

На правах рукописи

Пилецкая Ольга Андреевна

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ**

03.02.08 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владивосток 2015

Работа выполнена на кафедре экология, почвоведение и агрохимия Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» и в лаборатории плодородия почв и питания культур в севообороте Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Научный руководитель: кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Прокочук Валентина Федоровна

Официальные оппоненты: **Голов Владимир Иванович**
доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Биолого-почвенный институт ДВО РАН, главный научный сотрудник сектора биогеохимии

Павлова Людмила Михайловна
кандидат биологических наук, доцент, ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, заведующая лабораторией биогеохимии

Ведущая организация: ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

Защита состоится «28» октября 2015 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 005.003.03 на базе ФГБУН Биолого-почвенный институт ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159.

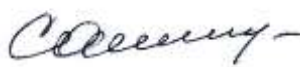
Факс: (423) 2310-193, e-mail: info@biosoil.ru

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим направлять по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-лет Владивостока, 159, ученому секретарю диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН и на сайте института www.biosoil.ru

Автореферат разослан «__» июля 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Е.М. Саенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Почва наряду с ресурсами земных недр, лесов, водных источников является национальным достоянием. Одновременно почва сама по себе является источником сырьевых материалов: каолина, глины, гравия, песка, торфа (Blum,1990). Ухудшение любой функции почвы снижает ее качество и ценность, а также способность обеспечивать функционирование биogeоценозов.

Черноземовидные почвы составляют основу пахотного фонда Амурской области. Согласно Г.В. Голову (2001) общая площадь черноземовидных почв превышает 700 тыс. га и составляет более 20% площади сельхозугодий Амурской области. В структуре пашни на них приходится около 500 тыс. га, или 44% её площади. Черноземовидные почвы обладают достаточно высоким потенциальным плодородием. Их сохранение – важная экологическая, природоохранная и экономическая задача.

Одним из основных факторов, влияющих на плодородие почвы, является биотический – жизнедеятельность почвенной микрофлоры, которая характеризуется биологической и ферментативной активностью (Зайцева, 2006). Данные показатели наиболее объективно отражают степень нарушенности почв, так как живые организмы способны реагировать на весь комплекс негативных воздействий. Изучение биологических процессов, протекающих в почве, создает возможности для характеристики экологического состояния почвы, её плодородия и прогнозирования продуктивности агрофитоценоза.

Из-за холодной малоснежной зимы, способствующей глубокому промерзанию почвы и холодной, засушливой затяжной весны, замедляющей оттаивание почвы, в черноземовидных почвах Амурской области жизнедеятельность микроорганизмов снижена. Это, несомненно, влияет на структуру микробных и ферментных комплексов, определяет их динамику и активность. В то же время биологическая активность почв Амурской области до настоящего времени планомерно не исследовалась. Ферментативная активность почвы изучена фрагментарно (Макаров, 1981)¹, хотя по другим аспектам исследования почв (агрохимическим, физико-химическим) имеется обширная литература. Поэтому изучение биологической и ферментативной активности позволит более глубоко познать процессы, происходящие в черноземовидных почвах на микробиологическом уровне и приблизиться к пониманию процессов формирования почвенного плодородия, а также способов его повышения и сохранения.

В течение 50 лет Всероссийским научно-исследовательским институтом сои Россельхозакадемии (ныне ФГБНУ ВНИИ сои) проводятся полевые опыты по изучению эффективности различных систем удобрения. Однако экологический мониторинг состояния почв не проводился и не ведётся. Вместе с тем использование таких чувствительных методов, как определение биологической и

¹ Библиографические ссылки оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА. Общие требования и правила оформления.

ферментативной активности позволило бы диагностировать агрохимические и экологические изменения в почвах на более ранних стадиях.

Степень разработанности темы. На современном этапе Зейско-Буреинской равнине, основной земледельческой территории Амурской области, необходима комплексная агрохимическая и биологическая оценка состояния почв, много лет используемых в сельскохозяйственном производстве. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научных исследований ФГБОУ ВПО ДальГАУ по теме 7 «Разработать научные основы оптимизации агроэкосистем зерно-соевых севооборотов на почвах Зейско-Буреинской почвенной провинции», раздел 7.1 «Изучить трансформацию почв Зейско-Буреинской почвенной провинции в процессе сельскохозяйственного использования», а также в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБНУ ВНИИ сои по теме «Оптимизировать систему удобрений и приемы обработки почвы на фоне сложившихся уровней плодородия, позволяющие стабилизировать продукционные процессы в соево-зерновых агроценозах».

Цель исследования – изучить влияние длительного применения различных систем удобрения на биологическую активность черноземовидной почвы.

Задачи исследования:

1) определить биологическую и ферментативную активность почвы, используя такие показатели, как эмиссия CO_2 , целлюлозоразлагающая способность почвы, биомасса микроорганизмов, нитрификационная, аммонификационная и минерализационная способности почвы, активность ферментов уреазы, фосфатазы, каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы на фоне длительного применения удобрений;

2) оценить влияние гидротермических условий на показатели ферментативной активности почвы;

3) определить изменение агрохимических свойств черноземовидной почвы при длительном применении удобрений;

4) оценить влияние показателей биологической активности и их взаимодействие на урожайность пшеницы;

5) выявить динамику биологических показателей и определить наиболее информативные сроки их изменения;

Научная новизна. Впервые в условиях Амурской области изучен комплекс показателей биологической активности черноземовидной почвы при применении различных систем удобрения. Показатели биологической активности изучены в динамике, которые позволили установить наиболее информативные сроки их определения. Проведена оценка уровня биологической активности черноземовидной почвы и её зависимости от систем удобрения и гидротермических условий. Впервые установлена взаимосвязь между показателями биологической активности почвы и урожайностью пшеницы.

Теоретическая и практическая значимость. Разработаны рекомендации по определению биологической активности черноземовидной почвы, характеризующие интенсивность и направленность происходящих в ней процессов, обеспечивающих плодородие под влиянием удобрений в условиях

южной сельскохозяйственной зоны Амурской области. Установлено, что оптимальными сроками определения ферментативной активности почвы являются вторая декада июня – первая декада июля, эмиссии CO₂ – третья декада июля – первая декада августа и наиболее интенсивное разложение целлюлозы, определяемое методом аппликаций, проявляется со второй декады июля до второй декады августа. Для оценки трансформации азота в почве достаточно определять только ее минерализующую способность, так как она представляет собой суммарную величину продуцируемого минерального азота почвы.

Методы определения показателей биологической активности почв, исследованные нами, могут быть использованы в учебном процессе при выполнении лабораторных работ по агропочвоведению, методам почвенных исследований, агроэкологическому мониторингу.

