойчивым нитратным режимом и очень низкой обеспеченностью – 4,2 мг/кг почвы. Внесение минеральных удобрений на получение урожайности до 6,0 т/га в зернопаровом севообороте не оказало серьезного влияния на содержание нитратов в почве в весенний период.

Доза удобрений N₄₀P₇₅, рассчитанная на планируемую урожайность 3,0 т/га, способствовала повышению азота нитратов в почве только в начале вегетации. В фазу кущения яровой пшеницы содержание нитратного азота в слое 0-20 см увеличивалось до 22,1 кг/га, но уже к цветению происходило снижение до 7,9 мг/кг. К уборке содержание нитратов возвращалось к исходному уровню.

Дозы N₁₅₀P₂₀₀ и N₁₈₅P₁₆₀, рассчитанные на получение 5,0 и 6,0 т/га зерна, способствовали формированию избыточно высокой обеспеченности азотом в

период кущения яровой пшеницы. Во второй половине вегетации происходило снижение содержания до 6,7 и 8,8 мг/кг соответственно. В условиях лесостепной зоны Зауралья существует высокая вероятность потери основной части этого азота в результате вымывания.

5.2 Влияние минеральных удобрений на текущую нитрификацию чернозема выщелоченного

Черноземы выщелоченные лесостепной зоны Зауралья способны накапливать 54-60 кг/га азота текущей нитрификации (рис. 9). Этого достаточно для формирования прибавки урожая 1,3-1,5 т/га яровой пшеницы. Аналогичные значения для сибирских черноземов были получены учеными-агрохимиками Омского ГАУ (Ермохин Ю.И., Бобренко И.А., 2016). Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна положительно сказалось на нитрификации чернозема, в котором образовалось 73 кг азота текущей нитрификации, что на 35% выше значений контроля. Повышение уровня минерального питания в диапазоне планируемой урожайности от 3,0 до 5,0 т/га зерна яровой пшеницы оказало стимулирующий эффект – величина азота текущей нитрификации возросла до 81-85 кг/га, что на 57% выше общепринятого значения для Западной Сибири.

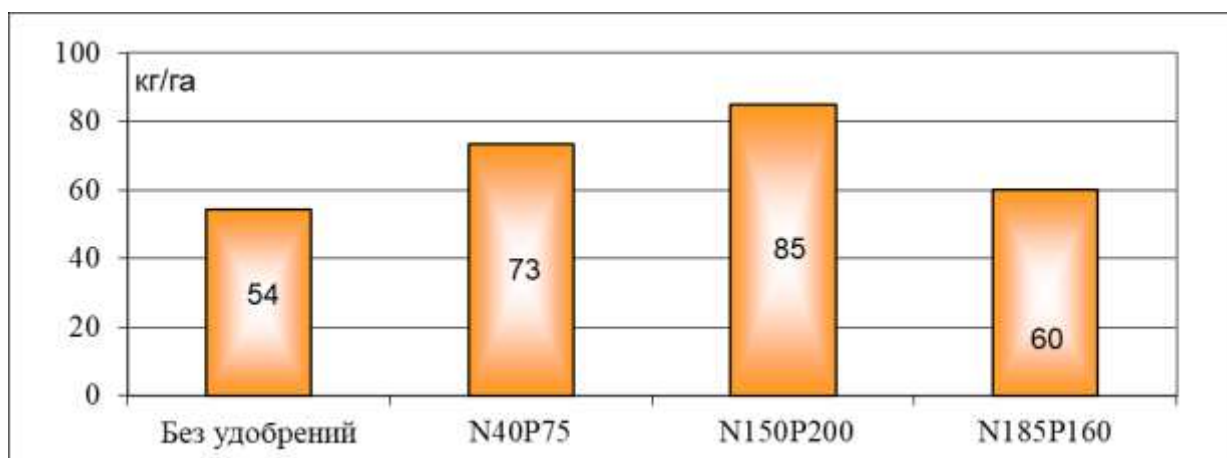


Рисунок 9 – Влияние уровня минерального питания на текущую нитрификацию чернозема выщелоченного, кг/га (2018-2020 гг.)

Максимальный агрофон (NP на 6,0 т/га зерна) характеризовался резким уменьшением процессов текущей нитрификации, которая в среднем за годы исследований составила 60 кг/га, что соответствовало уровню контроля. Выявленная особенность высоких доз минеральных удобрений обусловлена угнетением нитрифицирующей микробиоты.

Нами выявлено влияние минеральных удобрений на нитрификацию чернозема выщелоченного и установлены количественные показатели, которые рекомендуется использовать при разработке системы удобрений под сельскохозяйственные культуры. Проведенный корреляционный анализ показал тесную положительную связь ($r=0,94$) между дозами азотных удобрений и величиной текущей нитрификации чернозема выщелоченного, что позволило получить регрессионное уравнение:

$$y=-0,003x^2+6,331x+63,0484 \quad (1)$$

где:

y – азот текущей нитрификации, кг/га

x – доза азотных удобрений, кг д.в./га

Для определения степени достоверности полученного уравнения регрессии были рассчитаны соответствующие статистические показатели: индекс детерминации (R^2) равен 0,8866; средняя ошибка аппроксимации – 4,32; критерий существенности фактический больше теоретического. Полученное уравнение достоверно в диапазоне использования доз азотных удобрений (x) от 0 до 220 кг д.в./га и может быть использовано в системе точного земледелия.

Дисперсионный анализ показал, что минеральные удобрения оказывают существенное влияние на текущую нитрификацию чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья. Их влияние составляет 71,4%, тогда как погодные условия вегетации – 9,4% (табл. 10). Также дисперсионный анализ выявил совокупное влияние погоды и уровня минерального питания – взаимодействие этих факторов составляет 17,2%. Данный факт необходимо учитывать при оптимизации системы удобрений.

Таблица 10 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа текущей нитрификации чернозема выщелоченного (2018-2020 гг.)

Источник вариации	Сумма квадратов	Сумма степеней свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб 095	Влияние, %
Уровень минерального питания (фактор А)	844	3	2813,43	276,8	3,0	71,4
Погодные условия (фактор В)	1108	2	553,85	54,5	3,4	9,4
Взаимодействие АВ	2024	6	337,38	33,2	2,6	17,2

5.3 Содержание легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном при внесении минеральных удобрений

Легкогидролизуемый азот является основным резервом доступных для растений форм. Он содержится в легкоразлагаемом органическом веществе: послеуборочных остатках, органических удобрениях, детрите.

На содержание легкогидролизуемого азота в почве большое влияние оказывает сельскохозяйственная деятельность человека, так окультуренные почвы содержат азота на 5-30% больше, чем почвы без применения агрохимикатов.

На варианте с естественным агрофоном (контроль) содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-20 см чернозема выщелоченного составило 144 мг/кг, что соответствует низкой обеспеченности (табл. 11). В слое 20-40 см данный показатель соответствовал 112 мг/кг почвы. В среднем по слою 0-40 см в 2018 г. содержание доступного азота находилось на уровне 124 мг/кг почвы, в последующие годы отмечено постепенное увеличение до 132 и 137 мг/кг почвы (приложение Э).

Таблица 11 – Содержание легкогидролизуемого азота в черноземе
выщелоченном при внесении возрастающих доз минеральных удобрений,
мг/кг почвы (2018-2020 гг.)

Варианты (фактор А)	Слой почвы, см (фактор В)		
	0-20	20-40	0-40
Без удобрений	144±3	112±12	128±12
N ₄₀ P ₇₅	147±14	117±7	132±8
N ₁₅₀ P ₂₀₀	156±8	141±6	148±6
N ₁₈₅ P ₁₆₀	158±3	129±7	143±6
НСР ₀₅ для фактора А = 8 мг/кг; для В = 6 мг/кг			

Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна не оказало достоверного влияния на содержание щелочнорастворимого азота, отклонения по слоям были в пределах НСР₀₅. В 2019 г. в слое 20-40 см содержание доступного азота снижалось до 110,5 мг/ кг почвы, что было меньше значений контроля в этот же период. Систематическое применение высоких доз удобрений (NP на 5,0 и 6,0 т/га) способствовали увеличению содержания легкогидролизуемого азота в черноземе выщелоченном. В слое 0-20 см его содержание увеличилось до 156 и 158 мг/кг почвы, варьирование по годам составило 154,5; 169,5 и 42,5 мг/кг почвы соответственно. Минеральные удобрения оказали непосредственное влияние на содержание легкогидролизуемого азота не только в слое 0-20 см, но и глубже. На вариантах, где вносили удобрения на планируемые урожаи свыше 3,0 т/га содержание Nг было на 26% выше значений контроля (НСР₀₅=6 мг/кг).

На варианте с максимальным агрофоном (NP на 6,0 т/га) отмечено достоверное уменьшение содержания легкогидролизуемого азота – отклонение составило 12 мг или 9% по сравнению с предыдущим вариантом. Причиной этого является стимулирующее действие минеральных удобрений на минерализующую микробиоту. В целом по слою 0-40 см изучаемый показатель составил 148 и 143 мг/кг почвы, что на 16% выше значений контроля. В 2020 г. его содержание увеличивалось до 153 мг/кг почвы. Причиной этого является запашка соломы и пожнивно-корневых остатков с

повышенным содержанием общего азота и более быстрой их трансформацией под действием почвенной микробиоты (Ахтямова А.А., 2017).

Полученные данные указывают на необходимость учета изменения активности почвенной биоты при разработке системы удобрений, обеспечивающей расширенное воспроизводство плодородия.

Коэффициент вариации легкогидролизуемого азота при внесении минеральных удобрений в дозе до $N_{150}P_{200}$ включительно довольно стабилен. При внесении удобрений на планируемую урожайность 6,0 т/га зерна увеличивается в 2-4 раза (табл. 12).

Таблица 12 – Описательная статистика содержания легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см за годы исследований, мг/кг (2018-2020 гг.)

Показатели	Вариант			
	Без удобрений	$N_{40}P_{75}$	$N_{150}P_{200}$	$N_{185}P_{160}$
Стандартная ошибка	2	4	3	9
Медиана	127	133	149	151
Стандартное отклонение	4	7	6	15
Дисперсия выборки	15	55	31	233
Асимметричность	1	0	-1	-2
Интервал	8	15	11	28
Минимум	124	124	142	126
Максимум	132	139	153	154
Коэффициент вариации, %	3	6	4	11

Интервал, отражающий разницу между максимумом и минимумом, на варианте с самой высокой насыщенностью минеральными удобрениями варьирует в большом диапазоне. Стандартное отклонение на этом варианте так же наиболее широко рассеяно от среднего значения, в отличие от других вариантов.

Поскольку легкогидролизуемый азот принято считать биологически активной формой, то его содержание может зависеть от естественных факторов (погодные условия) и антропогенных (уровень минерального

питания; агрофизические и физико-химические свойства почвы). Проведенный дисперсионный анализ показал, что максимальное влияние на содержание легкогидролизуемого азота оказывают почвенные условия (температура, влажность, аэрация и заделка соломы), которые создаются при механической обработке почвы. Их влияние (доля) составило 49,7% (табл. 13). Вклад минеральных удобрений в содержание легкогидролизуемого азота – 14,6%. Минимальное влияние оказывают погодные условия вегетационного периода – их доля равна 3,2%.

Таблица 13 – Результаты трехфакторного дисперсионного анализа содержания легкогидролизуемого азота в почве (2018-2020 гг.)

Источник вариации	Сумма квадратов	Сумма степеней свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб 095	Влияние, %
Уровень минерального питания (фактор А)	8753,3	3	2917,8	328,0	2,7	14,6
Слой почвы, (фактор В)	29703,8	3	9901,3	1113,0	2,7	49,7
Погодные условия (фактор С)	1913,5	2	956,8	107,6	3,1	3,2
Взаимодействие: АВ	4649	9	516,6	58,1	2,0	7,8
АС	1848	6	308,0	34,6	2,2	3,1
ВС	2592,3	6	432,0	48,6	2,2	4,3
ABC	9465,6	18	525,9	59,1	1,8	15,8

Необходимо отметить тот факт, что доля совокупного действия анализируемых факторов (ABC) достигает 15,8%, что является довольно значительной величиной по отношению к другим вариациям взаимодействия.

Таким образом, отсутствие минеральных удобрений способствовало минимальному накоплению легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см чернозема выщелоченного. Его содержание составило 128 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га не оказывало влияния на содержание легкогидролизуемого азота в черноземе. Интенсивный агрофон, обеспечивающий получение урожая 5,0 т/га зерна и выше, привел к

увеличению содержания легкогидролизуемого азота до 148 мг/кг почвы, что на 16% выше значений контроля. Накопление данной фракции происходит не только в зоне непосредственного внесения удобрений, но и существенно глубже, вплоть до глубины 40 см.

5.4 Влияние минеральных удобрений на нитрификационную способность чернозема выщелоченного

Одним из главных биологических показателей почвы считается ее нитрификационная способность, которая лежит в основе азотного режима. Этот показатель напрямую связан с количественным составом почвенной микробиоты и ее активностью. В результате исследований было установлено, что чернозем выщелоченный, на котором не вносили минеральные удобрения более 20 лет (с 1995 г.), характеризуется минимальной нитрификационной способностью. На контроле она составляла 12,0 мг/кг почвы, что является очень низким значением для черноземов (рис. 10). Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна не оказало существенного влияния на нитрификацию, которая составила 13,3 мг/кг почвы. На вариантах с высоким агрофоном (NP на 5,0 и 6,0 т/га) нитрификационная способность была достоверно выше контроля, достигая 17,2 и 18,1 мг/кг почвы при HCp_{05} равном 1,1 мг/кг почвы.

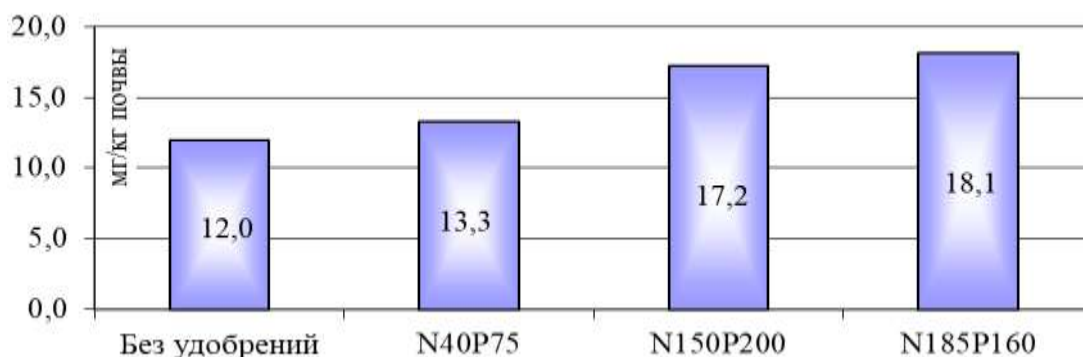


Рисунок 10 – Влияние минеральных удобрений на нитрификационную способность пахотного чернозема, ($HCp_{05}=1,1$), мг/кг (2018-2020 гг.)

В период кушения яровой пшеницы, который приходится на первую половину июня содержание нитратов по вариантам и слоям существенно различается. Причиной этого является внесение разных доз удобрений и неодинаковая скорость их поглощения растениями.

Установлено, что в период всходы-кушение минеральные удобрения оказывают сильнейшее влияние на почвенную микробиоту. Внесение NP на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна положительно повлияло на нитрификационную способность, которая составила в слое 0-20 см 16,4 мг/кг почвы (табл. 14). Глубже (20-40 см) достоверных изменений обнаружено не было. Наиболее сильный положительный эффект от минеральных удобрений был на варианте с планируемой урожайностью 5,0 т/га, где в слоях 0-20 и 20-40 см за счет нитрификации образовалось 25,0 и 14,6 мг/кг азота соответственно. Мы не исключаем тот факт, что столь резкое повышение нитрификационной активности почвы могло оказаться результатом постепенного высвобождения азота из удобрений. При сравнительном анализе данных по вариантам было установлено негативное влияние высоких доз минеральных удобрений на нитрификационную способность верхнего слоя пахотного чернозема, которая в июне достигла 16,7 мг/кг. В слое 20-40 см нитрификация была выше, чем на других вариантах – 17,6 мг/кг.

Таблица 14 – Нитрификационная способность чернозема
выщелоченного при внесении минеральных удобрений (2018-2020 гг.)