Методология и методы исследования. Методология основана на анализе научных публикаций отечественных и зарубежных авторов в области биологических и сельскохозяйственных наук. Проведены полевые наблюдения в длительном опыте и лабораторные исследования черноземовидной почвы с использованием агрохимических, биохимических, биологических и статистических методов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов обеспечивается достаточно обширным фактическим материалом, оптимальным набором используемых методов исследований и результатами статистической обработкой данных.

Материалы исследований докладывались на следующих конференциях: региональных научно-практических конференциях «Молодёжь XXI века: шаг в будущее» (Благовещенск, 2012, 2013, 2014); региональных общеуниверситетских научных конференциях ДальГАУ (Благовещенск, 2012, 2013, 2014); научно-практической конференции «Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока», посвящённой 45-летию ГНУ ВНИИ сои (Благовещенск, 2013); межрегиональной научно-практической конференции с международным участием «Экологическое образование на современном этапе для устойчивого развития» (Благовещенск, 2013); Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата» (Хабаровск, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе три в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 152 страницах печатного текста, содержит 29 рисунков, 33 таблицы, 8 из них в приложениях. Состоит из введения, трёх глав (аналитический обзор литературы; материал и методы исследований; результаты исследований), выводов, приложений и библиографического списка литературы, который включает 226 источника, в том числе 89 на английском языке.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2011-2013 гг. экспериментальная работа выполнена в пятом поле полевого многолетнего стационарного опыта ВНИИ сои по изучению эффективности удобрений. Опыт заложен под руководством В. Т. Куркаева в 1962-1964 гг., опытное поле расположено в пос. Садовое Тамбовского района Амурской области на черноземовидной почве. Севооборот пятипольный, с 40 %-м насыщением соей и пшеницей и 20 %-м насыщением однолетними травами: соя+овёс (таблица 1). Опыт имеет три временных закладки (повторности) со сдвигом по годам и трехкратную пространственную повторность каждой закладки. Расположение вариантов последовательное в три полосы, общая площадь делянки 180 м², учетная 60 м².

Таблица 1 – Схема многолетнего стационарного опыта

| № вар. | Наименование варианта* | Соя+овёс | Соя | Пшеница | Соя | Пшеница 2011-2013 гг. |
|--------|------------------------|---------------------|--------|---------|------------------|-----------------------|
| 1 | контроль | - | - | - | - | - |
| 3 | N24 | N60 | N30 | N30 | - | - |
| 4 | N24P30 | N60P30 | N30P60 | N30 | P60 | - |
| 6 | N42P48 | N90P60 | N60P90 | N30P30 | N30P60 | - |
| 9 | N24P30+навоз 4,8 т | N60P30+навоз (12 т) | N30P60 | N30 | P60+навоз (12 т) | - |

Примечание – * среднегодовая нагрузка удобрений на 1 га площади севооборота

В 2011-2013 гг. наблюдения выполняли в пяти вариантах: контрольный, без применения удобрений; вариант 3, с длительным применением одних только азотных удобрений (N24). В этом варианте, начиная с 7-й ротации севооборота в отдельные годы наблюдалось снижение урожайности полевых культур (Наумченко, 2002). Вариант 4, где та же доза азотных удобрений применяется на фоне фосфорных (N24P30). Вариант 6, с применением больших доз азотно-фосфорных удобрений (N42P48) и вариант 9, где часть минеральных удобрений заменена эквивалентной дозой полуперепревшего навоза крупного рогатого скота (N24P30 + навоз). Под пшеницу в годы исследований в вариантах, выбранных для наблюдений, удобрения не применялись. В годы наблюдений в полевом опыте высевали пшеницу сорта Арюна.

Посев пшеницы выполняли в оптимальные сроки, культуру высевали рядами, с междурядьями 15 см, агротехника возделывания общепринятая в Амурской области (Система земледелия, 2003). Минеральные удобрения под предшествующую культуру вносили вручную под предпосевную культивацию: азотные – в форме аммиачной селитры, фосфорные – двойного суперфосфата. В варианте 9 регулярно вносили навоз крупного рогатого скота. Урожай пшеницы учитывали методом сплошного обмолота комбайном «Сампо 500».

Почва опытного участка – черноземовидная маломощная в комплексе со среднемощной. В пахотном слое почва имеет слабокислую реакцию среды, среднюю величину потенциальной гидролитической кислотности и повышенную сумму поглощенных оснований. В составе поглощенных катионов преобладает

ион кальция. Степень насыщенности основаниями высокая. Содержание доступных форм фосфора очень низкое, калия – высокое.

Хотя агрометеорологические условия 2011 и 2013 гг. характеризовались повышенными температурами и неравномерным выпадением осадков, урожай пшеницы был довольно высоким, в то время как в 2012 г. был получен низкий урожай из-за повышенных температур в сочетании с низкой влажностью воздуха и ветром, который иссушил почву и создал неблагоприятные условия для роста и развития этой культуры (рисунок 1, 2).

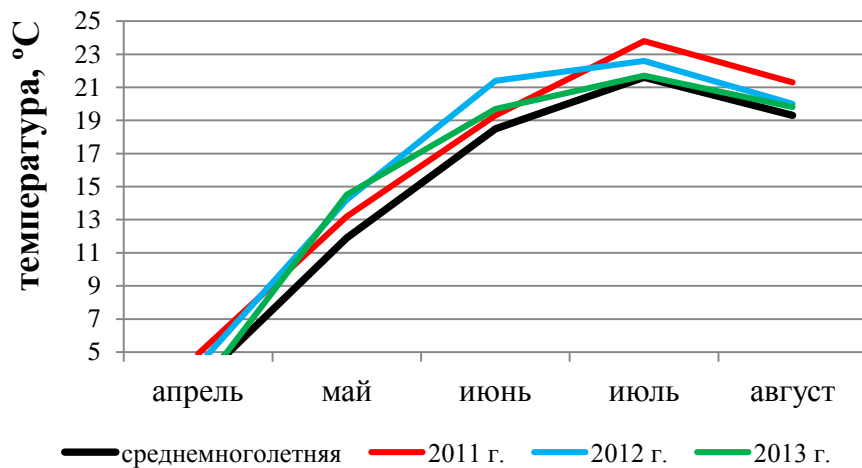


Рисунок 1 – Среднемультилетняя и среднемесячные температуры воздуха за период вегетации пшеницы (МС г. Благовещенска)

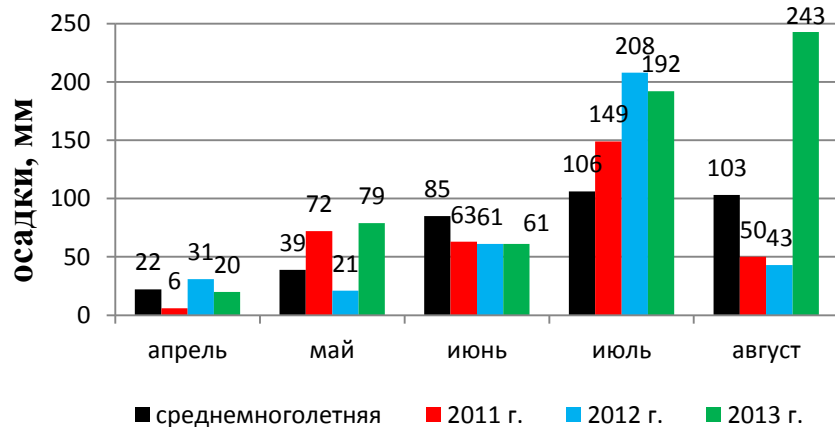


Рисунок 2 – Среднемесячная и средняя многолетняя суммы осадков за весенне-летний период 2011–2013 гг. (МП с. Садовое)

Весной и летом 2011-2013 гг. для проведения биологических и агрохимических исследований на перечисленных выше вариантах опыта были отобраны почвенные образцы по фазам роста и развития яровой пшеницы – кущение, выход в трубку, колошение, восковая спелость. В полевых условиях определена интенсивность разложения целлюлозы в почве методом Е.Н. Мишустина и А. Н. Петровой. Сущность метода заключается в сравнительной характеристике биологической активности разных объектов (разностей почв, вариантов опыта) по интенсивности разложения бязевой ткани, натянутой на стеклянную пластинку (Муртазина, 2006).

В 2011 г. целлюлозоразлагающая способность почвы определялась с 13 июля по 9 августа. В 2012 и 2013 гг. этот показатель определяли в два периода с 7 июня по 9 июля и с 9 июля по 9 августа 2012 г.; с 17 июня по 18 июля и с 18 июля по 20 августа 2013 г.

В 2012 и 2013 гг. целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы определена методом запашки соломы. Перед запашкой солому пропитывали дистиллированной водой и оставляли в течение 4-х зимних месяцев на морозе с целью приближения условий ее разложения к естественным. В 2012 г. экспозиция соломы в почве составила 63 дня (с 7 июня по 9 августа), в 2013 г. – 64 дня (с 17 июня по 20 августа). Интенсивность целлюлозоразлагающего процесса определяли по потере массы соломы.

Отбор почвенных проб проводили тростевым буром с глубины 0...20 см. Анализы почвы выполнены в агрохимической лаборатории кафедры «Экологии, почвоведения и агрохимии» ФГБОУ ВПО ДальГАУ. Биологическую активность почвы определяли в свежих образцах, просеянных через сито с диаметром отверстий 3 мм. Для определения агрохимической характеристики почвенных образцов их предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния и пропускали через сито с отверстиями 2 мм.

Эмиссию углекислого газа при изучении биологических показателей определяли методом Г.М. Оганова (Практикум, 1987). Биологическую активность почвы оценивали по интенсивности выделения CO_2 из почвы при абсорбции его раствором щелочи NaOH.

Энзиматическую активность почвы определяли по активности ферментов класса гидролаз (уреазы, фосфатазы) и оксидоредуктаз (каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы): уреазы – методом А.Ш. Галстяна (Муртазина, 2006), нейтральной фосфатазы – методом гидролиза фенолфталеин фосфата (Временные методические..., 1984). Определение каталазы проводили по Джонсону и Темпле перманганатометрическим методом (Муртазина, 2006), пероксидазы и полифенолоксидазы – методом А.Ш. Галстяна (Хазиев, 2005).

Нитрификационную способность почвы определяли методом С.П. Кравкова (Агрохимические методы ..., 1975), аммонификационную – методом промывки почвы до полного исчезновения аммиака (Теппер, 1993). Азот-минерализующую способность – методом В.Н. Башкина и В.Н. Кудиярова (1990) и биомассу микроорганизмов в почве – регидратационным методом по Т.Г. Мирчинк и Н.С. Паникову (Ганжара, 2002).

По фазам роста и развития пшеницы в черноземовидной почве определены нитратный азот ионометрическим методом (ГОСТ-26951-91) и аммонийный азот методом ЦИНАО (ГОСТ 26489-90), подвижные фосфор и калий методом А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

С целью выявления изменения уровня плодородия вследствие многолетнего применения различных систем удобрений образцы почвы отбирали осенью в 1, 3, 4, 6 и 9 вариантах стационарного опыта после уборки пятой культуры севооборота. Отбор проводили в трех точках делянки по слоям почвы с глубины 0...20, 20...40, 40...60 см почвенным буром с диаметром стакана 5 см.

По слоям почвы определены нитратный азот ионометрическим методом (ГОСТ-26951-91) и аммонийный азот методом ЦИНАО (ГОСТ 26489-90), подвижный фосфор и калий методом А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91), содержание углерода методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина (Орлов, 1981), обменные основания кальция и магния – комплексонометрическим методом (ГОСТ 26487-90), актуальная и обменная кислотность – методом ЦИНАО (ГОСТ 26483-90), гидролитическая кислотность – методом Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Физико-химические и агрохимические свойства. По нашим данным содержание гумуса в пахотном слое в контрольном варианте оказалось равным – 3,87%, вниз по профилю его количество постепенно убывает – 1,89% в слое 20...40 см, 1,27% в слое 40...60 см. Такой характер снижения типичен для черноземовидных почв (Терентьев, 1969). В контрольном варианте без применения удобрений реакция почвенного раствора по всему профилю слабокислая – 6,08...6,20 единиц рН. Длительное применение минеральных азотно-фосфорных удобрений увеличивает все виды почвенной кислотности в пахотном слое, в том числе гидролитическую на 0,40...0,55 мг-экв/100 г почвы. После применения органоминеральных удобрений последняя снижается относительно контроля на 4...5% на всю глубину исследуемого слоя за счет нейтрализации её щелочными и щелочноземельными катионами, присутствующими в составе навоза.

Сумма поглощенных оснований в пахотном слое контрольного варианта составила 20,8 мг-экв/100 г. Статистически значимых изменений этого показателя в зависимости от применения удобрений не наблюдалось, но было обнаружено увеличение количества магния в подпахотном горизонте почвы. В пахотном слое степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса в контроле составила 82,8%. При последствии минеральных удобрений она снижается по сравнению с контролем на 1,4...1,8 абсолютных %. При длительном применении всех систем удобрений в слое почвы на глубине 20-40 см наблюдается увеличение степени насыщенности основаниями за счет вымывания магния из пахотного слоя в нижележащие и уменьшения гидролитической кислотности.