Вариант	Слой, см	Нитрификационная способность, мг/кг				
		Май	Июнь	Июль	Август	Среднее
Без удобрений	0-20	10,4	14,7	16,3	8,6	12,5
	20-40	8,3	10,1	14,0	7,7	10,0
N ₄₀ P ₇₅	0-20	10,2	16,4	18,6	10,7	14,0
	20-40	8,9	10,2	14,0	10,9	11,0
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	10,7	25,0	27,7	19,4	20,7
	20-40	9,9	14,6	17,9	12,0	13,6
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	10,5	16,7	18,1	15,8	15,3
	20-40	8,2	17,6	19,5	16,7	15,5
НСР ₀₅	0-20	1,2 мг/кг				
	20-40	1,3 мг/кг				

Июль характеризуется оптимальными для развития почвенной биоты и растительности условиями. Активное потребление азота происходит и в слое 20-40 см, о чем свидетельствует уменьшение его количества в сравнении с июнем. Рост почвенной микробиоты в летний период благоприятно сказался на нитрификационной активности почвы, которая на контроле составила для слоя 0-20 см – 16,3 мг/кг почвы, для 20-40 см – 14,0 мг/кг почвы. Вносимые весной минеральные удобрения в дозе, рассчитанной на получение 3,0 т/га зерна пшеницы, оказали достоверное влияние на нитрификационную способность только в слое 0-20 см. В период компостирования образовалось 18,6 мг/кг нитратного азота, что на 14% выше значений контроля. В слое 20-40 см нитрификация не отличалась от естественного агрофона.

Использование удобрений на урожайность пшеницы 5,0 т/га оказывало стимулирующий эффект и в июле. Нитрификационная способность пахотного и подпахотного слоя соответствовала 27,7 и 17,9 мг/кг почвы. Ингибирование нитрификации пахотного чернозема на варианте с максимальной насыщенностью удобрениями продолжалось и в июле.

В августе потребность зерновых культур в азоте не уменьшается. Активное поглощение нитратов – необходимое условие для формирования урожая и его качества. Роль нитрификации в этот период крайне важна, поскольку растения поглощают питательные вещества из почвы и удобрений в первой половине вегетации, а созревание обычно проходит при явном дефиците азота (Шахова О.А., Еремин Д.И., 2007).

Анализ нитрификационной способности в августе показал, что на контроле в слое 0-40 см она составила 7,7-8,6 мг/кг почвы. На варианте, где удобрения вносили из расчета планируемой урожайности 3,0 т/га, данный показатель был достоверно выше – 10,7-10,9 мг/кг почвы при НСР₀₅ равном 1,2 мг/кг почвы. Максимальное влияние удобрений на нитрификационную активность чернозема выщелоченного в августе было отмечено при внесении удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га, ее значение было в 2 раза

выше контроля. Внесение удобрений на 6,0 т/га зерна яровой пшеницы по сравнению с другими вариантами угнетало почвенную биоту.

Расчет усредненных данных показал, что нитрификация чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья составила для слоя 0-20 см – 12,5 мг/кг и для слоя 20-40 см – 10,0 мг/кг почвы, что соответствует среднему уровню. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га зерна увеличивает нитрификационную активность пахотного чернозема на 10% относительно контроля. Максимальное влияние оказывали минеральные удобрения в дозе, рассчитанной на получение 5,0 т/га зерна – нитрификационная способность чернозема возрастала с 12,5 до 20,7 мг/кг почвы в слое 0-20 см, что соответствует повышенному уровню.

Максимальный агрофон (NP на 6,0 т/га зерна) имел тенденцию угнетения микробиоты. Нитрификационная способность на этом варианте в слое 0-20 см составила 15,3 мг/кг почвы, что соответствовало нижней границе повышенного уровня. Нужно отметить, что миграция удобрений вглубь почвы стимулировала активность микробиоты в слое 20-40 см – нитрификационная активность увеличилась с 10,0 до 15,5 мг/кг почвы.

Дисперсионный анализ показал, что минеральные удобрения достоверно оказывают существенное влияние на нитрификационную способность чернозема выщелоченного – 59,6% ($F_{\text{факт}} > F_{\text{таб}}$). Погодные условия, в период отбора почвенных образцов оказывали существенно меньшее влияние – 12,6% (табл. 15).

Таблица 15 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа нитрификационной способности чернозема выщелоченного (2018-2020 гг.)

Источник вариации	Сумма квадратов	Сумма Степеней свободы	Дисперсия	Fфакт	Fтаб095	Влияние, %
Уровень минерального питания (фактор А)	144	3	48,22	38,3	3,0	59,6
Погодные условия (фактор В)	30	2	15,23	12,1	3,4	12,6
Взаимодействие АВ	24	6	4,02	3,2	2,6	9,9

Таким образом, из результатов многолетних исследований следует, что нитрификационная способность черноземов выщелоченных лесостепи Зауралья в среднем составляет 10,0-12,5 мг/кг почвы, что соответствует средней степени активности. В первой половине лета она достигала 10,1-16,3 мг/кг почвы, снижаясь до 7,7-8,6 мг/кг почвы в августе. Систематическое (многолетнее) внесение высоких доз минеральных удобрений, обеспечивающее получение урожая 5,0 т/га зерна и выше приводило к уменьшению численности нитрификаторов на 23% относительно контроля в весенний период.

5.5 Хозяйственный вынос азота яровой пшеницей

За годы исследований урожайность на контроле, где минеральные удобрения не вносили с момента формирования стационара, урожайность яровой пшеницы составила 2,0 т/га (рис. 11, приложения АД, АЕ и АЖ).

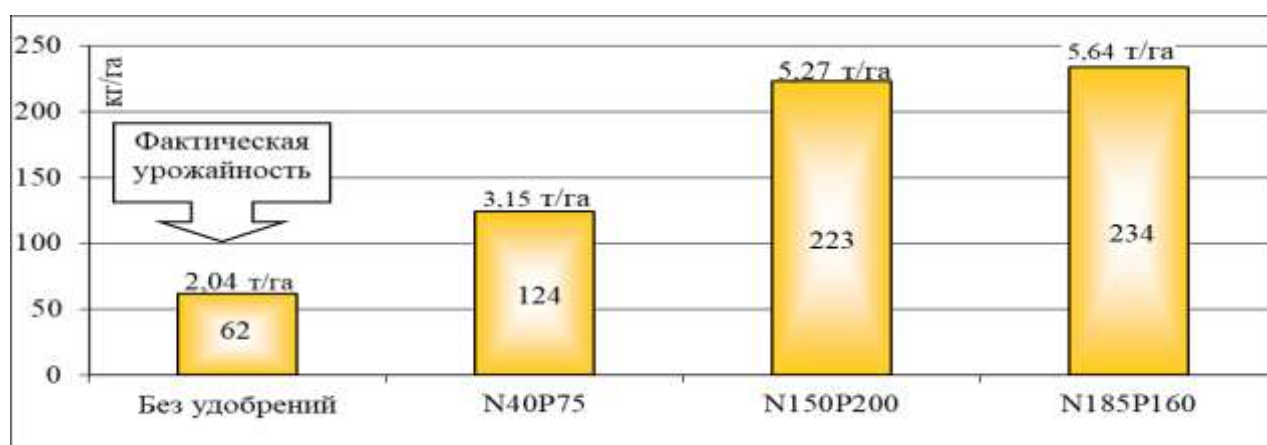


Рисунок 11 – Общий вынос азота фитомассой яровой пшеницы (кг/га) и ее фактическая урожайность зерна (т/га) на вариантах с разным уровнем минерального питания (2018-2020 гг.)

Общий вынос азота фитомассой составил 62 кг/га, что соответствовало 31 кг азота на тонну зерна. На варианте с внесением удобрений в дозе N₄₀P₇₅ была получена планируемая урожайность 3,0 т/га. Общий вынос азота увеличился в 2 раза относительно контроля и достиг 124 кг/га. Яровая пшеница для создания 1 тонны зерна израсходовала 39 кг азота, что

сопоставимо с нормативными значениями, используемыми для программирования урожайности яровой пшеницы (Тютюнов С.И. и др., 2013).

Планирование урожая яровой пшеницы 5,0 т/га зерна в лесостепной зоне Зауралья связано с определенными рисками (Абрамов Н.В., 2009). Нужно учитывать влагообеспеченность посевов в критические фазы роста, сумму эффективных температур и погодные условия во время уборочных работ.

В среднем за годы исследований фактическая урожайность на варианте с NP на 5,0 т/га совпала с расчетной величиной. Только в 2019 г. сбор зерна достоверно превысил планируемую урожайность на 10% при НСР₀₅ равном 0,24 т/га. Общий вынос азота фитомассой яровой пшеницы увеличился до 223 кг/га, что в 3,6 раза больше значений контроля. На единицу товарной продукции пришлось 42 кг азота – это на 8% выше значений предыдущего варианта.

Вариант с максимальным уровнем минерального питания выделялся среди остальных тем, что яровая пшеница развивалась в течении всей вегетации без ограничения в минеральном питании. Фактическая урожайность оказалась на 7% ниже планируемой. Причиной этого является отсутствие стабильности урожая: в 2018 г. она составила 5,5; в 2019 г. – 5,1; в 2020 г. – 6,2 т/га. Поэтому при планировании урожаев зерновых культур в лесостепной зоне Зауралья на черноземах выщелоченных необходимо учитывать погодные условия вегетационного периода и весенние запасы продуктивной влаги.

Общий вынос азота фитомассой яровой пшеницы на варианте с максимальным агрофоном достиг 234 кг/га, что почти в 4 раза выше контроля. На создание 1 тонны зерна было потрачено 42 кг азота, что сопоставимо с предыдущим вариантом.

Расчеты показали, что при планировании урожайности яровой пшеницы 3,0 т/га на черноземе выщелоченном доля участия почвенного

азота составляет 68% и лишь треть составляют минеральные удобрения (рис. 11). Это может стать научным обоснованием выбора такой урожайности для мелких и средних хозяйств, которые не имеют больших средств для выращивания зерна.

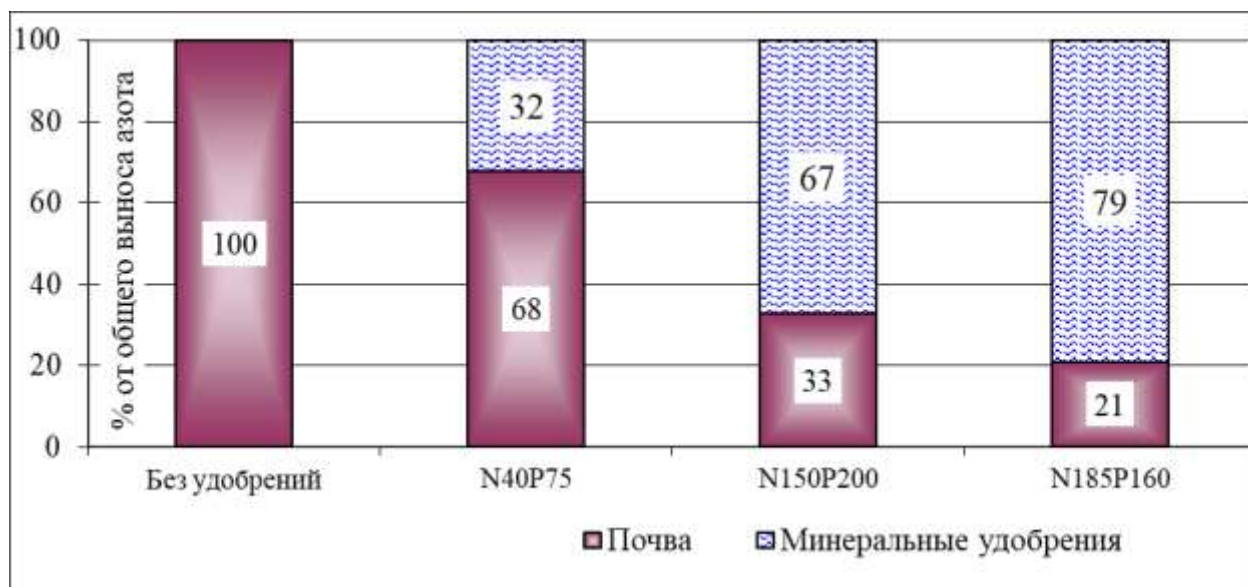


Рисунок 11 – Вклад минеральных удобрений и почвенного азота в формировании планируемых урожаев яровой пшеницы, % от общего выноса азота фитомассой (2018-2020 гг.)

Урожайность 5,0 т/га формируется уже в обратной пропорции – 67% доля удобрений и только 33% приходится на естественные запасы азота. Дальнейшее повышение планируемой урожайности приводит к увеличению значимости удобрений до 79%. Данные расчеты показывают, что получение высоких урожаев (5,0 т/га зерна и выше) в условиях лесостепной зоны Зауралья возможно за счет минеральных удобрений, что существенно увеличит прямые затраты и себестоимость получаемой продукции. В условиях рыночной экономики получение урожаев 5,0 и более т/га зерна возможно только в крупных хозяйствах, которые его выращивают для своих нужд, например, в качестве корма животным или птице.

ГЛАВА 6 ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Научно-обоснованный подход к системе удобрений способен максимально эффективно раскрыть потенциал чернозема, что в совокупности с правильным выбором сельскохозяйственной культуры и сортов является гарантией высоких урожаев (Тоболова Г.В., 2009; Казак А.А., Логинов Ю.П., 2019).

В наших исследованиях в среднем за годы исследований густота посева варьировала по вариантам от 462 до 472 шт./м² (табл. 16). Отклонение от среднего значения составляло не более 2%. Норма высева яровой пшеницы соответствовала общерекомендованной для лесостепной зоны Зауралья – 6,2 млн. всхожих зерен на гектар. Невысокая полевая всхожесть, которая в среднем за годы исследований была равна 76%, объясняется в большей степени внешними факторами в ходе прорастания: влажностью и температурой на глубине заделки семян (Васько В.Т., 2012). К моменту уборки на всех вариантах количество растений на квадратном метре уменьшилось. На контроле выживаемость пшеницы составила 80%, что для Западной Сибири считается довольно высоким показателем. Данный факт объясняется тем, что на естественном агрофоне яровая пшеница вырастает незначительной высоты – в среднем 57 см и редко более чем с одним продуктивным стеблем. Поэтому серьезной борьбы за площадь питания и освещения в таких посевах не происходит. На варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га сохранность яровой пшеницы в течение вегетации оказалась выше, в среднем за годы исследований 88%. Это объясняется улучшением минерального питания, но при этом сами растения не были существенно выше относительно контроля.

На варианте, где внесли N₄₀P₇₅ кг д.в./га (на 3,0 т/га зерна), количество стеблей составило 450 шт./м², при той же продуктивной кустистости, что и на контроле. На долю продуктивных стеблей приходилось 85%, тогда как на

предыдущем варианте – 98%. На варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна количество стеблей в среднем было 606 шт./м², тогда как густота стояния перед уборкой равна 396 шт./м². Доля продуктивных стеблей уменьшилась до 82%. На этом варианте отмечалось вторичное кущение, вызванное очень высоким уровнем минерального питания и достаточным увлажнением во второй половине вегетации. При внесении N₁₈₅P₁₆₀ кущение было максимально сильным – к уборке на каждом квадратном метре образовалось 670 стеблей при густоте стояния 384 растения. На долю продуктивных стеблей приходилось 84%, что сопоставимо с предыдущим вариантом. Также отмечалось появление подгона, который затрудняет уборочные работы.

Таблица 16 – Элементы структуры урожая яровой пшеницы на разном агрофоне (2018-2020 гг.)

Показатели	Вариант				НСР ₀₅
	Без удобрений	N ₄₀ P ₇₅	N ₁₅₀ P ₂₀₀	N ₁₈₅ P ₁₆₀	
Количество растений в фазу кущения, шт./м ²	462±11	467±4	472±13	466±20	23
Количество растений перед уборкой, шт./м ²	371±14	413±10	396±8	384±13	27
Количество стеблей, шт./м ²	391±12	450±22	606±38	670±12	38
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	381±14	440±11	499±47	562±27	35
Высота растений, см	57±3	64±2	80±3	82±2	5
Количество зерен в колосе, шт.	27±4	26±2	31±2	30±2	2
Масса 1000 зерен, г	21±2	27±3	34±1	34±2	2
Масса зерна с одного колоса, г	0,49±0,11	0,65±0,03	1,07±0,12	1,07±0,08	0,08

Несмотря на утверждения селекционеров, что стеблеобразование зерновых культур контролируется генетически, мы отмечали в опытах влияние уровня минерального питания. Корреляция между содержанием нитратного азота в почве в фазу кущения и количеством стеблей составляет 0,91 ед.

Урожайность яровой пшеницы также зависит от озерненности колоса, которая определяется на генетическом уровне. В наших опытах мы не

смогли установить достоверного влияния минеральных удобрений на количество зерен в колосе. На вариантах с удобрениями их количество варьировало от 26 до 31 шт., тогда как на контроле – 27 шт. Расчет корреляции между содержанием нитратного азота и количеством зерна в колосе составил 0,56 ед., что соответствует средней связи.