При внесении азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом отрицательного воздействия на физико-химические свойства почвы не наблюдалось.

Содержание подвижного фосфора в черноземовидной почве в варианте без применения удобрений низкое (19 мг/кг), и на фоне длительного применения NP и NP+навоз оно возрастает по сравнению с контролем в 2...3 раза.

Доступными формами калия почвы Амурской области обеспечены в большей степени, чем другими элементами питания. Растения в основном используют водорастворимый и обменный калий. Содержание обменного калия в почве всех вариантов опыта высокое (185 мг/кг), но на фоне длительного

применения минеральных NP удобрений наблюдается тенденция к его снижению относительно контрольного варианта. По данным В.Ф. Прокопчук (2001), баланс этого элемента в почве, ставший отрицательным за длительное время, может привести к истощению фонда пополнения его обменных форм, особенно при отчуждении с побочной продукцией зерновых и сои. В стационарном опыте применение азотно-фосфорных минеральных удобрений в среднегодовых дозах N24P30 и N42P48 повысило вынос калия из почвы с основной и побочной продукцией соответственно на 8 и 17 кг/га в год по сравнению с контрольным вариантом.

Общая биологическая активность и биомасса микроорганизмов. В течение вегетационного периода интенсивность дыхания почвы колеблется в широких пределах. Максимальное выделение углекислоты приходится на середину лета (в период наиболее активного роста растений). Это связано, с одной стороны, с активной деятельностью микроорганизмов, с другой – с интенсивным дыханием корней. Данный период отличается наиболее благоприятными гидротермическими условиями: высокой температурой и оптимальной влажностью почвы. В конце вегетационного периода, несмотря на относительно высокую численность микроорганизмов, интенсивность выделения углекислоты уменьшается, что обусловлено снижением активности не только микрофлоры, но и биохимической деятельности корней (ТенХак Мун, 1977).

Эмиссия CO₂ в фазы кущения и выхода в трубку у пшеницы выше, чем в фазы колошения и восковой спелости, что связано с увеличением расхода доступного для минерализации субстрата и снижением выделения CO₂ корнями растений (таблица 2).

Таблица 2 – Эмиссия CO₂ черноземовидной почвы, мг на 1 кг в 1 час, в среднем за 2011-2013 гг.

| № вар. | Наименование варианта | Фазы роста и развития пшеницы | | | |
|--|-----------------------|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------|
| | | кущение | выход в трубку | колошение | восковая спелость |
| 1 | контроль | 78 | 82 | 65 | 66 |
| 3 | N24 | 88 | 69 | 64 | 51* |
| 4 | N24P30 | 90 | 72 | 68 | 63 |
| 6 | N42P48 | 91 | 76 | 65 | 68 |
| 9 | N24P30+навоз | 78 | 77 | 65 | 66 |
| НСР ₀₅ равен | | 15 | 18 | 5 | 4 |
| F _{факт.} | | 1,71 | 0,62 | 0,64 | 24,86 |
| Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84 | | | | | |

В среднем за три года исследований эмиссия CO₂ в фазе кущения пшеницы в контрольном варианте составила 78 мг/кг и при последствии минеральных удобрений проявилась тенденция к повышению этого показателя на 13...17%. В фазе выхода в трубку отмечена противоположная закономерность, на фоне последствия удобрений наблюдалась тенденция к снижению интенсивности дыхания относительно контрольного варианта на 6...16%. В более поздние фазы

развития пшеницы эмиссия CO_2 оставалась по всем системам удобрения на уровне контроля и только на фоне длительного применения одних азотных удобрений в фазе восковой спелости она была статистически значимо ниже контрольного варианта на 23%. При замене части минеральных удобрений эквивалентным количеством органических, эмиссия CO_2 во все сроки наблюдений находилась на уровне контроля (Пилецкая, 2014).

Целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы во все годы наблюдений была низкой из-за слабой микробиологической активности, так как холодная малоснежная зима, способствующая глубокому промерзанию почвы и холодная, засушливая, затяжная весна, замедляющая оттаивание почвы, приводят к снижению жизнедеятельности почвенных организмов. Целлюлозоразлагающая способность почвы, определяемая с июня по июль, была ниже, чем в срок с июля по август, так как к середине вегетации пшеницы при повышении суточных температур скорость минерализационных процессов в почве возрастает, следовательно, возрастает и скорость разложения ткани по сравнению с ранними сроками определения. На интенсивный процесс разложения клетчатки в черноземовидной почве (июль-август) указывали также Р.Н. Стёпкина (2001) и Н.К. Татарова (2003).

В среднем за годы исследований в ранние сроки развития пшеницы в контрольном варианте скорость разложения целлюлозы составила 1,51 %/сутки, при последствии азотно-фосфорных и органоминеральных удобрений она снизилась. В более поздние сроки развития пшеницы целлюлозоразлагающая способность почвы возросла и составила в контрольном варианте 2,22 %/сутки. На фоне малых доз минеральных и органоминеральных удобрений она была ниже контроля на 10,8% и 11,7% соответственно вариантам 4 и 9 (таблица 3).

Таблица 3 – Целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы

| № вар. | Наименование варианта | Скорость разложения ткани | | Скорость разложения соломы, %/сут (2012-2013 гг.) |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|
| | | июнь-июль, %/сут (2011-2012 гг.) | июль-август, %/сут (2011-2013 гг.) | |
| 1 | контроль | 1,51 | 2,22 | 0,46 |
| 3 | N24 | 1,52 | 2,24 | 0,49 |
| 4 | N24P30 | 1,23 | 1,96* | 0,47 |
| 6 | N42P48 | 1,38 | 2,24 | 0,47 |
| 9 | N24P30+навоз | 1,26 | 1,98* | 0,51 |
| НСР ₀₅ равен | | 0,30 | 0,24 | 0,08 |
| F _{факт.} | | 2,17 | 3,94 | 0,49 |

Примечание – * Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, $F_{\text{теор.}} = 3,84$ (2011-2013 гг.), $F_{\text{теор.}} = 5,32$ (2011-2012 гг. и 2012-2013 гг.).

При определении целлюлозоразлагающей способности почвы методом заправки соломы наблюдался более медленный процесс разложения органического вещества, чем процесс разрушения бязевой ткани, что, возможно, связано с худшим контактом соломы с почвой и другим составом органических

соединений соломы, по сравнению с бязевой тканью. В контроле в 2012-2013 гг. скорость разложения соломы составила 0,46 %/сутки (таблица 3). Значительных изменений в скорости разложении соломы при различных системах удобрения не наблюдалось. Следовательно, определение целлюлозоразлагающей способности методом аппликаций бязевой ткани можно считать более информативным.

Содержание углерода микробной биомассы черноземовидной почвы в среднем за три года исследований в контрольном варианте составило 682 мкг/г. Существенные изменения наблюдались только на фоне применения азотно-фосфорных удобрений, где проявилась тенденция к повышению содержания углерода микробной биомассы относительно контроля, особенно при повышенных дозах удобрений (на 10%). В варианте с последствием органоминеральной системы удобрений зафиксирована тенденция снижения содержания углерода микробной биомассы на 3,9% (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание углерода микробной биомассы черноземовидной почвы, в среднем за 2011-2013 гг.

| № вар. | Наименование варианта | Углерод микробной биомассы, Смкг/г почвы |
|-------------------------|-----------------------|--|
| 1 | контроль | 682 |
| 3 | N24 | 689 |
| 4 | N24P30 | 694 |
| 6 | N42P48 | 750 |
| 9 | N24P30+навоз | 655 |
| НСП ₀₅ равен | | 102 |
| F _{факт.} | | 1,20 |
| F _{теор.} | | 3,84 |

Трансформация азотсодержащих соединений в почве. Нитрификационная способность черноземовидной почвы в конце вегетации пшеницы выше, чем в начале. Это связано с поступлением листового опада, окончанием вегетации пшеницы, активным отмиранием корневой системы, а также с увеличением содержания легкоразлагающегося органического вещества. В условиях Амурской области полное созревание пшеницы происходит в начале августа и уборка проводится прямым комбайнированием в середине августа.

В среднем за 2011-2013 гг. в контрольном варианте минимальное значение нитрификационной способности почвы (таблица 5) зафиксировано в фазе кущения пшеницы – 14,6 мг, максимальное – в фазе восковой спелости пшеницы (17,2 мг). При использовании одних только азотных удобрений проявилась тенденция к повышению нитрификационной способности черноземовидной почвы в фазы кущения, колошения и восковой спелости пшеницы на 4...8% относительно контроля. При внесении азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом нитрификационная способность статистически значимо возросла по сравнению с контролем – на 10...18% в фазы кущения и выхода в трубку пшеницы, в фазе колошения она увеличилась незначительно – на 10...17%.

Таблица 5 – Нитрификационная способность черноземовидной почвы, мг N-NO₃ на 1 кг почвы, в среднем за 2011-2013 гг.

| № вар. | Наименование варианта | Фазы роста и развития пшеницы | | | |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------|
| | | кущение | выход в трубку | колошение | восковая спелость |
| 1 | контроль | 14,6 | 16,4 | 15,8 | 17,2 |
| 3 | N24 | 15,8 | 16,0 | 16,5 | 18,0 |
| 4 | N24P30 | 16,7* | 18,1* | 18,5 | 16,4 |
| 6 | N42P48 | 16,3* | 18,1* | 17,4 | 17,3 |
| 9 | N24P30+навоз | 17,2* | 18,4* | 17,9 | 19,3* |
| НСР ₀₅ равен | | 1,5 | 1,3 | 2,2 | 1,3 |
| F _{факт.} | | 4,75 | 8,30 | 2,54 | 7,44 |

Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F_{теор.} = 3,84

В фазе восковой спелости пшеницы после применения малых доз азотно-фосфорных удобрений проявилась тенденция к снижению нитрификационной способности почвы на 5%, на фоне же длительного применения органоминеральных удобрений она статистически значимо возросла по отношению к контролю на 12%.

В 2011–2013 гг. была изучена аммонификационная способность черноземовидной почвы в фазе колошения пшеницы. Аммонификационная способность почвы в отличие от нитрификационной способности изучалась с внесением в почву субстрата (соевая мука). Она не зависит от уровня удобренности почвы, а характеризует только пул микроорганизмов. В среднем за три года исследований в фазе колошения пшеницы в контрольном варианте аммонификационная способность почвы составила 100 мг/кг. При последствии всех систем удобрений аммонификационная способность черноземовидной почвы проявила незначительную тенденцию к увеличению – на 2,7...13,1% относительно контроля (таблица 6). Аммонификационная способность почвы не может являться критерием оценки количества продуцируемого азота, доступного для растений.

Таблица 6 – Аммонификационная и минерализационная способность черноземовидной почвы в фазе колошения пшеницы, среднее за 2011-2013 гг.

| № вар. | Наименование варианта | Аммонификационная способность почвы, мг N-NH ₄ / кг почвы | Минерализационная способность почвы, мг N/кг почвы |
|-------------------------|-----------------------|--|--|
| 1 | контроль | 100 | 50,2 |
| 3 | N24 | 114 | 52,1 |
| 4 | N24P30 | 103 | 51,3 |
| 6 | N42P48 | 108 | 52,7* |
| 9 | N24P30+навоз | 113 | 54,7* |
| НСР ₀₅ равен | | 3 | 2,2 |
| F _{факт.} | | 0,61 | 5,84 |

Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F_{теор.} = 3,84

Наиболее перспективным является метод определения минерализационной способности почвы, предложенный В.Н. Башкиным и В.Н. Кудияровым, который учитывает как аммонификационную способность почвы без добавления субстрата, так и нитрификационную способность почвы, т.е. суммарное продуцирование минерального азота (Башкин, 1999).

В среднем за три года исследований в фазе колошения пшеницы в контрольном варианте минерализационная способность почвы составила 50,2 мг/кг (таблица 6). При последствии малых доз минеральных удобрений минерализационная способность черноземовидной почвы проявила тенденцию к повышению на 2...4% относительно контроля, при последствии повышенных доз минеральных и органоминеральных удобрений она была значимо выше контроля на 5...9%.

Ферментативная активность. При изучении динамики ферментативной активности почвы наиболее информативная фаза – выход в трубку. Для данной фазы проанализировано влияние погодных условий на активность ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз.

Влажность почв весной и в первой половине лета на Зейско-Буреинской равнине обусловлена количеством осенних осадков в предшествующем году (рисунок 3), так как доля осадков в зимний период (ноябрь-март) не превышает 10% от средней многолетней годовой нормы (44 мм), а весной и в первой половине лета количество осадков возрастает до 30% (146 мм). В 2010 и 2011 гг. количество осадков осенью было значительно меньше, а в 2012 г. – в 2 раза выше среднего многолетнего значения. В вегетационный период 2012 г. пониженные запасы влаги в почве с осени 2011 г. сопровождалось низким количеством осадков весной и в июне, поэтому условия произрастания пшеницы до фазы выхода в трубку в этом году можно отнести к весьма неблагоприятным. В вегетационный период 2011 г. незначительное количество осадков осенью 2010 г. компенсировалось повышенным количеством осадков в виде снега (80 мм) и в мае-июне – на уровне нормы, поэтому условия вегетации можно отнести к средним по увлажнению. Вегетация пшеницы в 2013 г. протекала в условиях избыточного увлажнения: количество осадков предшествующей осенью и зимой превысило норму в 2,2 раза (290 мм), а весной и в июне – в 1,6 раза (Пилецкая, 2014).