Налив зерна яровой пшеницы требует сочетания определенных факторов: достаточное содержание питательных веществ в растении, влажность почвы и повышенная температура воздуха (Романенков В.А. и др., 2018). Наши исследования показали, что на контроле формируется зерно с минимальной массой 1000 зерен – 21 г. Это доказывает, что естественного плодородия лесостепных черноземов выщелоченных недостаточно для формирования крупного зерна яровой пшеницы. Внесение низких доз удобрений ($N_{40}P_{75}$ кг д.в./га) увеличивает массу 1000 зерен на 28% относительно контроля. Дальнейшее увеличение доз удобрений эффекта не дало – крупность зерна оставалась на уровне 34 г. Коэффициент корреляции составил 0,77 ед., что соответствует сильной степени связи между содержанием нитратов в почве в фазу кущения и массой 1000 зерен.

Такой элемент в структуре урожая как масса зерна с одного колоса является одним из важнейших, поскольку он определяет не только урожайность культуры в целом, но и тесно связан с вероятностью полегания посевов. Для Северного Зауралья проблема полегания зерновых культур на высоком агрофоне наиболее актуальна. Селекционеры постоянно ведут работу над созданием неполегающих сортов интенсивного типа. В наших опытах были случаи полегания пшеницы на вариантах с внесением удобрений на планируемую урожайность свыше 5,0 т/га. Обычно это происходило в фазу налива зерна – молочной спелости. Масса зерна с одного колоса на вариантах с NP на 5,0 и 6,0 т/га, в среднем за годы исследований, была равна 1,07, тогда как на контроле – 0,49 г. Создание уровня минерального питания, необходимого для получения 3,0 т/га зерна, привело к увеличению массы зерна с одного колоса до 0,65 г.

На контроле минеральные удобрения не вносили, поэтому продуктивность зернопарового севооборота формировалась только за счет естественного плодородия. Этим объясняется низкая урожайность яровой пшеницы, даже в благоприятные по погодным условиям годы исследований. В среднем урожайность яровой пшеницы на контроле была на уровне 2,04 т/га и варьировала от 1,85 до 2,24 т/га (табл. 17, приложение АГ).

Таблица 17 – Урожайность яровой пшеницы при различном уровне минерального питания (2018-2020 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка относительно контроля	
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя		
					т/га	%
Без удобрений	1,85	2,04	2,24	2,04	-	-
N ₄₀ P ₇₅	2,88	3,04	3,52	3,15	1,10	54
N ₁₅₀ P ₂₀₀	5,14	5,49	5,17	5,27	3,22	158
N ₁₈₅ P ₁₆₀	5,54	5,07	6,24	5,62	3,57	175
HCP ₀₅	0,2	0,2	0,3	-	-	-

Внесение удобрений на 3,0 т/га зерна обеспечило формирование прибавки в размере 1,10 т/га зерна относительно контроля. Планируемая урожайность была достигнута во все годы исследований – отклонения были в пределах HCP₀₅, за исключением 2020 г. В этом году фактический сбор зерна превысил расчетные значения на 17%, при ошибке опыта 0,3 т/га. Данный факт объясняется более высокой микробиологической активностью почвы в 2020 г. и высвобождением большего количества доступного растениям азота.

Дальнейшее повышение уровня минерального питания за счет расчетных доз удобрений в сочетании с благоприятными погодными условиями позволило получить урожай, в среднем за годы исследований, 5,27 т/га, что на 158% выше контроля. Превышение плана было отмечено в

2019 г., где фактическая урожайность была на 10% выше и составила 5,49 т/га, при НСР₀₅ равном 0,2 т.

Вариант с максимальным уровнем внесения удобрений (NP на 6,0 т/га зерна) характеризовался нестабильным сбором урожая по годам. В среднем фактическая урожайность была близка к плановой – 5,62 т/га, что для юга Тюменской области считается отличным результатом. Анализ сбора зерна по годам показал, что в 2019 г. урожай был на уровне предыдущего варианта – 5,07 т/га, при НСР₀₅ равном 0,2 т. В 2018 г. недобор зерна составил 8% – фактическая урожайность 5,54 т/га. По нашему мнению, причиной неполучения планируемого урожая является отклонение от оптимума водного и температурного режимов в критические периоды развития яровой пшеницы.

Вегетационный период 2020 г. характеризовался оптимальным сочетанием погодных условий и уровня минерального питания. Фактический сбор зерна соответствовал планируемой урожайности – 6,24 т/га в пересчете на 14% влажность и 100% чистоту. Прибавка урожая относительно контроля составила 3,57 т/га. Данный факт указывает на то, что Новосибирская-31 является сортом интенсивного типа, который способен в условиях юга Тюменской области формировать высокие урожаи.

Таким образом, в лесостепной зоне Зауралья плодородие черноземов выщелоченных обеспечивает формирование урожая яровой пшеницы от 1,85 до 2,24 т/га, вследствие неустойчивого азотного режима. Научно-обоснованная система удобрений, учитывающая запасы питательных веществ в почве, климатические особенности региона и генетический потенциал сорта позволяют получать стабильные урожаи до 5,0 т/га. Формирование урожая яровой пшеницы при внесении минеральных удобрений происходит за счет дополнительного кущения ($r=0,91$), образования продуктивных побегов ($r=0,87$) и массы 1000 зерен ($r=0,89$). Уровень минерального питания не оказывает существенного влияния на озерненность колоса ($r=0,54$). Для получения стабильных урожаев яровой

пшеницы свыше 5,0 т/га в условиях Северного Зауралья требуется подбор сорта с высокой озерненностью колоса (>30 шт.), крупным зерном (масса 1000 зерен не менее 34 г), ограниченным кущением и высотой не более 75 см.

При расчете доли вклада в формирование урожая яровой пшеницы мы воспользовались данными за весь период существования стационара с 1995 по 2020 гг. Это было необходимо сделать, чтобы охватить все возможные вариации погодных условий лесостепной зоны Зауралья. Наши расчеты показали, что минеральные удобрения при существующей системе земледелия оказывают серьезное влияние на формирование урожая зерновых культур – 55,7% (табл. 18).

Таблица 18 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа и доля вклада в формировании урожая яровой пшеницы (2018-2020 гг.)

Источник вариации	Сумма квадратов	Сумма степеней свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{таб095}}$	Влияние, %
Уровень минерального питания (фактор А)	492	3	164,13	107346,2	2,6	55,7
Погодные условия (фактор В)	271	25	10,87	7108,5	1,6	30,7
Взаимодействие АВ	119	75	1,59	1039,8	1,3	13,4

Влияние погодных условий несколько слабее, их доля составляет 30,7%, при $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Анализ также показал, что благодаря оптимизации минерального питания возможно уменьшение негативного влияния погодных условий на урожайность – взаимодействие факторов АВ составляет 13,4%.

ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

В условиях лесостепной зоны Зауралья без внесения удобрений можно получить урожай яровой пшеницы до 2,0 т/га. За счет минеральных удобрений возможно получение стабильного урожая до 5,0 т/га в годы с незначительным отклонением в ту или иную сторону от среднепогодных значений. Получение урожая 6,0 т/га зерна за счет минеральных удобрений сопряжено с определенными рисками, вследствие неблагоприятных погодных условий в критические фазы развития зерновых культур.

Для определения эффективности минеральных удобрений мы использовали общепринятые экономические показатели. Для удобства расчет вели по ценам 2020 года. Стоимость 1 тонны минеральных удобрений составила: аммиачная селитра – 18000 руб., аммофос – 24750 руб. Цена реализации зерна яровой пшеницы – 11000 руб./т. Расчет прямых затрат на изучаемых вариантах вели по электронной технологической карте, разработанной на кафедре математики и информатики. Экономическая эффективность рассчитывалась по двум критериям: ожидаемый эффект, который обусловлен получением планируемой урожайности. Такой вид расчета дает возможность прогнозировать экономику предприятия на стадии планирования хозяйственной деятельности; второй критерий – фактический эффект. Он основан на расчете экономической эффективности по фактической урожайности и дает возможность посчитать финансовую выгоду в конце года. Также по этому критерию возможен расчет экономических рисков, связанных с неблагоприятными погодными условиями или другими форс-мажорными обстоятельствами. Рентабельность применения удобрений рассчитывали по отношению прибыли к затратам в процентном выражении.

Расчеты показали, что в 2020 г. прямые затраты на контроле составили 16850 руб./га (табл. 19). В структуре затрат были учтены средства

химической защиты и элементы технологии возделывания яровой пшеницы. Урожайность яровой пшеницы на лесостепных выщелоченных черноземах обычно не превышает 2,0 т/га, поэтому себестоимость составляет 8425 руб./т. Прибыль от реализации будет равна 5150 руб./га при рентабельности 31%, что для современной экономики России довольно низкая величина. Расчет экономической эффективности по фактической урожайности, полученной на контроле в среднем за годы исследований, полностью совпал с ожидаемым эффектом.

Таблица 19 – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений на яровой пшенице (2018-2020 гг.)

Варианты	Затраты, руб./га	Ожидаемый эффект			Фактический эффект		
		Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %	Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Рентабельность, %
Без удобрений	16850	8425	5150	31	8425	5150	31
N ₄₀ P ₇₅	21350	7117	11650	55	6887	12750	60
N ₁₅₀ P ₂₀₀	33240	6648	21760	65	6272	25060	75
N ₁₈₅ P ₁₆₀	34200	5700	31800	93	6107	27400	80

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га увеличило прямые затраты на 27% относительно контроля. Расчетная себестоимость 1 тонны зерна уменьшилась до 7117 руб., что положительно отразилось на ожидаемой прибыли, которая была почти в два раза выше чем на контроле и составила 11650 руб./га. Рентабельность внесения удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна увеличилась с 31 до 55%, что сопоставимо данными передовых хозяйств юга Тюменской области. Фактические показатели экономической эффективности на этом варианте оказались несколько выше, поскольку сбор зерна в среднем за годы

исследований был выше расчетных значений. Прибыль составила 12750 рублей, что на 9,5% выше ожидаемого эффекта. Рентабельность была равна 60%.

Внесение удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га обуславливает серьезное увеличение затрат на выращивание зерновых культур. Вложить на 1 гектар 33240 руб. может позволить себе только крупное предприятие. Нужно учесть, что себестоимость производимой продукции остается на уровне предыдущего варианта, хотя ожидаемая прибыль возрастает до 21760 руб./га при неизменной рентабельности – 65%. Фактический эффект оказался выше расчетных значений. Прибыль от реализации товарной продукции составила 25060 руб./га, что в 5 раз выше контроля, при незначительном снижении рентабельности до 75%.

Следует обратить внимание на прямые затраты варианта с максимальной планируемой урожайностью (6,0 т/га зерна), которые увеличились незначительно относительно предыдущих вариантов – 34200 руб./га. Причиной этого является то, что опыт по изучению минеральных удобрений является многолетним и все делянки фиксированы в пространстве. За годы существования стационара, на котором систематически вносили удобрения, началось постепенное накопление подвижного фосфора. Это дало возможность в наших опытах уменьшить дозу фосфорных удобрений и формировать урожай пшеницы преимущественно за счет почвенных фосфатов. Это благоприятно отразилось на теоретической себестоимости товарной продукции, которая уменьшилась до 5700 руб./т. Ожидаемая прибыль, как и рентабельность оказались максимальными в опытах. Поскольку планируемая урожайность 6,0 т/га зерна в годы исследований не была достигнута, то это должно было отразиться на экономике выращивания яровой пшеницы. Себестоимость товарной продукции оказалась выше расчетных значений на 7% и была равна 6107 руб./т. Также фактическая прибыль оказалась ниже расчетной, но она по-прежнему была выше остальных вариантов. Рентабельность

выращивания яровой пшеницы на максимальном агрофоне составила 80%, что значительно меньше расчетных значений.

В таблице 20 мы привели расчет стоимости вносимых на планируемую урожайность яровой пшеницы удобрений. Для получения урожая 3,0 т/га, как показали расчеты, необходима доза $N_{40}P_{75}$ кг действующего вещества. Это соответствовало 144 кг/га аммофоса.

Таблица 20 – Дозы удобрений для получения планируемой урожайности яровой пшеницы (2018-2020 гг.)

Вариант	Действующее вещество, кг/га		Физическая масса, кг/га		Стоимость удобрений, руб./га		
	N	P	селитра	аммофос	селитра	аммофос	всего
Без удобрений	0	0	0	0	0	0	0
$N_{40}P_{75}$	40	75	0	144	0	3570	3570
$N_{150}P_{200}$	150	200	301	385	5418	9519	14937
$N_{185}P_{160}$	185	160	429	308	7726	7615	15341

Поскольку стоимость фосфорных удобрений является наиболее высокой в отношении других видов минеральных удобрений, то затраты на получение 3,0 т/га зерна возросли на 3570 руб. Доля аммофоса в затратной части составила 17% (рис. 12).

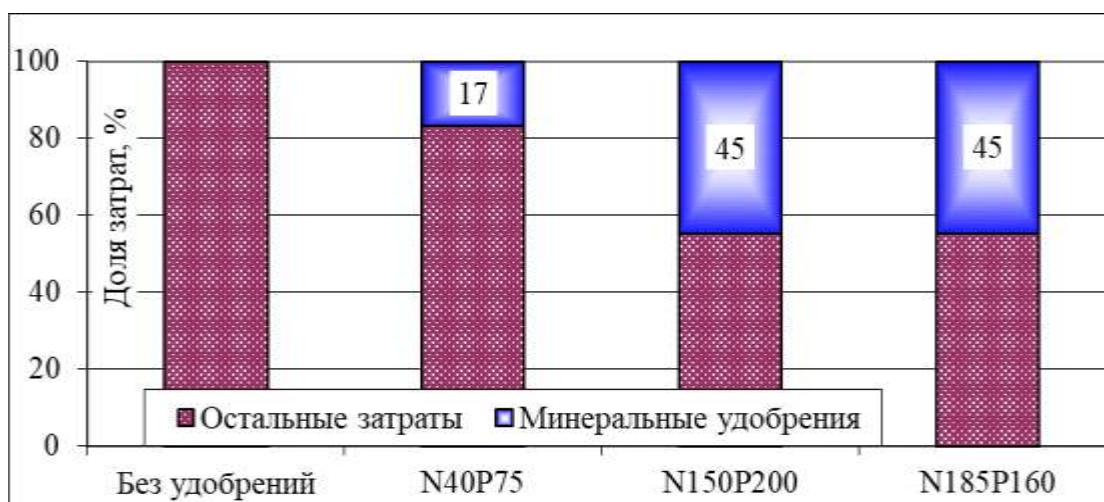


Рисунок 12 – Доля стоимости минеральных удобрений в прямых затратах при выращивании яровой пшеницы на планируемую урожайность, % (2018-2020 гг.)

Более половины урожая формируется исключительно за счет минеральных удобрений, а не почвенного плодородия. Для получения урожая 5,0 т/га требуется доза $N_{150}P_{200}$ кг д.в./га, что соответствует 301 и 385 кг аммиачной селитры и аммофоса. Это в три раза выше общепринятых норм удобрений, используемых в хозяйствах юга Тюменской области (Шерстобитов С.В, Абрамов Н.В., 2020). Стоимость такой дозы минеральных удобрений составляет 14937 руб., из которых 64% приходится на аммофос. По нашему мнению, нежелание сибирских аграриев увеличивать урожайность зерновых культур на черноземах свыше 4,0 т/га объясняется необходимостью применения фосфорных удобрений, стоимость которых существенно превышает аммиачную селитру. В структуре затрат на выращивание яровой пшеницы 45% приходится на стоимость минеральных удобрений. Если же учесть еще и затраты на их транспортировку и внесение их на поле, то эта цифра увеличится до 50%.

Для получения 6,0 т/га зерна требуется внесение $N_{185}P_{160}$ кг д.в./га. Нужно отметить, что доза фосфорных удобрений уменьшилась относительно предыдущего варианта. Это объясняется тем, что многолетний опыт ведется строго на фиксированных делянках и за годы его проведения содержание фосфора достоверно увеличилось. При расчете доз удобрений на планируемую урожайность это было учтено. Общая стоимость удобрений на варианте с максимальным агрофоном составила 15341 руб./га, что также соответствует 45% от общих затрат на получение 6,0 т/га зерна яровой пшеницы.

Необходимо учитывать, что в производственных условиях экономические показатели планирования урожайности свыше 5,0 т/га зерна яровой пшеницы будут отличаться, по причине существенного варьирования содержания в почве азота и фосфора. Во многих хозяйствах имеются поля, где содержание фосфора достигает 150-180 мг/кг, что достаточно для получения урожаев зерновых культур 5,0 т/га при использовании только азотных удобрений.