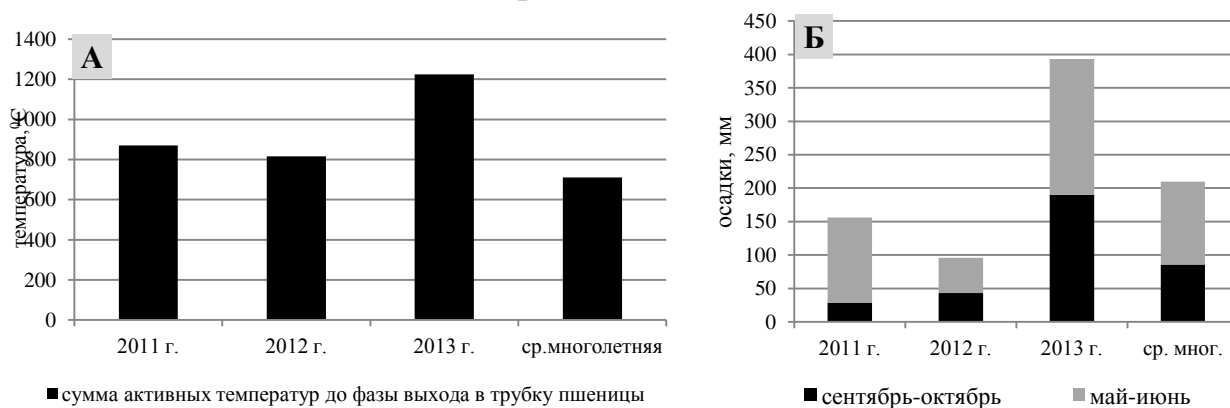


Рисунок 3 – Сумма активных температур до фазы выхода в трубку пшеницы (А) и количество осадков за осенний период предшествующего года и весенне-раннелетний период года вегетации пшеницы (Б)

Из-за переувлажненной почвы посев пшеницы был проведен только в конце мая, и фаза выхода в трубку наступила на 20 дней позже, чем в предшествующие годы.

На биологическую активность почв оказывает влияние сумма суточных температур (Чагина, 1986). В годы исследований сумма температур от протаивания пахотного слоя до наступления фазы выход в трубку пшеницы была выше средней многолетней величины в 2012 г. на 106 °С, в 2011 г. – на 160 °С и в 2013 г. – на 515 °С. Для подтверждения зависимости ферментативной активности почв от погодных условий проведен корреляционный анализ (таблица 7). В результате установлена положительная связь активности ферментов каталаза и полифенолоксидаза из класса оксидоредуктаз с погодными условиями. Активность ферментов класса гидролаз показала отрицательную зависимость от погодных условий, причём в большей степени это наблюдалось для уреазы и в меньшей – для фосфатазы.

Таблица 7 – Корреляционная зависимость активности ферментов от погодных условий (n=9, $r_{крит}=0,670$)

| Фермент | Фактор | | |
|-------------------|------------------|--|---------------------------|
| | Сумма температур | Сумма осадков за сентябрь–октябрь + май–июнь | Сумма осадков за май–июнь |
| Уреаза | - 0,630 | - 0,485 | - 0,837* |
| Фосфатаза | - 0,348 | - 0,442 | - 0,128 |
| Каталаза | 0,789* | 0,792* | 0,691* |
| Пероксидаза | - 0,036 | 0,113 | - 0,320 |
| Полифенолоксидаза | 0,654 | 0,633 | 0,618 |

Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне

В среднем за три года исследований в черноземовидной почве активность ферментов класса гидролаз на фоне последствий удобрений была ниже, чем в контроле. Из класса оксидоредуктаз снижение активности по отношению к контролю наблюдалось только у каталазы. Активность пероксидазы и полифенолоксидазы была выше, чем в контроле (таблица 8).

Как отметил В.И. Турусов (2012), при увеличении содержания подвижного фосфора в почве активность фосфатазы уменьшается. На наш взгляд, это является реакцией живых организмов на содержание доступных форм фосфора в окружающей среде и признак экономии ресурсов по выработке фосфатазы. В наших исследованиях данная закономерность прослеживается только в фазе выхода в трубку пшеницы, за исключением варианта с длительным применением одних азотных удобрений, где резко снижается как содержание подвижного фосфора в почве, так и активность фосфатазы (таблицы 8, 9). В более поздние фазы развития пшеницы в период муссонных дождей закономерность, отмеченная В.И. Турусовым, не сохраняется.

Таблица 8 – Активность ферментов черноземовидной почвы в фазе выход в трубку пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг.

| № вар. | Наименование варианта | Фермент | | | | |
|--|-----------------------|---|---|---|---|--|
| | | уреаза мг N-NH ₃ на 1 г почвы за 24 часа | фосфатаза мг P ₂ O ₅ на 1 г почвы за 24 часа | каталаза см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 минуту | пероксидаза мг пурпургаллина на 100 г почвы за 30 мин | полифенол оксидаза мг пурпургал- лина на 100 г почвы за 30 мин |
| 1 | контроль | 0,341 | 2,75 | 0,263 | 160 | 32 |
| 3 | N24 | 0,325* | 2,67 | 0,260 | 174 | 32 |
| 4 | N24P30 | 0,335 | 2,58 | 0,253* | 168 | 37* |
| 6 | N42P48 | 0,334 | 2,59 | 0,249* | 167 | 39* |
| 9 | N24P30+навоз | 0,311* | 2,57 | 0,266 | 165 | 38* |
| НСР ₀₅ равен | | 0,012 | 0,22 | 0,008 | 14 | 4 |
| F _{факт.} | | 9,78 | 1,16 | 9,49 | 1,46 | 6,00 |
| Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84 | | | | | | |

Таблица 9 – Содержание подвижного фосфора черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг., в мг/кг почвы

| № вар. | Наименование варианта | Фазы роста и развития пшеницы | | | |
|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------|-----------|----------------------|
| | | кущение | выход в трубку | колошение | восковая спелость |
| 1 | контроль | 28 | 28 | 26 | 27 |
| 3 | N24 | 22* | 22* | 21 | 21 |
| 4 | N24P30 | 47* | 44* | 44* | 42* |
| 6 | N42P48 | 78* | 74* | 75* | 65* |
| 9 | N24P30+навоз | 73* | 76* | 69* | 72* |
| НСР ₀₅ равен | | 5 | 6 | 9 | 9 |
| F _{факт.} | | 283,01 | 194,56 | 78,80 | 70,78 |
| Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84 | | | | | |

Для установления зависимости активности фосфатазы от содержания подвижного фосфора в почве выполнен корреляционный анализ (таблица 10). Коэффициент корреляции между этими величинами выявил обратно-пропорциональную среднюю и сильную связь, но статистически не достоверную при данной величине выборки. Поэтому она может быть принята как ориентировочная.

Таблица 10 – Корреляционная зависимость активности фосфатазы от содержания подвижного фосфора в черноземовидной почве (n=5, r_{крит}=0,878)

| Фазы роста и развития пшеницы | | | |
|-------------------------------|----------------|-----------|-------------------|
| кущение | выход в трубку | колошение | восковая спелость |
| 0,689 | - 0,768 | 0,392 | - 0,533 |

Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почв, предложенной Э.И. Гапонюк и С.В. Малаховым (Казеев, 2003), активность фермента каталазы черноземовидной почвы была очень слабой, уреазы – слабой, фосфатазы – очень высокой.

Взаимосвязь показателей биологической активности почвы при длительном применении удобрений. Биологическая активность почвы связана с ее важнейшим свойством плодородием и может в определенной степени характеризоваться урожайностью. Урожайность пшеницы по годам исследований резко различалась (таблица 11).

Таблица 11 – Урожайность пшеницы, ц/га (по данным ГНУ ВНИИ сои)

| № вар. | Наименование варианта | Урожайность пшеницы | | | |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------|---------|--------------------------|
| | | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | средняя за 2011-2013 гг. |
| 1 | контроль | 27,9 | 7,9 | 19,5 | 18,4 |
| 3 | N24 | 27,8 | 8,7 | 20,7 | 19,1 |
| 4 | N24P30 | 26,5 | 9,6 | 21,2* | 19,1 |
| 6 | N42P48 | 26,5 | 10,5* | 22,4* | 19,8* |
| 9 | N24P30+навоз | 27,5 | 12,0* | 22,4* | 20,6* |
| НСР ₀₅ равен | | 2,4 | 1,9 | 1,7 | 0,8 |
| Точность опыта | | 2,81% | 6,60% | 2,64% | 3,27% |

Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне

В среднем за годы исследований после применения азотно-фосфорных удобрений в дозе N42P48 и при совместном внесении их с навозом урожайность пшеницы была достоверно выше контроля на 8...12%.

Для оценки взаимосвязи урожайности пшеницы с биологической активностью почвы был проведен линейный корреляционный анализ (таблицы 12, 13, 14). Выборка составлена по средним значениям показателей для всех вариантов каждой временной закладки. Таким образом, количество пар равно количеству вариантов, $n=5$. Статистически значимую прямую связь урожайность имеет с нитрификационной способностью почвы ($r= 0,919$ и $0,934$). Урожайность имеет высокую обратную связь с активностью пероксидазы ($r= -0,977$) и полифенолоксидазы ($r= -0,908$), что очевидно, обусловлено иммобилизацией минеральных форм азота, а также с целлюлозоразлагающей способностью почвы ($r= -0,880$).

Таблица 12 – Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биохимической активности черноземовидной почвы ($n=5$, $r_{крит}=-0,878$)

| Годы проведения опытов | Показатель | | | | |
|------------------------|------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|
| | Уреазы | Фосфатаза | Каталаза | Пероксидаза | Полифенолоксидаза |
| 2011 г. | 0,224 | 0,435 | 0,664 | -0,977* | -0,754 |
| 2012 г. | -0,365 | -0,619 | -0,260 | 0,162 | 0,454 |
| 2013 г. | 0,198 | -0,273 | -0,256 | -0,453 | -0,908* |

Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне

Таблица 13 – Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биологической активности черноземовидной почвы ($n=5$, $r_{\text{крит}}=0,878$)

| Годы проведения опытов | Показатель | | | | | | Биомасса микроорганизмов |
|------------------------|-------------------------|----------------|--------------|-------------------|----------------|----------|--------------------------|
| | Эмиссия CO ₂ | | | | ЦСП | | |
| | Кущение | Выход в трубку | Колошение | Восковая спелость | 1-й срок | 2-й срок | |
| 2011 г. | -0,767 | -0,669 | 0,876 | -0,294 | | -0,574 | -0,073 |
| 2012 г. | -0,058 | -0,688 | 0,244 | 0,439 | -0,880* | -0,539 | 0,794 |
| 2013 г. | -0,026 | -0,455 | 0,466 | 0,423 | -0,415 | -0,530 | 0,032 |

Таблицы 14– Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биологической активности характеризующих трансформацию азотсодержащих соединений черноземовидной почвы ($n=5$, $r_{\text{крит}}=0,878$)

| Годы проведения опытов | Показатель | | | | | МСП |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|--------|-----|
| | НСП | | | | | |
| | Кущение | Выход в трубку | Колошение | Восковая спелость | | |
| 2011 г. | 0,526 | -0,368 | -0,815 | 0,336 | 0,253 | |
| 2012 г. | 0,919* | 0,681 | 0,602 | 0,378 | 0,485 | |
| 2013 г. | 0,272 | 0,675 | 0,934* | 0,024 | -0,077 | |

Примечание – * Статистически значимые изменения на 5%-м уровне

Таким образом, зависимость урожайности пшеницы от биохимической и биологической активности почвы носит переменный характер, что создает значительные трудности для обнаружения закономерных связей такого важного показателя эффективного плодородия почвы, как урожайность культуры с биологической активностью почвы.

Для оценки взаимосвязи биологических показателей черноземовидной почвы был проведен линейный корреляционный анализ (таблицы 15, 16). Выборка составлена по средним значениям показателей за три года исследований, поэтому количество пар равно количеству вариантов, $n=5$.

Высокая статистически значимая прямая корреляционная зависимость наблюдается для активности фосфатазы с целлюлозоразлагающей способностью ($r= 0,897$), активности полифенолоксидазы с эмиссией CO₂ ($r= 0,997$) и нитрификационной способностью почвы ($r= 0,963$). Высокая статистически значимая обратная корреляционная зависимость выявлена между активностью уреазы и минерализационной способностью почвы ($r= -0,907$), активностью фосфатазы и нитрификационной способностью почвы ($r= -0,920$), активностью каталазы и биомассой микроорганизмов ($r= -0,907$), активностью пероксидазы и эмиссией CO₂ ($r= -0,970$). При разложении органического вещества в почве происходит потребление азота, что приводит к иммобилизации минеральных форм азота, в результате чего происходит снижение содержания исходного материала для нитрификации.