Таким образом, научно-обоснованный подход при разработке системы удобрений с учетом почвенных особенностей региона позволяет максимально эффективно применять минеральные удобрения, что благоприятно отразится на экономических показателях сельскохозяйственных предприятий.

Следует вывод, что плодородие лесостепного чернозема выщелоченного обеспечивает формирование урожая 1,85-2,24 т/га без применения минеральных удобрений. В условиях Северного Зауралья стабильная урожайность яровой пшеницы была получена на вариантах с NP на 3,0 и 5,0 т/га зерна. На максимальном агрофоне планируемый сбор зерна был получен только в 2020 г. – 6,24 т/га.

Затраты по выращиванию яровой пшеницы без минеральных удобрений на черноземе выщелоченном составляют 16850 руб./га; себестоимость зерна – 8425 руб./т. Прибыль от реализации зерна 5150 руб./га при рентабельности 31%, что в современных условиях рыночной экономики является недостаточным для стабильной деятельности хозяйства. Внесение удобрений на планируемые урожаи от 3,0 до 6,0 т/га увеличивает затраты до 21350-34200 руб./га. Фактическая прибыль от реализации зерна отмечена на варианте с планируемой урожайностью 6,0 т/га – 27400 руб./га, при рентабельности 80%. За счет неполучения планируемого урожая в 2018 и 2019 гг. экономические показатели оказались меньше расчетных значений (ожидаемого эффекта).

Стоимость минеральных удобрений для получения планируемой урожайности 3,0 т/га зерна яровой пшеницы равна 3570 руб./га, что в структуре затрат составляет 17% и является минимальным значением среди изучаемых вариантов. Дальнейшее повышение уровня минерального питания приводит к серьезному повышению доли удобрений в затратной части выращивания яровой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по изучению влияния минеральных удобрений на агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного были сделаны соответствующие выводы:

1. Чернозем выщелоченный лесостепной зоны Зауралья характеризуется очень высокой межсезонной вариабельностью интенсивности целлюлозоразложения. Коэффициент вариации на контроле находился в пределах 42-51%. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{75}$ кг/га увеличивало скорость разложения целлюлозы на 22% относительно контроля. Дальнейшее повышение уровня минерального питания в 2 раза усиливает разложение целлюлозы по всему пахотному слою, достигая 57% за три месяца экспозиции. Доля вклада минеральных удобрений при целлюлозоразложении составила 62%, доля вклада влажности и температуры – 24%.

2. Высокие дозы минеральных удобрений ($N_{150}P_{200}$ и $N_{185}P_{160}$ кг/га) оказывают максимальное влияние на педотрофную микробиоту, численность которой возрастала в 2,5-3,0 раза по сравнению с контролем. Увеличение данной группы микроорганизмов создает благоприятные условия для интенсивной минерализации гумусовых веществ, что подтверждается коэффициентом педотрофности, который в опытах составил 2,4-3,2 ед.

3. Численность грибной микробиоты чернозема выщелоченного в течение вегетационного периода возрастала с 13 до 22 млн. КОЕ. Внесение удобрений в дозе $N_{40}P_{75}$ кг/га стимулировало их развитие. Количество почвенных грибов в пахотном слое увеличивалось до 33,0 млн. КОЕ/г почвы. Внесение высоких доз минеральных удобрений угнетало почвенные грибы и способствовало снижению их количества до 11,0-14,0 млн. КОЕ/г почвы, что на 64% ниже контроля.

4. Доля актиномицетов пахотного чернозема выщелоченного минимальна. Их численность не превышала 2,8 млн. КОЕ/г почвы, при

соотношении грибы/актиномицеты равно 0,1 ед. К началу уборочных работ численность актиномицетов уменьшалась до 0,3 млн. КОЕ/г почвы. Систематическое внесение минеральных удобрений приводит к увеличению грибной микробиоты, тем самым способствует активному развитию патогенной микробиоты, о чем свидетельствует повышение отношения грибы/актиномицеты в 7 раз относительно контроля.

5. Внесение минеральных удобрений в дозах до $N_{150}P_{200}$ стимулировало синтез полифенолоксидазы на 22-23% относительно контроля. Дальнейшее повышение уровня минерального питания ингибировало полифенолоксидазную активность на 12% по отношению к контролю. Минеральные удобрения, даже в низких дозах, оказывают отрицательное влияние на пероксидазную активность чернозема, которая снижалась на 19-27% относительно контроля. Соотношение активности этих ферментов показало, что оптимальные условия для гумусообразования создаются при внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность до 5,0 т/га зерна включительно на фоне заправки соломой. Использование высокой дозы минеральных удобрений ($N_{185}P_{160}$) ингибировало ферментативную активность почвы и способствовало минерализации гумусовых веществ.

6. Чернозем выщелоченный лесостепной зоны Зауралья характеризуется неустойчивым нитратным режимом и очень низкой обеспеченностью – перед началом посевных работ содержание нитратного азота в слое 0-40 см в среднем составило 4,2 мг/кг почвы. Систематическое внесение высоких доз минеральных удобрений (NP на 6,0 т/га зерна) не имело эффекта накопления нитратов в почве в весенний период. Доза удобрений $N_{40}P_{75}$, рассчитанная на планируемую урожайность 3,0 т/га, способствовала повышению нитратов в фазу кущения до 22,1, но к цветению происходило снижение до 7,9 мг/кг почвы. Внесение $N_{150}P_{200}$ и $N_{185}P_{160}$, рассчитанных на получение 5,0 и 6,0 т/га зерна, формировало избыточно высокий минеральный фон в первой половине вегетации. Перед

уборкой содержание нитратов уменьшалось до 6,7 и 8,8 мг/кг соответственно.

7. При отсутствии минеральных удобрений наблюдалось минимальное накопление легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см чернозема выщелоченного. Его содержание составило 128 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности. Влияния внесения минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га ($N_{40}P_{75}$) на содержание легкогидролизуемого азота в черноземе не выявлено. Интенсивный агрофон, обеспечивающий получение урожая 5,0 т/га зерна и выше, привел к увеличению содержания легкогидролизуемого азота до 148 мг/кг почвы, что на 16% выше значений контроля. Максимальное влияние на содержание легкогидролизуемого азота оказывали почвенные условия (температура, влажность), которые создаются при механической обработке почвы. Их влияние (доля) составило 49,7%. Вклад минеральных удобрений в содержание легкогидролизуемого азота составил 14,6%. Минимальное влияние оказали погодные условия вегетационного периода – их доля 3,2%.

8. Нитрификационная способность чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья в среднем составила 10,0-12,5 мг/кг почвы, что соответствует средней степени активности. В первой половине лета она достигала 10,1-16,3 мг/кг почвы, снижаясь до 7,7-8,6 мг/кг почвы в августе. Создание агрофона, обеспечивающее получение 3,0 т/га зерна, не оказывает достоверного влияния на нитрификационную способность чернозема выщелоченного на протяжении всего вегетационного периода. Внесение $N_{150}P_{200}$ кг/га стимулировало активность олигонитрофилов, что благоприятно отразилось на нитрификационной способности чернозема в слое 0-20 см – 20,7 мг/кг, что почти на 40% выше значений контроля. Максимальный агрофон (NP на 6,0 т/га зерна) угнетал нитрификационную способность чернозема выщелоченного, которая в среднем составляла 15 мг/кг почвы. Дисперсионный анализ показал, что минеральные удобрения достоверно оказывали существенное влияние на нитрификационную

способность пахотного чернозема – 59,6%. Погодные условия в период отбора почвенных образцов оказывают существенно меньшее влияние – 12,6%.

9. Текущая нитрификация обеспечивала в течение вегетации накопление 54-60 кг/га доступного растениям азота при отсутствии минеральных удобрений. Внесение азотных удобрений (N_{150}) на планируемую урожайность до 5,0 т/га зерна яровой пшеницы увеличивало количество азота текущей нитрификации до 85 кг/га. Дальнейшее повышение уровня минерального питания за счет азотных удобрений (N_{185} кг/га д.в.) способствовало снижению нитрифицирующей микрофлоры и уменьшению количества накапливаемого азота текущей нитрификации до 60 кг/га. Минеральные удобрения оказывали существенное влияние на текущую нитрификацию чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья. Доля их влияния составила 71,4%, тогда как погодные условия вегетации – 9,4%. Между дозами азотных удобрений и азотом текущей нитрификации существует сильная корреляционная связь, выражаемая в виде уравнения регрессии: $y = -0,003x^2 + 6,331x + 63,048$.

10. Биологические процессы в черноземе выщелоченном обеспечивают формирование стабильного урожая яровой пшеницы до 2,0 т/га. Дальнейшее повышение урожая возможно за счет минеральных удобрений. В среднем за годы исследований сбор зерна совпадал с расчетными значениями только при внесении удобрений на планируемую урожайность до 5,0 т/га. Минеральные удобрения оказали серьезное влияние на формирование урожая зерновых культур – 55,7%. Влияние погодных условий слабее, их доля составила 30,7%.

11. Формирование урожая яровой пшеницы при внесении минеральных удобрений происходит за счет дополнительного кущения ($r=0,91$), образования продуктивных побегов ($r=0,87$) и массы 1000 зерен ($r=0,89$). Уровень минерального питания не оказывает существенного влияния на озерненность колоса ($r=0,54$).

12. Затраты по выращиванию яровой пшеницы без минеральных удобрений на черноземе выщелоченном составили 16850 руб./га; себестоимость зерна – 8425 руб./т. Прибыль от реализации зерна 5150 руб./га при рентабельности 31%. Внесение удобрений на планируемые урожайности от 3,0 до 6,0 т/га увеличивало затраты до 21350-34200 руб./га. Фактическая прибыль от реализации зерна отмечена на варианте с планируемой урожайностью 6,0 т/га – 27400 руб./га, при рентабельности 80%. За счет неполучения планируемого урожая в 2018 и 2019 гг. экономические показатели оказались меньше расчетных значений (ожидаемого эффекта). Стоимость минеральных удобрений для получения планируемой урожайности 3,0 т/га зерна яровой пшеницы равна 3570 руб./га, что в структуре затрат составило 17% и стало минимальным значением среди изучаемых вариантов. Дальнейшее повышение уровня минерального питания приводило к серьезному повышению доли удобрений в затратной части выращивания яровой пшеницы.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

Для предотвращения негативного влияния минеральных удобрений на биологические свойства чернозема выщелоченного рекомендуется их внесение в дозах, не превышающих $N_{150}P_{200}$, что соответствует получению планируемой урожайности 5,0 т/га зерновых культур. При разработке системы удобрений на планируемую урожайность от 3,0 до 5,0 т/га рекомендуется учитывать повышение величины азота текущей нитрификации до 85 кг/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абанин Д.В. Влияние удобрений на урожайность и качество зерна ячменя, плодородие и микробиологическую активность почвы в условиях юго-востока ЦЧЗ: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж. – 2008. – 29 с.
2. Абрамов Н.В. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от основной обработки почвы и уровня минерального питания / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 6 (98). – С. 4-7.
3. Абрамов Н.В. Проблемы получения максимально возможной урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 1. – С. 31-34.
4. Абрамов Н.В. Азот текущей нитрификации и хозяйственный вынос - как фактор программирования урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов, Д.И. Ерёмин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 2. – С. 25-29.
5. Абрамов Н.В. Агроэкономическое обоснование применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Северном Зауралье / Н.В. Абрамов, Д.В. Еремина, Д.И. Еремин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – №5. – С. – 11-17.
6. Абрамов Н. В. Оптимизация азотного питания яровой пшеницы при использовании спутниковых навигационных систем / Н. В. Абрамов, С. В. Шерстобитов, С. А. Семизоров // 75 лет географической сети опытов с удобрениями: мат. совещ. научных учреждений. – Москва, 2016. – С. 10-16.
7. Агроклиматические ресурсы Тюменской области. Л.: Гидрометеиздат. – 1972. – 151 с.
8. Азаров В.Б. Биологические свойства чернозема типичного в зависимости от интенсивности сельскохозяйственного использования / В.Б. Азаров // Бюл. ВИУА. – 2001. – № 115. – С. 110-111.

9. Алесина Н.В. Влияние различной влажности на состав микробных ценозов ризосферы и ризопланы на примере овса (*AVENA SATIVA*) / Н.В. Алесина, Т.А. Снисаренко // Вестник МГОУ. Серия: естественные науки. – 2010. – № 2. – С. 38-44.
10. Алешин Е.П. Микрофлора почвы рисового поля при внесении микроудобрений / Е.П. Алешин, Н.С. Гловко, А.Х. Шеуджен, О.А. Досеева // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. – № 11. – С. 11-13.
11. Аль Дхухайбави Х.Х. Кислотность и содержание гумуса в почве под влиянием минеральных удобрений и предшественников озимой пшеницы / Х.Х. Аль Дхухайбави, С.И. Смуров, А.Г. Ступаков // Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее. – 2019. – С. 56.
12. Ананьева Ю.С. Биологическая активность Алтайского Приобья при внесении органо-минеральных удобрений / Ю.С. Ананьева // Плодородие. – 2008. – № 6. (45). – С. 27-28.
13. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно-преобразованных почв Западной Сибири / В.С. Артамонова // – Новосибирск/ – 2002. – 225 с.
14. Ахтямова А.А. Изменение химического состава запаханной соломы под действием агрохимикатов / А.А. Ахтямова // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – №4 (24). – С. 17-20.
15. Ахтямова А.А. Процесс высвобождения питательных веществ из запаханной соломы на чернозёме выщелоченном в условиях Северного Зауралья // А.А. Ахтямова, А.А. Савченко // АПК России. – 2017 – Т. 24 – №5. – С. 1066-1070.
16. Аюпов З.З. Органическое вещество и ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от приемов основной обработки почвы и удобрения / З.З. Аюпов, Л.В. Сидорова, Н.С. Анохина и др. // Вестник Башкирского ГАУ. – 2010. – № 2. – С. 11-16.

17. Бабьева И. П. Биология почв / И. П. Бабьева, Г. М. Зенова // Москва. – 1989. – 336 с.
18. Безуглова О.С. Ферментативная активность чернозема обыкновенного при разложении соломы в почве / О.С. Бузуглова, О.И. Наими, Е.А. Полиенко и др. // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12 (2). – С. 199-204.
19. Белоус И.Н. влияние сочетания органических и минеральных удобрений в севообороте на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы / И.Н. Белоус, В.Б. Коренев, Л.А. Воробьева // Молодой ученый. – 2015. – № 8-3 (88). – С. 4-10.
20. Белюбченко И.С. Особенности развития бактериальной микрофлоры почв в северных районах Кубани / И.С. Белюбченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2018. – Том 14. – № 14. С. 36-42.
21. Белюбченко И.С. Микроорганизмы почв и их роль в функционировании аграрных ландшафтов / И.С. Белюбченко // Наука, технологии и инновации в современном мире. – 2016. – №1(3). – С. 18-25
22. Берсенева О.А. Почвенные микромицеты основных природных зон / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова, А.А. Приставка // Известия Иркутского ГУ. – 2008. – № 1. – Т. 1. – С. 3-9.
23. Блынская Т.А. Агроэкологическая оценка и пути регулирования почвенного плодородия сельскохозяйственных угодий Архангельской области: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Москва. – 2009. – 18 с.
24. Бижоев Б. М. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы, баланс питательных веществ и продуктивность севооборотов в степной зоне Кабардино-Балкарской АССР / Б. М. Бижоев // Агрохимия. – 1988. – №3. – С. 37-44.
25. Бобренко И.А. Параметры плодородия пахотных почв земель сельскохозяйственного назначения Омской области: монография / И.А.

Бобренко, Я.Р. Рейнгард, Ю.В. Аксенова и др. // Издательский дом "Литера" (Санкт-Петербург). – 2016. – 108 с.

26. Бобренко И.А. Оптимизация минерального питания кормовых, овощных культур и картофеля на черноземах Западной Сибири: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. – Омск. – 2004. – 36 с.

27. Борейша В.И. Влияние удобрений соломой на свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур в звеньях севооборотов / В.И. Борейша, Р.Р. Вильдфлуш // АН СССР. Институт почвоведения. – М.: Наука. – 1980. – С. 156-170.

28. Бурлакова Л.М. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов / Л. М. Бурлакова, Г. Г. Морковкин // Агрохимический вестник. – 2005. – № 1. – С. 002-004.

29. Васько В.Т. Основы семеноведения полевых культур / В.Т. Васько // СПб: Лань. – 2012. – 304.

30. Верниченко Л.Ю. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Л.Ю. Верниченко, Е.Н. Мишустин // Использование соломы как органического удобрения. – М: Наука, 1980. – С. 3-24.

31. Власенко А.Н. Совершенствование научных основ Сибирского земледелия / А.Н. Власенко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 10 (202). – С. 27-35.

32. Галсанова Б.Ж. Влияние соломы и диспергирования почвенных частиц на плодородие и продуктивность каштановой почвы Бурятии: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Бурятская ГСХА им. В. Р. Филиппова. – 2012. – 22 с.

33. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении / А.Ш. Галстян // Ереван: Айастан. – 1974. – 275 с.

34. Гамзиков Г.П. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений / Г.П. Гамзиков,

П.А. Барсуков, О.Д. Варвайн // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2007. – № 5. – С. 28-31.

35. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, НовосибирГАУ. – 2013. – 790 с.

36. Гамзиков Г.П. Агрохимические проблемы Сибирского земледелия / Г. П. Гамзиков // Вестник Новосибирского ГАУ. – 2012. – № 1-1 (22). – С.17-25.

37. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков // М.: Наука. – 1981. – 268 с.

38. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота лугово-черноземных почв Сибири / Г.П. Гамзиков // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 82-91.

39. Гармашов В.М. Биологическая активность чернозема обыкновенного при различных способах основной обработки почвы под ячмень / В.М. Гармашов, И.М. Корнилов, Н.А. Нужная и др. // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2019. – № 3 (58). – С. 22-27.

40. Гейдебрехт В.В. Распределение микроорганизмов по профилю почв разных типов: дисс. ... канд. биол. наук. – Москва. – 1999. – 137 с.

41. Гасанова Е.С. Изменение содержания и строения гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и дефеката / Е.С. Гасанова, А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин и др. // Вестник Воронежского ГАУ. – 2019. – № 4 (63). – Т.12. – С. 113-122.

42. Глухих М.А. Динамика плодородия почв Зауралья / М.А. Глухих, Т.С. Калганова Т.С. // Вестник Оренбургского ГУ. – 2017. – № 12 (212). – С. 4-6.

43. Гомонова Н.Ф. Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений / Н.Ф. Гомонова, В.Г. Минеев // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 23-31.

44. Гончар-Зайкин П. П., Чертов В. Г. Надстройка к EXCEL для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных

опытов // Рациональное природопользование и сельскохозяйственное производство в южных регионах Российской Федерации. М.: Современные тетради, 2003. С. 559–565.

45. Грехова И.В. Пути повышения плодородия почв и продуктивности культур в лесостепной зоне Зауралья: монография / И.В. Грехова, В.К. Семенов, Н.В. Матвеева // Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – 2020. – 236 с.

46. Гусев М.В. Микробиология / М.В. Гусев, Л.А. Минеева // М.: Издательский центр «Академия». – 2003. – 464 с.

47. Девягова Т.А. Изменение ферментативной активности чернозема выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений / Т.А. Девягова, Т.Н. Крамарева // Научное обеспечение устойчивого свекловодства в России: Мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. – 2003. – С. 133-138.

48. Дёмин Е.А. Азотный режим кукурузы, выращенной по зерновой технологии в лесостепной зоне Зауралья / Е.А. Дёмин, Д.И. Ерёмин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 12 (158). – С. 10-16.

49. Дмитриев Н.Н. Систематическое применение удобрений как фактор стабилизации плодородия серых лесных почв и продуктивности зерновых культур в зернопаровом севообороте / Н.Н. Дмитриев, Г.П. Гамзиков // Агрохимия. – 2015. – № 2. – С. 3-12.

50. Добровольская Т.Г. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т.Г. Добровольская, Д.Г. Звягинцев, И.Ю. Чернов и др. // Почвоведение. – 2015. – № 9. – С. 1087.

51. Дорофеева Е.А. Влияние минеральных и органических удобрений на биологическую активность дерново-подзолистых и серых лесных почв Среднего Поволжья: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Саранск. – 2003. – 17 с.

52. Дорошенко Е.А. Влияние влажности на рост и развитие почвенных актиномицетов: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Москва. – 2005. – 28 с.
53. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б.А. Доспехов // – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
54. Дудкина Т.А. Интенсивность разложения целлюлозы в почве под озимой пшеницей под влиянием севооборота и удобрений / Т.А. Дудкина, И.В. Дудкин // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: сб. конф. – 2017. – С. 1098-1101.
55. Дудук А.А. Влияние приемов основной обработки почвы и норм азотных удобрений на микрофлору почвы и урожайность маслосемян озимого рапса / А.А. Дудук, П.Л. Тарасенко, Н.И. Таранда // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – 2016. – С. 72-78.
56. Дьяченко Е.Н. Влияние удобрений и основной обработки на азотный режим серых лесных почв и урожайность полевых культур / Е.Н. Дьяченко, В.Т. Мальцев // Агрохимия. – 2008. – № 4. – С. 5-14.
57. Емцев В.Т. Сельскохозяйственная микробиология: практическое пособие / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – Перераб. и доп.: Москва. Юрайт. – 2018. – 205 с.
58. Енина А.В. Влияние системы основной обработки на биологическую активность чернозема лесостепной зоны Зауралья / А.В. Енина, Н.В. Фисунов // Инновационные технологии в науке и образовании. – 2017. – С. 212-216.
59. Еремин Д.И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрений под зерновые культуры в Северном Зауралье / Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 8 (74). – С. 35-37.

60. Еремин Д. И. Продуктивность с занятым паром севооборота в условиях Северного Зауралья: дисс. ... канд. с.-х. наук. – Тюмень. – 2002. – 206 с.
61. Еремин Д.И. Стабилизация гумусного состояния пахотных черноземов лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Еремин // Земледелие. – 2014. – № 1. – С. 29-31.
62. Еремин Д.И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений / Д.И. Еремин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 6. – С. 20-26.
63. Еремин Д.И. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья / Д. И. Ерёмин // Молодой ученый. – 2016. – № 12 (116). – С. 1062-1064.
64. Еремин Д.И. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 584-592.
65. Еремин Д.И. Минеральные удобрения и плодородие Сибирского чернозема. Результаты многолетних исследований / Д.И. Еремин // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 4. – С. 36-40.
66. Ермакова А.Г. Биологическая активность выщелоченного чернозема Зауралья / А.Г. Ермакова, Н.М. Сулимова // Черноземные почвы лесостепи Зауралья. – 1973. – 157 с.
67. Ермохин Ю.И. Почвенная диагностика минерального питания яровой пшеницы в условиях Западной Сибири / Ю.И. Ермохин // Мир Инноваций. – 2015. – № 1-4. – С. 67-72.
68. Ермохин Ю.И. Основы прикладной агрохимии: учебное пособие / Ю.И. Ермохин // Омск: Вариант-Сибирь. – 2004. – 120 с.
69. Ермохин Ю.И. Система почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / Ю.И.

Ермохин, И.А. Бобренко // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016. – №4 (7). – С. 4-7.

70. Ефимов В.Н. Система удобрений: Учебник по агроном. специальностям / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко; под ред. В.Н. Ефимова. – М.: Колос. – 2002. – 319 с.

71. Журавлева А.С. Термофильные аэробные бактерии в почвах Апшерского полуострова (Азербайджан) / А.С. Журавлева, В.Н. Акимов, Т. Раттай и др. // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. – 2019. – С. 242-246.

72. Зайцева Г.А. Влияние удобрений на агрономические показатели чернозема выщелоченного и уровень урожайности озимой пшеницы / Г.А. Зайцева // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2011. – № 2-1. – С. 104-108.

73. Звягинцев Д.Г. Экология актиномицетов. / Д.Г. Звягинцев, Г.М. Зенова // М. Изд-во ГЕОС. – 2001. – 256 с.

74. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев // Издательство: МГУ. – 1987 г. – 256 с.

75. Звягинцев Д.Г. Биология почв: Учебник. 3-е изд., испр. и доп. / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – Москва, 2005. – 445 с.

76. Зинченко М.К. Влияние природных и антропогенных факторов на ферментативную активность серой лесной почвы / М.К. Зинченко, И.Ю. Винуков // Системы интенсификации земледелия как основа инновационной модернизации аграрного производства. – 2016. – С. 228-235.

77. Зинченко М.К. Мониторинг ферментативной активности уреазы в серых лесных почвах Верхневолжья / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко // Земледелие. – 2020. № 6. – С. 21-24.

78. Иваненко А. С. Агроклиматические условия Тюменской области / А. С. Иваненко, О. А. Кулясова // Тюмень. – ТГСХА. – 2008. – 206 с.

79. Иванова Т.И. Структура и динамика активности микробных сообществ мерзлотных почв Центральной и Южной Якутии: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Якутск. – 2006. – 22 с.
80. Кадычегова А.Н. Динамика подвижных соединений азота в агрочерноземе текстурно-карбонатном под бобовыми культурами / А.Н. Кадычегова, В.В. Чупрова, В.А. Кадычegov // Вестник КрасГАУ. 2009. – № 8 (35). – С. 19-26.
81. Казак А.А. Научные основы разработки модели сорта яровой мягкой пшеницы для Западной Сибири / А.А. Казак, Ю.П. Логинов // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 3 (31). – С. 9-12.
82. Казеев К.Ш. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / К.Ш. Казеев и др., под ред. К.Ш. Казеева: Изд-во Южного федерального университета. – 2016. – 356 с.
83. Каргин В.И. Влияние минеральных удобрений на влагообеспеченность полевых культур на выщелоченном черноземе / В.И. Каргин // Российский научный мир. – 2014. – № 1 (3). – С. 71-86.
84. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. – Новосибирск: – Наука. Сиб. отд-ние, – 1990. – 286 с.
85. Карягина Л.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы в почве / Л.А. Карягина, Н.А. Михайловская // Вестник АН БССР. – 1986. – № 2. – С. 40-41.
86. Кейль А.В. Влияние традиционной и минимальной систем обработки почвы на содержание в почве нитратного азота / А.В. Кейль // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 2 (143). – С. 191-198.
87. Клевенская И.Л. Олигонитрофильные микроорганизмы почв Западной Сибири / И.Л. Клевенская // Новосибирск: Наука. – 1974. – 220 с.
88. Кидин В.В. Влияние перемешивания и аэрации разных горизонтов почвы на продуцирование CO₂, нитрификацию и денитрификацию азота удобрений / В.В. Кидин, В.В. Зенкина // Агрохимия. – 2009. – № 6. – С. 9-15.

89. Климкина Ю.М. Влияние удобрений на урожайность ячменя и целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой почвы / Ю.М. Климкина // Агрохимический вестник. – 2015. – № 3. – С. 34-36.
90. Козлова В.В. Влияние доз азотного удобрения и содержания гумуса на целлюлозоразлагающую активность почвы в посевах озимой пшеницы / В.В. Козлова // Вестник Белорусской ГСХА. – 2019. – № 3. – С. 104-107.
91. Комаренцева Л.Г. Микробиологическая активность почвы на фоне действия и последствий разных видов удобрений / Л.Г. Комаренцева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2010. – № 3 (11). – С. 43-46.
92. Коржов С.И. Изменения микробиологической активности почвы при различных способах ее обработки / С.И. Коржов, В.А. Маслов, Е.С. Орехова // АГРО XXI. – 2009. – № 1-3. – С. 34-35.
93. Коростылев С.А. Влияние систем удобрений на динамику гидролитической кислотности в условиях длительного стационарного опыта / С.А. Коростылев, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида и др. // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – № 8. – Т. 1. С. – 917-918.
94. Котченко С.Г. Динамика содержания различных форм азота в пахотных серых лесных почвах Северного Зауралья / С.Г. Котченко, Н.А. Груздева, Д.И. Еремин // Плодородие. – 2017. – № 4. – С. 39-43.
95. Кочкина А.В. Процессы аммонификации и нитрификации в почве / А.В. Кочкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2016. – № 4. – С. 9-14.
96. Крамарева Т.Н. Ферментативная активность почв при различных антропогенных воздействиях: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Воронеж. – 2003. – 24 с.
97. Красницкий В.М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири: монография / В.М. Красницкий // Омск: Омский ГАУ. – 2003. – 144 с.

98. Красницкий В.М. Агротехническая диагностика потребности полевых культур в азотных удобрениях / В.М. Красницкий, И.А. Бобренко, А.Г. Шмидт и др. // Плодородие. – 2020. – № 6 (117). – С. 40-44.

99. Красницкий В.М. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 7. – С. 34-38.

100. Круглов Ю.В. Изменение агрофизических свойств и микробиологических процессов дерново-подзолистой почвы в экстремальных условиях высокой температуры и засухи / Ю.В. Круглов, М.М. Умаров, М.А. Мазиров и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 79-87.

101. Круглов Ю.В. Микробное сообщество почвы: физиологическое разнообразие и методы исследования / Ю.В. Круглов // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Том 51. – № 1. – С. 46-59.

102. Кружков Н.К. Совершенствование систем земледелия в центральной лесостепи на основе активизации биологических факторов: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. – Орел. – 2007. – 40 с.

103. Кудеяров В.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки / В.Н. Кудеяров, И.Н. Курганова // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1112-1121.

104. Кузнецова Л.Н. Целлюлозоразрушающая способность микроорганизмов при нулевой технологии / Л.Н. Кузнецова // Вестник Курской ГСХА. – 2014. – № 7. – С. 49-51.

105. Кукишева А.А. Влияние экологических факторов на микрофлору и ферментативную активность дерново-подзолистой почвы Томской области и чернозема выщелоченного Алтайского края: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Новосибирск. – 2011. – 20 с.

106. Кукишева А.А. Изменение микробоценоза дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений / А.А. Кукишева, Н.Н. Наплекова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 14-15.
107. Куликова А.Х. Последствие органических удобрений на свойства почвы и урожайность пшеницы в среднем Поволжье / А.Х. Куликова, Г.В. Сайдышева // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 38-46.
108. Куликова А.Х. Ферментативная активность почвы в зависимости от системы удобрения / А.Х. Куликова, С.А. Антонова, А.В. Козлов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2017. – № 4 (40). – С. 36-43.
109. Куликова М.А. Изменение свойств чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в условиях центрального Черноземья: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Курск. – 2008. – 21 с.
110. Лапа В.В. Влияние систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, М.М. Ломонос и др. // Почвоведение и агрохимия. – 2012. № 2 (49). – С. 187-200.
111. Лисецкий Ф.Н. Изменчивость микробиоты при различных режимах увлажнения почв / Ф.Н. Лисецкий, А.В. Землякова, А.Д. Кириченко // Известия РАН. – 2018. – № 4. – С. 368-376.
112. Лобков Т.В. Влияние органических удобрений и возделываемых культур на азотный режим темно-серой лесной почвы / Т.В. Лобков, Ю.А. Бобкова // Агрохимия. – 2015. – № 10. – С. 3-9.
113. Майсямова Д.Р. Биологический режим чернозёма обыкновенного в процессе сельскохозяйственного использования / Д.Р. Майсямова, Н.В. Абрамов // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 5. – С. 35-37.
114. Майсямова Д.Р. Влияние соломы на численность микроорганизмов чернозёма обыкновенного при минимальной обработке / Д.Р. Майсямова, А.П. Лазарев // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 6. – С. 33-35.

115. Майсямова Д.Р. Качественный состав микрофлоры и проявление токсикоза в темно-серой лесной почве по основным обработкам / Д.Р. Майсямова // Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2014. – № 1 (24). – С. 3-7.
116. Майсямова Д.Р. Биологический режим темно-серых лесных почв в процессе сельскохозяйственного использования / Д.Р. Майсямова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2005. – № 5 (159). – С. 17-23.
117. Майсямова Д.Р. Последствия основных обработок на микробиологический состав темно-серой лесной почвы / Д.Р. Майсямова, А.С. Хлебников // Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2014. – № 1(24). – С. 8-13.
118. Майсямова Д.Р. Фенолоксидазная активность основных типов почв лесостепи Северного Зауралья в агробиоценозах / Д.Р. Майсямова, Н.В. Абрамов, А.П. Лазарев // Вестник ТГСХА. – 2008. – № 1. – С. 16-19.
119. Макаров В.И. Нитрификационная способность почв Удмуртии / В.И. Макаров // Плодородие. – 2016. – № 6 (93). – С. 42-44.
120. Макаров В.И. Нитрификационная способность дерново-подзолистых почв Удмуртии / В.И. Макаров, Т.Н. Галева // Аграрная наука – сельскому хозяйству. – 2017. – С. 178-179.
121. Малюкова Л.С. Влияние минеральных и органических удобрений на биологическую активность почв чайных плантаций / Л.С. Малюкова, Е.В. Рогожина, Д.В. Струкова // Агрохимический вестник. – 2012. № 2. – С. 15-17.
122. Масютенко Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства: монография / Н.П. Масютенко. – РАСХН. – Москва. – 2012. – 150 с.
123. Мелентьев А.И. влияние температуры и влажности почвы на колонизацию ризосферы пшеницы бактериями *bacillus cohn*, антагонистами

фитопатогенов / А.И. Мелентьев, Л.Ю. Кузьмина, Н.Ф. Галимзянова // Микробиология. – 2000. – Том 69. – № 3. – С. 426-432.

124. Менькина Е.А. Микробиологическая активность чернозема обыкновенного разного сельскохозяйственного назначения / Е.А. Менькина // Известия Оренбургского ГАУ. – 2017. – № 4 (26). – С. 203-206.

125. Микитин С.В. Влияние обработки почвы и минерального питания на динамику биологической активности и NPK при возделывании ярового ячменя / С.В. Микитин, А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев и др. // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2017. – Том 12. – № 4. – С. 295-304.

126. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагро-промиздат. – 1990. – 206 с.

127. Минеев В.Г. Плодородие и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений и их последствии / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова, М.Ф. Овчинникова // Агрохимия. – 2004 – № 7. – С. 5-10.

128. Мищенко Л.Н. Почвы Западной Сибири: учебное пособие / Л.Н. Мищенко, А.Л. Мельников. – Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ. – 2017. – 247 с.

129. Мишустин Е.Н. Удобрения и почвенно-микробиологические процессы / Е.Н. Мишустин // Агрономическая микробиология. – Л.: Колос. – 1976. – С. 191-203.

130. Мишустин Е.Н. Почвенные типы и их микробное население / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев // Известия Тимирязевской ГСХА. – 1974. – № 4. С. 73-86.

131. Мишустин Е.Н. Микробиология / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев // Москва. – Издательство: Агропромиздат. – 1987. – 368 с.

132. Мордалева Л.Г. Влияние систем удобрений и погодных условий на целлюлозоразрушающую способность почвы в условиях стационарного полевого опыта КубГАУ / Л.Г. Мордалева // Научное обеспечение Агропромышленного комплекса. – 2017. – С. 235-236.

133. Мосина Л.В. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях / Л.В. Мосина, Г.Е. Мёрзлая // Известия Тимирязевской ГСХА. – 2013. – № 5. – С. 5-18.
134. Моторин А.С. Агрогенная эволюция органического вещества торфяных почв Западной Сибири / А.С. Моторин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Том 50. – № 2. – С. 5-14.
135. Мязин Н.Г. Влияние применения удобрений в севообороте на показатели почвенной кислотности и продуктивность озимой пшеницы при внесении удобрений / Н.Г. Мязин, С.Н. Милютина // Научные основы и пути рационального использования химических сред: – Сб. статей. – 1998. – С. 111-116.
136. Навольнева Е.В. Система удобрения как фактор сохранения гумуса в почве / Е.В. Навольнева, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова, С.А. Дмитриенко // Вестник Курской ГСХА. – 2015. – № 5. – С. 55-57.
137. Назарько М.Д. Теоретическое и экспериментальное обоснование использования микробиологических показателей почв для оценки состояния экосистем Краснодарского края: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Ставрополь. – 2008. – 34 с.
138. Назарюк В. М. Роль азота микробной биомассы в азотном питании растений на почвах лесостепной зоны западной Сибири / В.М. Назарюк, Ф.Р. Калимуллина // Агрохимия. – 2017. – №1. – С. 3-11.
139. Назарюк В. М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В. М. Назарюк // Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2002. – 257 с.
140. Назарюк В.М. Азотный режим различных генотипов макросимбионта / В.М. Назарюк, К.К. Сидорова, В.К. Шумный и др. // Почвоведение. – 2007. – № 2. – С. 189-196.

141. Налян А.Г. Влияние экологических факторов на качественный и количественный состав микробиоты в почвах различных типов ландшафта: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Уфа. – 2010. – 24 с.
142. Наплекова Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири / Н.Н. Наплекова. – Новосибирск: Наука. – 1974. – 250 с.
143. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Томск. – 2004. – 40 с.
144. Обушенко С.В. Влияние сидератов и минеральных удобрений на микробиологическую активность почвы в саду / С.В. Обушенко, В.Б. Троц // Известия Оренбургского ГАУ. – 2018. – № 4 (72). – С. 54-58.
145. Окорков В.В. Использование влаги культурами севооборота и их продуктивность при применении удобрений на серых лесных почвах Верхневолжья / В.В. Окорков, О.А. Фенова, Л.А. Окоркова // Владимирский земледелец. – 2019. – № 1 (87). – С. 4-11.
146. Ореховская А.А. Азотный режим чернозема типичного и продуктивность озимой пшеницы в зависимости от удобрений, способов обработки почвы и видов севооборотов в условиях Юго-Западной части ЦЧР: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Брянск. – 2019. – 20 с.
147. Османьян Р.Г. Влияние зеленого удобрения на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в засушливой степи Оренбуржья / Р.Г. Османьян // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2007. – № 3. – С. 609.
148. Пастухова Н.Д. Физико-химический и биологический анализ почвы и ее плодородия в сельскохозяйственной биотехнологии: учебное пособие / Н.Д. Пастухова // Санкт-Петербург: университет ИТМО. – 2019. – 34 с.
149. Перфильев Н.В. Влияние систем основной обработки на микробиологическую активность темно-серой лесной почвы в Северном

Зауралье / Н.В. Перфильев, О.А. Вьюшина, Д.Р. Майсямова // Вестник Красноярского ГАУ. – 2015. – № 2. – С. 3-7.

150. Пилипенко Н.Г. Оценка влагообеспеченности кормовых культур при разном уровне удобренности в лесостепной зоне Забайкальского края / Н.Г. Пилипенко, О.Т. Андреева // Приднепровский научный вестник. – 2017. – Том 4. – № 3. – С. 042-050.

151. Поддубная О.В. Влияние минерального питания на разложение целлюлозы в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О.В. Поддубная, О.В. Симанков // Аграрная наука-сельскому хозяйству: Тез. конф. – 2016. – С. 221-223.

152. Поддымкина Л.М. Целлюлозоразлагающая активность микробов почвы в полевом опыте / Л.М. Поддымкина // Плодородие. – 2004. – №4. – С. 26-27.

153. Полянская Л.М. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв / Л.М. Полянская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2005. – № 6. – С. 706-714.

154. Постовалов А.А. Реакция микроорганизмов ризосферы ярового ячменя на минеральные удобрения и биопрепараты / А.А. Постовалов // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 4 (28). – С. 39-45.

155. Постовалов А.А. Микробиологическая активность чернозема выщелоченного при внесении минеральных удобрений / А.А. Постовалов, Н.А. Немирова // Вестник Курганского ГУ. – 2009. – № 15. – С. 29-30.

156. Ражева Д.Р. Содержание различных форм азота в почве при длительном сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Южного Зауралья / Д.Р. Ражева // Вестник Алтайского ГАУ. – №5. – 2009. – С. 35-39.

157. Рзаева В.В. Гумусное состояние черноземов выщелоченных при различных системах основной обработки в условиях Северного Зауралья / В.В. Рзаева, Д.И. Ерёмин // Аграрный научный журнал. – 2010. – № 7. – С. 31-34.

158. Рижия Е.Я. Действие минеральных удобрений и сидератов на агрофизические, агрохимические и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Санкт-Петербург. – 2002. – 29 с.

159. Романенков В.А. Оценка климатических рисков при возделывании зерновых культур на основе региональных данных и результатов длительных опытов Геосети / В.А. Романенков, В.Н. Павлова, М.В. Беличенко // Агрохимия. – 2018. – №1. – С. 77-86.

160. Салем Мохамед Влияние удобрений на биологическую активность выщелоченного чернозема / А. Салем Мохамед, Н.Ш. Гиниятов, Т.В. Багаева и др. // Учёные записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». – 2005. – №2. – Т. 147. – С. 172-179.

161. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощающий комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема / И.Д. Свистова, К.Е. Стеколышков, А.П. Щербаков и др. // Агрохимия. – 2004. – № 6. – С. 16-23.

162. Селиверстова О.М. Влияние удобрений на продуктивность агроценоза и микробное сообщество серых лесных почв: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Москва. – 2009. – 27 с.

163. Селянин В.В. Ацидофильные и алкалофильные актиномицеты в кислых, нейтральных и щелочных почвах / В.В. Селянин, Г.М. Зенова, Н.В. Можарова и др. // – Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 590-593.

164. Семенов В.М. Почвенное органическое вещество / В.М. Семенов, Б.М. Когут // Москва: Геос. – 2015. – 238 с.

165. Сидорова Н.М. Оптимизация минерального питания и расчет доз удобрений на основе полевых опытов сидерии пронзеннолистной в условиях Западной Сибири / Н.М. Сидорова, Ю.И. Ермохин // Вестник Алтайского ГАУ. – 2008. – № 8 (46). – С.21-26.

166. Синявский И.В. Последствие минеральных и органоминеральных удобрений на микрофлору почвы и урожайность

яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Зауралья / И.В. Синявский, Ю.З. Чиняева, А.А. Калганов // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2017. – № 1. – С. 110-117.

167. Слободкина Г.Б. Новые термофильные анаэробные прокариоты, использующие соединения азота, серы, железа в энергетическом метаболизме: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Москва. – 2018. – 50 с.

168. Скопина Л.Ю. Микрофлора выщелоченного чернозема при различных способах основной обработки почвы / Л.Ю. Скопина // Интеграция науки и практики для развития агропромышленного комплекса. – 2019. – 133-141.

169. Скопина Л.Ю. Характеристика микробонаселения выщелоченного чернозема при отвальной обработке в звене зернового севооборота в условиях Северного Зауралья / Л.Ю. Скопина // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения. – 2017. – С. 108-110.

170. Соколов Г.А. Изменение биологической активности почв агроценозов при использовании возрастающих норм минеральных удобрений в естественных условиях и в условиях лизиметрических опытов / Г.А. Соколов, И.В. Симакина, Е.Н. Сосновская // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 2 (43). – С. 248-261.

171. Старицына Т.А. Водопотребление яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме OFF-LINE / Т.А. Старицына, С.В. Шерстобитов // Актуальные вопросы науки и хозяйства: Сб. конф. – 2019. – С. 315-319.

172. Ступаков И.А. Воспроизводство плодородия почвы в кормовых севооборотах / И.А. Ступаков, Л.А. Герасименко, Т.Н. Меркулова // Земледелие. – 2001. – № 2. – С. 16-19.

173. Сушко С.В. Эмиссия CO₂, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании / С.В. Сушко, Н.Д.

Ананьева, К.В. Иващенко, В.Н. Кудеяров // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1081-1091.

174. Суюндуков Я.Т. Влияние погодноклиматических условий на скорость разложения целлюлозы в почвах Башкирского Зауралья / Я.Т. Суюндуков, И.Н. Семенова, Г.Р. Ильбулова // Аграрная наука. – 2010. – № 12. – С. 12-13.

175. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования: монография / В.Г. Сычев. – Москва. – 2019. – 328 с.

176. Сычев В.Г. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография / В.Г. Сычев, Л. Мюллер // Москва. – 2018. – 499 с.

177. Сябрук О.П. Влияние систем удобрения на эмиссию CO₂ из чернозема типичного / О.П. Сябрук, Н.Н. Мирошниченко, А.В. Доценко // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1 (52). – С. 94-104.

178. Танасиенко А.А. Содержание азота в нарушенных и ненарушенных черноземах и продуктах твердого стока расчлененной территории Западной Сибири / А.А. Танасиенко, О.П. Якутина, А.С. Чумбаев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 2. – С. 39-46.

179. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева // М.: Колос. – 1993. – 175 с.

180. Титова В.И. Влияние систематического внесения удобрений на агроэкологическую характеристику светло-серой лесной легкосуглинистой почвы / В.И. Титова, А.М. Архангельская // Агроэкология. – 2015. – № 2-2 (4). – С. 28-32.

181. Тихомирова Л.Д. Биологический метод определения плодородия почвы / Л.Д. Тихомирова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – № 5. – С. 15-18.

182. Тоболова Г.В. Изменение биотипного состава сорта мягкой пшеницы Тюменская 80 в процессе семеноводства / Г.В. Тоболова // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 10. – С. 12-14.
183. Турусов В.И. Изменение биологической активности почвы в зависимости от различных предшественников / В.И. Турусов, О.А. Богатых, Н.В. Дронова // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2018. – № 2. – С. 11-16.
184. Тютюнов С.И. О методике программирования урожаев на черноземах центрально-черноземного региона / С.И. Тютюнов, В.В. Никитин, А.Н. Воронин // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 48-54.
185. Уваров Г.И. Азотный режим чернозема в зависимости от удобрений и приемов обработки / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов // Научные ведомости Белгородского ГУ. – 2013. № 4 (67). – С. 105-110.
186. Уваров Г.И. Влияние удобрений и способов обработки почвы на содержание форм азота в черноземе типичном / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов // Агрохимия. – 2014. № 2. – С. 13-19.
187. Уваров Г.И. Азотный режим чернозема в зависимости от приемов агротехники / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов, Я.Б. Боровская // Сахарная свекла. – 2014. – № 8. – С. 14-17.
188. Уваров Г.И. Влияние удобрения, севооборота и обработки почвы на нитрификационную способность чернозема и содержание гидролизующего азота / Г.И. Уваров, Я.Ю. Боровская // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 36-42.
189. Уваров Г.И. Азотный режим чернозема типичного при возделывании культур в севообороте / Г.И. Уваров, В.Д. Соловichenko // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 5-10.
190. Фадькин Г.Н. Влияние длительного применения простых минеральных удобрений на азотный режим серой лесной тяжелосуглинистой почвы / Г.Н. Фадькин, Я.В. Костин // Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. – № 4 (16). – 2012. – С. 74-76.

191. Фадькин Г.Н. Влияние длительности применения форм азотных удобрений на численность и состав микрофлоры серой лесной тяжелосуглинистой почвы / Г.Н. Фадькин // Юбилейный сб. науч. тр. студентов, аспирантов и преподавателей агроэкологического факультета РГАТУ им. П.А. Костычева, посвящ. 75-летию со дня рождения проф. В.И. Перегудова – 2013. – С. 142-144.
192. Федоров М.В. Микробиология. История развития микробиологии и некоторые современные проблемы / М.В. Федоров // Сельхозгиз – 1933. – 44 с.
193. Фомина Н.В. оценка сходства и различия видового состава бактериальной и грибной микрофлоры почв лесных питомников Красноярского края / Н.В. Фомина // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 5. – С. 164-169.
194. Фрунзе Н.И. Почвенная микробная биомасса как резерв биогенных элементов / Н.И. Фрунзе // Агрохимия. – 2005. – № 9. – С. 20-23.
195. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев // Экобиотех. – 2018. – Том 1. – № 2. – С. 80-92.
196. Хамова, О.Ф. Влияние антропогенных факторов на биологическую активность чернозема выщелоченного юга Западной Сибири / О.Ф.Хамова // Природа, природопользование и природообустройство Омского Прииртышья: Мат. III обл. науч.-практ. конф. – Омск: Курьер. – 2001. – С. 167-169.
197. Хамова О.Ф. Биологическая активность черноземной почвы при длительном применении минеральных и органических удобрений / О.Ф. Хамова, Н.Ф. Кочегарова // Почвы – национальное достояние России: Тез.конф. – 2004. – С. 693.
198. Хисамова К.Ч. Влияние системы удобрения с использованием соломы на биологическую активность почвы и урожай ячменя / К.Ч. Хисамова // Агрохимический вестник. – 2015. – Т. 1. – №. 1. – С. 35-37.

199. Хомченко А.А. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические свойства и продуктивность дерново-подзолистой почвы / А.А. Хомченко, Н.В. Булатова, Н.Т. Чеботарев // Земледелие. – 2016. – № 6. – С. 28-30.
200. Храмцов И. Ф. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота под влиянием длительного применения удобрений и различных способов обработки / И. Ф. Храмцов, Н. Ф. Кочегарова // Докл. РАСХН. – 1999. – № 2. – С. 12-16.
201. Худяков Н.Н. Общая микробиология. Учебное пособие для вузов / Н.Н. Худяков под ред. Я. Я. Никитинского // М.-Л.: Снабтехиздат. – 1934. – 215 с.
202. Хузиахметов Р.Х. Влияние формы азотных удобрений на активность микрофлоры загрязненной почвы и степень биodeградации углеводов / Р.Х. Хузиахметов, А.Ф. Халилова, А.П. Денисова и др. // Вестник Казанского ТУ. – 2012. – Том 15. – № 19. – С. 130-132.
203. Центило Л.В. Азотный режим чернозема типичного в зависимости от удобрения и обработки почвы / Л.В. Центило, А.А. Цюк // Биоресурсы и природопользование. – 2019. – Т. 11. – № 1-2. – С. 107-114
204. Чеботарев Н.Т. Влияние извести и минеральных удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы / Н.Т. Чеботарев, А.Г. Тулинов // Земледелие. – 2012. – № 2. – С. 18-19.
205. Чернявская М.И. Экологическая микробиология: учебно-методическое пособие / М.И. Чернявская, А.В. Сидоренко, С.Г. Голенченко и др. – Минск, – 2016. – 63 с.
206. Черобаева А.С. Влияние длительных и коротких циклов замораживания-размораживания почвы на нитрифицирующую активность микроорганизмов / А.С. Черобаева, И.К. Степанова, И.К.Кравченко // Вестник МГУ. – Серия 17. – Почвоведение. – 2011. – № 4 – С. 37-42.

207. Шаталина Л.П. Изменение азота общего и легкогидролизуемого чернозема выщелоченного в полевых севооборотах / Л.П. Шаталина // Плодородие. – № 5 (104). – 2018. – С. 35-38).

208. Шахова О.А. Влияние агрохимикатов на микробиологическую активность чернозёма выщелоченного в северной лесостепи Тюменской области / О.А. Шахова // Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2016. – № 2 (33). – С. 102-109.

209. Шахова О.А. Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях внедрения ресурсосберегающих технологий в лесостепной зоне Северного Зауралья / О.А. Шахова, Д.И. Еремин // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 1. – С. 149-152.

210. Швакова Е.В. использование показателей ферментативной активности почв в почвенно-экологическом мониторинге / Е.В. Швакова // Потенциал современной науки. – Краснодар, – 2015. – 24 с.

211. Шевченко И.М. Урожайность пшеницы озимой и показатели плодородия чернозема южного при длительном применении разных систем удобрений и обработки почвы в севообороте: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Новосибирск, – 2017. – 20 с.

212. Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение азотных удобрений с использованием системы спутниковой навигации: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Москва, – 2015. – 19 с.

213. Шерстобитов С.В. Влияние почвенной неоднородности и внесения усредненной нормы азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы / С.В. Шерстобитов, Н.В. Абрамов // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 5 (158). – С. 93-99.

214. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен // Майкоп: «Полиграф-ЮГ», – 2015. – 232 с.

215. Шилова Н.А. Динамика выделения CO₂ в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах / Н.А. Шилова // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1 (52). – С. 104-112.

216. Шорова Л.Г. Влияние различных доз минеральных и органических удобрений на общие физические свойства, ферментативную активность и урожайность полевых культур на черноземе выщелоченном // Л.Г. Шорова, А.З. Хубиева // Известия Северо-Кавказской государственной академии. – 2019. – № 3 (21). – С. 34-39.
217. Шулико Н.Н. Влияние длительного применения удобрений на биологическую активность чернозема выщелоченного / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Е.В. Падерина и др. // Плодородие. – 2015. – № 4 (85). – С. 30-31.
218. Шулико Н.Н. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Новосибирск, 2017. – 20 с.
219. Щур А.В. Нитрификационная активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия / А.В. Щур, Д.В. Виноградов, В.П. Валько // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 2 (26). – С. 21-26.
220. Юшкевич Л.В. Применение соломы в засушливом земледелии Западной Сибири: методическое пособие / Л. В. Юшкевич, О.Ф. Хамова, Н.А. Воронкова и др. // Омск: Вариант, 2013. – 48 с.
221. Ягодин Б. А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко // Под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос. – 2002. – 584 с.
222. Aim J. Winter CO₂, CH₄ and N₂O fluxes on some natural and drained boreal peatlands / J. Aim, S. Saarnio, H. Nykanen, J. Silvova, P. Martikainen // Biogeochem. – 1999. – V. 44. – P. 163-186.
223. Balota E.L. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems / E.L. Balota, A. Colozzi-Filho, D.S. Andrade, R.P. Dick // Biol. Fertil. Soils. – 2003. – V. 38. – P. 5-20.
224. Edwards C.A. The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients / C.A. Edwards, D.E. Reichle, D.F. Crossley, D.E. Reihle

D.E. // Analysis of temperate Forest Ecosystems, Springer-Verlag. – New York. – 1970. – P.12-172.

225. Dereu J.C. Effect of oxygen and carbon dioxide on germination and growth of *Rhizopus oligosporus* on model media and soy beans / J.C. Dereu, F.M. Rombouts, A.M. Griffiths, M.J.R. Nout // Applied microbiology and biotechnology. – 1995. – V. 43. – P. 908-913.

226. Mahendrappa M.K. Nitrifying organisms affected by climate region in western United States / M.K. Mahendrappa, R.L. Smith, A.T. Christiansen // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1986. – V 30. – P. 60-62.

227. Nillson K.S. Using the continuous-quality theory to predict microbial biomass and soil organic carbon following organic amendments / K.S. Nillson, R. Hyvönnen, G.I. Ågren // Europ. J. Soil Sci. – 2005. – V. 56. – P. 397-495.

228. Opelt K. Investigations of the structure and function of bacterial communities associated with *Sphagnum* mosses / K. Opelt, V. Chobot, F. Hadacek, S. Schonmann, L. Eberl, G. Berg // Environ. Microbiol. – 2007. – V. 9. – P. 2795-2809.

229. Schlesinger W.H. Soil respiration and global carbon cycle / W.H. Schlesinger, J.A. Andrews // Biogeochemistry. – 2000. – V. 48. – P. 7-20.

230. Sherstobitov S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 537.

231. Wu H. Effects of vegetation coverage and seasonal change on soil microbial biomass and community structure in the dry-hot valley region / H.Wu, D.H. Xiong, L. Xiao, and other // J. Mountain Sci. – 2018. – № 7. – P. 1546–1558.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение А – Среднедекадная температура воздуха и количество
выпавших осадков за годы исследований**

Температура воздуха, °С												
	Май			Июнь			Июль			Август		
Год/Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2016	7,6	10,9	17,4	16	17,7	17,9	18,5	19,8	19,5	22,7	23,2	18
2017	10,2	9,8	9,9	13,6	18,4	18,7	15,8	17,6	19,5	17	15,2	18,5
2018	5,3	7,8	10,7	11,4	13,3	18,6	21,1	21,1	21,6	17,1	15,8	13,7
2019	15,7	10,5	12,7	13,6	13,9	16,3	18,1	25,0	18,0	15,0	19,0	13,2
2020	17,5	17,8	20,2	21,1	18,4	14,7	26,8	30	21,6	26,8	15,5	19,5
Ср.много- значения	8,8	10,8	12,2	13,5	16,4	18	16	19,2	18,8	16,1	15,2	13,5

Осадки, мм												
	Май			Июнь			Июль			Август		
Год/Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2016	3	1	2	9	30	19	5	67	1	4	4	6
2017	8	20	38	8	80	18	48	7	10	35	7	3
2018	55	3	24	4	28	26	2	43	6	24	54	34
2019	1	24	15	25	16	40	18	0	84	29	20	21
2020	2,9	35,5	12,1	15,2	11,8	39,2	7,3	2,7	8,9	14,6	23,3	15,9
Ср.много- значения	9	15	14	23	20	20	24	29	31	23	17	18

Приложение Б – Температура почвы за годы исследований

Годы	Посев			Цветение			Уборка		
	0-10 см	10-20 см	20-30 см	0-10 см	10-20 см	20-30 см	0-10 см	10-20 см	20-30 м
2016	16,8	15,0	14,9	18,8	16,6	15,9	21,0	19,0	18,3
2017	15,9	15,3	14,5	17,4	17,0	16,2	18,9	18,0	17,0
2018	12,4	9,4	8,4	22,2	21,7	20,7	23,0	21,0	19,3
2019	9,0	8,8	8,4	16,0	15,6	15,0	15,0	14,6	14,0
2020	23,4	19,0	16,7	17,2	15,5	14,6	26,4	24,8	22,9

Приложение В – Динамика влажности почвы в пахотном слое чернозема
выщелоченного, %, 2016 г.

Варианты	Слой, см	Время отбора почвы		
		Перед посевом	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-10	25,13	23,64	11,24
	10-20	29,17	26,31	16,58
	20-30	31,09	26,53	21,50
N ₄₀ P ₇₅	0-10	28,96	27,79	10,57
	10-20	30,41	26,29	14,37
	20-30	28,36	17,47	14,53
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	28,63	28,21	10,41
	10-20	29,16	25,39	11,76
	20-30	26,11	25,91	16,79
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	26,52	24,43	10,24
	10-20	26,34	26,16	16,57
	20-30	27,94	27,61	13,96

Приложение Г – Динамика влажности почвы в пахотном слое чернозема
выщелоченного, %, 2017 г.

Варианты	Слой, см	Время отбора почвы		
		Перед посевом	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-10	24,72	26,05	15,72
	10-20	24,99	27,79	13,80
	20-30	25,61	23,97	12,11
N ₄₀ P ₇₅	0-10	23,29	25,42	16,40
	10-20	24,37	22,13	15,98
	20-30	25,59	34,02	14,72
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	23,03	27,15	15,04
	10-20	24,29	20,05	14,87
	20-30	25,97	24,82	14,45
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	23,96	31,71	4,88
	10-20	23,06	22,55	13,78
	20-30	24,66	25,26	9,94

**Приложение Д – Динамика влажности почвы в пахотном слое чернозема
выщелоченного, %, 2018 г.**

Варианты	Слой, см	Время отбора почвы		
		Перед посевом	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-10	23,27	18,86	26,72
	10-20	26,56	20,78	27,39
	20-30	26,64	23,43	27,35
N ₄₀ P ₇₅	0-10	24,57	19,62	28,94
	10-20	27,56	21,51	29,71
	20-30	26,14	24,16	28,21
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	24,73	18,15	28,21
	10-20	26,01	22,42	26,36
	20-30	25,57	24,56	27,94
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	23,74	19,25	26,45
	10-20	28,39	22,19	26,70
	20-30	27,43	22,70	28,17

**Приложение Е – Динамика влажности почвы в пахотном слое чернозема
выщелоченного, %, 2019 г.**

Варианты	Слой, см	Время отбора почвы		
		Перед посевом	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-10	24,31	21,22	25,05
	10-20	36,05	13,20	30,42
	20-30	31,11	10,90	18,44
N ₄₀ P ₇₅	0-10	24,43	12,35	25,22
	10-20	21,33	20,03	27,21
	20-30	21,44	20,20	16,77
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	23,36	21,41	33,43
	10-20	34,44	22,03	15,08
	20-30	24,81	18,48	13,33
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	11,42	24,06	32,61
	10-20	25,62	26,72	21,02
	20-30	29,07	18,15	14,17

Приложение Ж – Динамика влажности почвы в пахотном слое чернозема
выщелоченного, %, 2020 г.

Варианты	Слой, см	Время отбора почвы		
		Перед посевом	Цветение	Уборка
Без удобрений	0-10	25,13	23,64	11,24
	10-20	29,17	26,31	16,58
	20-30	31,09	26,53	21,50
N ₄₀ P ₇₅	0-10	28,96	27,79	10,57
	10-20	30,41	26,29	14,37
	20-30	28,36	17,47	14,53
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	28,63	28,21	10,41
	10-20	29,16	25,39	11,76
	20-30	26,11	25,91	16,79
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	26,52	24,43	10,24
	10-20	26,34	26,16	16,57
	20-30	27,94	27,61	13,96

Приложение И – Состав питательных сред для микробиологического
анализа

Мясопептонный агар (МПА) – 1 л H₂O; 15-20 г/л агар-агар; сухой питательный агар;

Крахмало-аммиачный агар (КАА) – 2 г/л (NH₄)₂SO₄; 1 г/л K₂HPO₄; 1 г/л MgSO₄; 1 г/л NaCl; 3 г/л CaCO₃; 15 г/л агар-агар; 10 г/л растворимый крахмал; 1 л H₂O;

Среда Чанека (подкисленная молочной кислотой) – 20 г/л сахарозы+ 2 г/л NaNO₃+1 г/л KH₂PO₄; 0,5 г/л MgSO₄; следы FeSO₄; 20 г/л агар-агар;

Среда Гетчинсона – 1 г/л KH₂PO₄; 0,1 г/л CaCl₂; 0,3 г/л MgSO₄; 0,1 г/л NaCl; 2,5 г/л NaNO₃; 20 г/л агар-агар; следы FeCl₃; 1 л дистиллированной воды.

Все среды готовились в стерильных условиях с использованием автоклава, с соблюдением режима стерилизации. Посев на питательные среды проводили в микробиологическом боксе с соблюдением санитарно-гигиенических норм.

Приложение К – Интенсивность целлюлозоразложения за годы
исследований

1 месяц экспозиции						
	Слой, см	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Без удобрений	0-10	9	22	8	24	11
	10-20	17	30	10	19	13
	20-30	21	28	11	17	11
N ₄₀ P ₇₅	0-10	10	16	18	20	10
	10-20	17	22	14	24	14
	20-30	22	14	15	22	22
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	11	29	10	29	14
	10-20	18	30	12	25	11
	20-30	22	20	4	73	18
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	14	38	11	32	13
	10-20	19	34	14	31	19
	20-30	29	18	12	35	21
2 месяц экспозиции						
Без удобрений	0-10	12	25	13	26	16
	10-20	11	22	24	22	18
	20-30	7	19	28	20	17
N ₄₀ P ₇₅	0-10	22	34	20	36	24
	10-20	22	41	15	34	20
	20-30	20	40	29	34	37
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	30	46	32	43	33
	10-20	31	54	38	40	42
	20-30	27	52	34	37	30
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	37	64	36	34	40
	10-20	32	74	43	38	44
	20-30	26	84	42	44	45
3 месяц экспозиции						
Без удобрений	0-10	10	45	34	32	24
	10-20	10	42	35	30	22
	20-30	17	26	18	27	21
N ₄₀ P ₇₅	0-10	13	48	36	47	30
	10-20	14	49	35	46	26
	20-30	20	27	21	38	44
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	17	66	38	43	45
	10-20	8	71	31	49	52
	20-30	9	57	24	47	44
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	5	65	23	53	56
	10-20	4	70	32	53	59
	20-30	4	75	33	41	60

Приложение Л – Разложение хлопчатобумажного полотна при внесении возрастающих доз минеральных удобрений по экспозициям



1 месяц экспозиции



2 месяца экспозиции



3 месяца экспозиции

**Приложение М – Количественный состав микробиоты пахотного чернозема,
млн. КОЕ/г почвы (2018 г.)**

Варианты	Бактериальная микробиота											
	Аммонификаторы (МПА)			Нитрификаторы (олигонитрофилы), млн. КОЕ/г почвы (ГА)			Бактерии минерализующие N (КАА)			Гетчинсон		
	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	6	5	3,8	9,4	6,8	6,4	4,1	8,7	4,3	7,7	6,4	4,5
N ₄₀ P ₇₅	7,2	7,3	4,4	7,9	6	5,6	4,5	7,8	4,1	8,6	8,6	5,2
N ₁₅₀ P ₂₀₀	8,7	6,2	7,6	5,6	9,4	8	6,2	8,2	5,4	9,6	13,4	14,9
N ₁₈₅ P ₁₆₀	10	5,3	10,2	5	8,5	10,1	5,5	5,6	5,7	12,5	15,8	16,1

**Приложение Н – Грибная микробиота пахотного чернозема, тыс. КОЕ/г
почвы (2018 г.)**

Вариант	Актиномицеты			Микомицеты		
	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	620	300	1350	90	200	280
N ₄₀ P ₇₅	660	400	1000	100	210	400
N ₁₅₀ P ₂₀₀	720	2000	800	140	290	90
N ₁₈₅ P ₁₆₀	1200	3000	420	200	360	125

**Приложение II – Количественный состав микробиоты пахотного чернозема,
млн. КОЕ/г почвы (2019 г.)**

Варианты	Бактериальная микробиота,											
	Аммонификаторы (МПА)			Нитрификаторы (олигонитрофилы), млн. КОЕ/г почвы (ГА)			Бактерии минерализующие N (КАА)			Гетчинсон		
	перед посевом	цветение	перед уборкой	перед посевом	цветение	перед уборкой	перед посевом	цветение	перед уборкой	перед посевом	цветение	перед уборкой
Без удобрений	4,7	4,3	3,1	7,3	5,4	4,4	3,5	8,8	3,5	9,7	4,2	4,2
N ₄₀ P ₇₅	5,5	6,6	3,5	6,8	4,5	4,0	3,7	9,6	3,6	9,4	8,9	4,3
N ₁₅₀ P ₂₀₀	6,9	4,8	4,7	6,1	7,2	5,1	6,0	7,4	4,5	10,6	13,8	18,6
N ₁₈₅ P ₁₆₀	8,5	4	8,8	5,2	6,8	7,4	4,6	6,4	4,4	12,3	14,6	18,2

**Приложение Р – Грибная микробиота пахотного чернозема, тыс. КОЕ/г
почвы (2019 г.)**

Варианты	Актиномицеты			Микомицеты		
	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	480	350	1540	210	320	350
N ₄₀ P ₇₅	640	290	900	210	305	355
N ₁₅₀ P ₂₀₀	750	1700	920	140	225	140
N ₁₈₅ P ₁₆₀	1300	2620	350	110	205	200

**Приложение С – Количественный состав микробиоты пахотного чернозема,
млн. КОЕ/г почвы (2020 г.)**

Варианты	Бактериальная микробиота,											
	Аммонификаторы (МПА)			Нитрификаторы (олигонитрофилы), млн. КОЕ/г почвы (ГА)			Бактерии минерализующие N (КАА)			Гетчинсон		
	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	7,5	6,4	3,5	7,5	8,2	6,3	5,1	10	2,4	8,6	4,3	4,1
N ₄₀ P ₇₅	7,3	8,1	3,5	9	8	6,5	4,5	8,9	3	8,5	11,5	4,4
N ₁₅₀ P ₂₀₀	7,6	6	5,9	6,8	7,5	6	7,2	8	6,2	9,3	12,5	18,1
N ₁₈₅ P ₁₆₀	9,9	5,1	9	4,7	7,3	5,7	8,2	5,1	5,2	11,9	15,2	16,6

**Приложение Т – Грибная микробиота пахотного чернозема, тыс. КОЕ/1 г
почвы**

Вариант	Актиномицеты			Микомицеты		
	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой	Перед посевом	Цветение	Перед уборкой
Без удобрений	410	250	1200	110	100	180
N ₄₀ P ₇₅	450	350	1100	110	90	235
N ₁₅₀ P ₂₀₀	560	1600	650	140	115	65
N ₁₈₅ P ₁₆₀	990	2860	230	80	95	95

**Приложение У – Наличие полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО),
мг бензохинона на 10 г почвы/час (слой 0-30 см, 2018 г.)**

Вариант		ПФО	ПО	ПФО/ПО
Перед посевом	Без удобрений	0,0207	0,0296	0,7
	N ₄₀ P ₇₅	0,0014	0,0249	0,1
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0375	0,0273	1,4
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0151	0,0197	0,8
Цветение	Без удобрений	0,0313	0,0313	1,0
	N ₄₀ P ₇₅	0,0325	0,0284	1,1
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0314	0,0273	1,2
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0325	0,0174	1,9
Перед уборкой	Без удобрений	0,0252	0,0267	0,9
	N ₄₀ P ₇₅	0,0381	0,0342	1,1
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0291	0,0267	1,1
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0281	0,0174	1,6

Приложение Ф – Наличие полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО),
мг бензохинона на 10 г почвы/час (слой 0-30 см, 2019 г.)

Вариант		ПФО	ПО	ПФО/ПО
Перед посевом	Без удобрений	0,0532	0,0185	1,9
	N ₄₀ P ₇₅	0,0778	0,0267	2,9
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0666	0,0174	2,6
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0196	0,0273	0,7
Цветение	Без удобрений	0,0145	0,0249	0,6
	N ₄₀ P ₇₅	0,0582	0,0249	1,9
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0498	0,0302	1,6
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0056	0,0325	0,2
Перед уборкой	Без удобрений	0,0212	0,0342	0,6
	N ₄₀ P ₇₅	0,0354	0,0447	0,8
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0207	0,0342	0,6
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0141	0,0295	0,5

Приложение Х – Наличие полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО),
мг бензохинона на 10 г почвы/час (слой 0-30 см, 2020 г.)

Вариант		ПФО	ПО	ПФО/ПО
Перед посевом	Без удобрений	0,0207	0,0626	0,3
	N ₄₀ P ₇₅	0,0212	0,0679	0,3
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0274	0,0429	0,6
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0425	0,0493	0,9
Цветение	Без удобрений	0,0151	0,0809	0,2
	N ₄₀ P ₇₅	0,0252	0,0516	0,5
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0151	0,0522	0,3
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0212	0,447	0,0
Перед уборкой	Без удобрений	0,0364	0,0882	0,4
	N ₄₀ P ₇₅	0,0213	0,0487	0,4
	N ₁₅₀ P ₂₀₀	0,0364	0,0325	1,1
	N ₁₈₅ P ₁₆₀	0,0302	0,0394	0,3

Приложение Ц – Нитрификационная способность чернозема
выщелоченного при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2018 г.)

Вариант	Слой, см	Нитрификационная способность				
		Май	Июнь	Июль	Август	В среднем за вегетацию
Без удобрений	0-10	10,6	15,5	16,4	8,9	12,9
	10-20	12,1	18,4	15,3	10,8	14,2
	20-30	9,4	12,3	14,7	8,2	11,2
	30-40	8,8	10,7	12,1	7,7	9,8
	0-40	10,2	14,2	14,6	8,9	12,0
N ₄₀ P ₇₅	0-10	11,1	18,3	21,5	8,8	14,9
	10-20	10,8	20,7	20,6	11,5	15,9
	20-30	8,6	12,5	17,0	10,4	12,1
	30-40	8,2	11,0	11,3	9,8	10,1
	0-40	9,7	15,6	17,6	10,1	13,3
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	12,4	23,3	25,7	17,3	19,7
	10-20	13,1	25,4	30,3	23,2	23,0
	20-30	10,7	15,2	18,4	12,5	14,2
	30-40	8,9	12,0	15,1	11,8	12,0
	0-40	11,3	19,0	22,4	16,2	17,2
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	12,0	18,7	20,8	20,8	18,1
	10-20	12,2	20,6	20,7	24,6	19,5
	20-30	8,9	15,1	25,6	18,2	17,0
	30-40	9,6	18,7	22,4	20,7	17,9
	0-40	10,7	18,3	22,4	21,1	18,1

Приложение III – Нитрификационная способность чернозема
выщелоченного при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2019 г.)

Вариант	Слой, см	Нитрификационная способность				
		Май	Июнь	Июль	Август	Среднее за вегетацию
Без удобрений	0-10	8,4	14,3	17,5	7,5	11,9
	10-20	10,2	17,2	16,3	8,5	13,1
	20-30	7,3	10,5	15,0	6,9	9,9
	30-40	6,8	8,6	10,7	8,2	8,6
	0-40	8,2	12,7	14,9	7,8	10,9
N ₄₀ P ₇₅	0-10	8,6	15,6	16,2	7,0	11,9
	10-20	9,4	17,3	15,0	12,2	13,5
	20-30	9,8	10,4	12,1	9,5	10,5
	30-40	7,5	8,9	9,6	7,8	8,5
	0-40	8,8	13,1	13,2	9,1	11,1
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	9,6	25,6	30,4	18,2	21,0
	10-20	10,4	26,4	28,4	24,6	22,5
	20-30	8,5	17,2	20,7	14,4	15,2
	30-40	11,0	10,0	16,6	10,3	12,0
	0-40	9,9	19,8	24,0	16,9	17,6
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	8,3	15,3	17,3	8,2	12,3
	10-20	9,6	14,7	21,2	3,6	12,3
	20-30	7,7	12,3	16,5	14,5	12,8
	30-40	6,7	20,2	13,5	13,7	13,5
	0-40	8,1	15,6	17,1	10,0	12,7

Приложение III – Нитрификационная способность чернозема
выщелоченного при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2020 г.)

Вариант	Слой, см	Нитрификационная способность				
		Май	Июнь	Июль	Август	Среднее за вегетацию
Без удобрений	0-10	6,5	8,2	17,2	7,5	9,9
	10-20	14,6	14,4	15,0	8,2	13,1
	20-30	10,5	10,6	16,7	9,3	11,8
	30-40	7,2	8,0	14,6	6,0	9,0
	0-40	9,7	10,3	15,9	7,8	10,9
N ₄₀ P ₇₅	0-10	6,0	10,2	20,7	10,3	11,8
	10-20	15,0	16,3	17,6	14,4	15,8
	20-30	10,3	9,5	18,5	15,3	13,4
	30-40	8,9	8,9	15,6	12,7	11,5
	0-40	10,1	11,2	18,1	13,2	13,1
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	8,1	25,0	26,6	15,3	18,8
	10-20	10,3	24,1	24,7	17,7	19,2
	20-30	12,4	17,7	19,3	10,6	15,0
	30-40	7,7	15,2	17,5	12,4	13,2
	0-40	9,6	20,5	22,0	14,0	16,5
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	6,3	16,2	13,6	17,3	13,4
	10-20	14,5	14,6	14,7	20,4	16,1
	20-30	8,9	18,9	20,5	16,3	16,2
	30-40	7,4	20,4	18,2	17,0	15,8
	0-40	9,3	17,5	16,8	17,8	15,3

**Приложение Э – Содержание легкогидролизуемого азота мг/кг почвы за
годы исследований**

Вариант	Слой, см	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Без удобрений	0-10	140	142	135	139
	10-20	138	145	164	149
	20-30	110	117	125	118
	30-40	109	106	104	106
	0-40	124	127	132	128
N ₄₀ P ₇₅	0-10	152	145	168	155
	10-20	140	130	145	138
	20-30	120	116	128	121
	30-40	118	105	115	113
	0-40	133	124	139	132
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-10	155	179	147	160
	10-20	154	160	138	151
	20-30	134	136	190	153
	30-40	127	123	139	129
	0-40	142	149	153	148
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-10	167	140	176	161
	10-20	160	136	167	154
	20-30	147	128	149	141
	30-40	128	101	124	117
	0-40	151	126	154	143

**Приложение Ю – Динамика содержания питательных веществ в черноземе
выщелоченном при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2016 г.)**

Вариант	Слой, см	Перед посевом			Цветение			Кущение			Перед уборкой		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	0-20	4,8	72	173	12,6	70	152	3,0	48	160	2,1	38	146
	20-40	3,5	46	105	8,4	51	103	2,1	30	100	1,1	27	103
N ₄₀ P ₇₅	0-20	4,8	83	153	25,3	106	173	8,6	96	159	4,1	99	152
	20-40	3,2	48	104	17,7	82	120	5,3	47	124	2,6	82	147
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	5,5	85	172	52,5	178	175	12,4	123	172	7,7	126	160
	20-40	4,0	62	108	37,6	134	106	8,9	84	105	5,8	67	103
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	5,8	88	177	64,3	256	203	17,2	163	138	10,8	147	157
	20-40	4,0	54	122	45,1	178	147	12,2	128	105	8,1	79	109

**Приложение АД – Динамика содержания питательных веществ в черноземе
выщелоченном при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2017 г.)**

Вариант	Слой, см	Перед посевом			Цветение			Кущение			Перед уборкой		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	0-20	5,2	64	153	8,2	62	122	2,4	60	180	1,7	51	186
	20-40	2,1	47	105	3,7	24	105	1,2	38	103	1,1	38	124
N ₄₀ P ₇₅	0-20	4,8	68	151	22,4	122	179	6,7	104	187	3,8	65	177
	20-40	1,7	41	110	17,8	73	121	5,1	70	105	2,4	51	123
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	4,8	86	184	50,6	180	124	14,7	163	211	8,6	78	204
	20-40	3,6	59	144	32,4	124	108	8,6	88	140	5,4	62	177
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	5,7	77	188	70,6	266	166	19,9	227	226	10,6	100	179
	20-40	4,1	62	150	35,8	152	102	15,3	152	116	7,5	88	108

**Приложение АА – Динамика содержания питательных веществ в черноземе
выщелоченном при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2018 г.)**

Вариант	Слой, см	Перед посевом			Цветение			Кущение			Перед уборкой		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	0-20	5,4	70	161	3,7	88	106	5,9	78	133	4,8	64	120
	20-40	4,2	41	122	4,5	67	126	4,1	59	107	3,6	55	102
N ₄₀ P ₇₅	0-20	4,8	78	173	27,3	96	167	10,6	89	175	5,1	72	156
	20-40	4,4	56	154	17,0	48	153	6,1	70	120	2,8	42	133
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	4,8	83	181	45,8	146	204	18,9	204	189	10,3	106	147
	20-40	5,0	69	140	33,4	95	156	10,4	114	146	5,4	89	108
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	6,0	88	178	57,3	204	188	22,8	226	204	7,9	157	182
	20-40	4,4	79	153	40,2	152	204	17,1	142	163	6,0	106	141

**Приложение АБ – Динамика содержания питательных веществ в черноземе
выщелоченном при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2019 г.)**

Вариант	Слой, см	Перед посевом			Цветение			Кущение			Перед уборкой		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	0-20	6,2	88	153	11,6	77	134	4,1	54	152	3,8	50	143
	20-40	4,4	53	107	5,4	53	118	2,2	38	107	2,5	47	101
N ₄₀ P ₇₅	0-20	5,7	104	182	20,3	68	183	4,6	88	123	4,2	65	193
	20-40	4,0	64	156	8,7	57	107	2,8	53	108	3,9	47	144
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	6,5	117	204	48,8	153	157	13,3	124	172	12,0	124	184
	20-40	4,2	86	171	28,1	104	123	10,4	102	143	5,2	100	132
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	7,7	124	226	55,3	240	147	17,8	159	187	10,6	134	178
	20-40	6,8	81	167	30,4	126	122	12,0	157	126	7,5	101	142

**Приложение АВ – Динамика содержания питательных веществ в черноземе
выщелоченном при внесении минеральных удобрений на планируемую
урожайность яровой пшеницы, мг/кг (2020 г.)**

Вариант	Слой, см	Перед посевом			Цветение			Кущение			Перед уборкой		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	0-20	5,2	72	123	7,2	84	153	5,1	59	162	7,2	84	154
	20-40	2,7	34	104	5	52	120	3,6	42	124	2,1	52	100
N ₄₀ P ₇₅	0-20	6	86	136	15,2	121	157	8,4	43	188	3,8	61	123
	20-40	3,3	62	103	8,6	52	128	4,2	35	155	1,7	45	107
N ₁₅₀ P ₂₀₀	0-20	7,5	97	177	38,4	184	175	10,6	201	179	7,9	101	156
	20-40	4,8	83	126	17,6	113	100	8,6	105	153	5,3	86	107
N ₁₈₅ P ₁₆₀	0-20	8,1	110	190	45,3	220	186	17	217	185	10,4	103	176
	20-40	4,7	84	146	24,4	116	121	14,3	145	104	7,2	72	145

**Приложение АГ – Продуктивность яровой пшеницы при внесении
минеральных удобрений на планируемую урожайность, т/га**

Вариант	2018 г.		2019 г.		2020 г.	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома
Без удобрений	1,85	2,53	2,04	2,71	2,24	3,13
N ₄₀ P ₇₅	2,88	4,26	3,04	4,11	3,52	4,45
N ₁₅₀ P ₂₀₀	5,14	8,55	5,49	8,36	5,17	7,60
N ₁₈₅ P ₁₆₀	5,54	8,74	5,07	8,14	6,24	8,22
HCP ₀₅	0,15	0,42	0,22	0,48	0,27	0,53

**Приложение АД – Содержание азота в зерне и соломе яровой пшеницы
при внесении возрастающих доз минеральных удобрений, %**

Вариант	2018 г.		2019 г.		2020 г.	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома
Без удобрений	2,62	0,38	2,75	0,40	2,22	0,35
N ₄₀ P ₇₅	3,39	0,52	3,27	0,57	3,01	0,55
N ₁₅₀ P ₂₀₀	3,50	0,44	3,27	0,55	3,45	0,62
N ₁₈₅ P ₁₆₀	3,45	0,53	3,2	0,62	3,12	0,73
HCP ₀₅	0,15	0,05	0,21	0,08	0,18	0,12

**Приложение АЕ – Вынос азота зерном и соломой яровой пшеницы при
внесении возрастающих доз минеральных удобрений, кг/га**

Вариант	2018 г.		2019 г.		2020 г.	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома
Без удобрений	48	10	56	11	50	11
N ₄₀ P ₇₅	98	22	99	23	106	24
N ₁₅₀ P ₂₀₀	180	38	180	46	178	47
N ₁₈₅ P ₁₆₀	191	46	162	50	195	60

Приложение АЖ – Общий вынос азота яровой пшеницей при внесении
возрастающих доз минеральных удобрений, кг/га

Вариант	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Без удобрений	58	67	61
N ₄₀ P ₇₅	120	122	130
N ₁₅₀ P ₂₀₀	218	226	225
N ₁₈₅ P ₁₆₀	237	212	255