Таблица 15 – Линейная корреляционная связь показателей биологической активности в черноземовидной почве за 2011-2013 гг. (n=5, r_{крит}=0,878)

| Показатель биологической активности | | ЦСП | | Биомасса микроорганизмов | НСП | | | МСП |
|--|-------------------|--------|---------------|--------------------------|---------------|----------------|---------------|---------|
| | | 1 срок | 2 срок | | Кущение | Выход в трубку | Колошение | |
| Эмиссия CO ₂ | Кущение | 0,114 | - | - | 0,237 | - | - | - |
| | Выход в трубку | 0,104 | - | - | - | 0,090 | - | - |
| | Колошение | - | -0,702 | -0,034 | - | - | 0,696 | 0,272 |
| | Восковая спелость | - | -0,241 | - | - | - | - | 0,079 |
| Биомасса | | - | 0,536 | - | - | - | 0,310 | - 0,236 |
| ЦСП | 1 | - | - | - | -0,853 | -0,915* | - | - |
| | 2 | - | - | 0,536 | - | - | -0,811 | -0,120 |
| МСП | | - | - | - | - | - | 0,476 | - |
| Примечание – * Статистически значимые изменения на 5%-м уровне | | | | | | | | |

Таблица 16 – Линейная корреляционная связь показателей биохимической активности в черноземовидной почве за 2011-2013 гг. (n=5, r_{крит}=0,878)

| Показатель биологической активности | Эмиссия CO ₂ | ЦСП | Биомасса микроорганизмов | НСП | МСП |
|---|-------------------------|---------------|--------------------------|----------------|----------------|
| Уреаза | 0,253 | 0,357 | 0,574 | -0,322 | -0,907* |
| Фосфатаза | 0,293 | 0,897* | -0,081 | -0,920* | -0,691 |
| Каталаза | 0,320 | 0,188 | -0,907* | -0,306 | 0,197 |
| Пероксидаза | -0,970* | 0,058 | 0,187 | -0,182 | 0,230 |
| Полифенолоксидаза | 0,997** | -0,807 | 0,285 | 0,963* | 0,614 |
| Примечание – * Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, ** полиномиальное приближение (R ²) | | | | | |

По данным В.Ф. Прокопчук (1996), при внесении в почву соломы установлено снижение урожайности зерновых культур из-за недостатка минеральных форм азота в почве. В наших исследованиях наблюдалась также высокая обратная корреляционная зависимость не только между эмиссией CO_2 и целлюлозоразлагающей способностью почвы, но и между целлюлозоразлагающей и нитрификационной способностью почвы ($r =$ от $-0,811$ до $-0,915$), статистически достоверная на 5% уровне значимости в фазе выхода в трубку пшеницы.

Взаимосвязь показателей биологической активности почвы между собой, как и взаимосвязь данных показателей с урожаем, является изменчивой. Это связано с высокой динамичностью биохимических процессов, протекающих в почве, большой гетерогенностью и сложностью структуры как самого микробного сообщества, так и среды его обитания – черноземовидной почвы, а также неуправляемостью гидротермического режима.

Методы почвенной биологии и энзимологии позволяют достаточно точно определить интенсивность и направленность происходящих в почве процессов, обеспечивающих ее плодородие. Однако при их очевидной информативности эти методы сложно использовать для оценки изменения плодородия почвы под влиянием различных доз удобрений (Девятова, 2006). Данные, полученные в результате исследований биологической активности черноземовидной почвы, свидетельствуют, что уровень продуктивного потенциала этих почв может определяться суммарной активностью и интенсивностью биохимических процессов, обусловленной содержанием в почве определенного пула ферментов.

ВЫВОДЫ:

1. Применение удобрений существенно влияет на состояние почвы, изменяя состав обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе, снижая интенсивность процессов разложения целлюлозы, а также активность уреазы, фосфатазы и каталазы.

2. Длительное применение одних только азотных удобрений снижает относительно контроля степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса, эмиссию CO_2 в июле и августе, активность уреазы и фосфатазы на фоне снижения содержания доступных растению форм фосфора, но повышает минерализационную способность азотсодержащих органических веществ в почве и активность пероксидазы.

3. Длительное применение минеральных азотно-фосфорных удобрений снижает степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса, содержание обменного калия, целлюлозоразлагающую способность почвы, активность уреазы, каталазы и фосфатазы на фоне резкого увеличения доступных форм фосфора, но повышает минерализационную способность азотсодержащих органических веществ и активность ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы относительно контроля.

4. При замене части минеральных удобрений на органические ухудшения агрохимических свойств почвы не происходит. При этом увеличивается степень

насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса и содержание доступных растениям форм калия и фосфора. Показатели биологической активности изменяются аналогично вариантам с применением минеральных азотно-фосфорных удобрений.

5. Для оценки трансформации азота в почве при последствии удобрений наиболее информативным является определение минерализационной способности, так как она учитывает суммарное продуцирование минерального азота.

6. Изучение динамики биологических показателей в черноземовидной почве выявило повышение эмиссии CO_2 в июне-июле, целлюлозоразлагающей способности – в июле-августе, нитрификационной способности почвы – в августе.

7. Ферментативная активность черноземовидной почвы в весенне-раннелетний период зависит от погодных условий в большей степени, чем от системы удобрения. Так, установлена сильная положительная зависимость фермента каталазы от суммы активных температур и суммы осадков за сентябрь-октябрь + май-июнь и сильная отрицательная зависимость фермента уреазы от суммы осадков за май-июнь. Черноземовидная почва характеризуется очень слабой активностью фермента каталазы, слабой – уреазы, очень высокой – фосфатазы.

8. Урожайность пшеницы как показатель биологической активности почвы и плодородия повышается только после применения азотно-фосфорных удобрений и при их совместном внесении с навозом. Урожайность пшеницы находится в тесной прямой связи с нитрификационной способностью почвы, в обратной связи с активностью ферментов, ответственных за гумификацию, а также с целлюлозоразлагающей способностью почвы.

9. Прямая высокая корреляционная зависимость наблюдается у активности фосфатазы с целлюлозоразлагающей способностью, активности полифенолоксидазы с эмиссией CO_2 и нитрификационной способностью почвы. Обратная высокая зависимость наблюдается между активностью уреазы и минерализационной способностью почвы, активностью фосфатазы и нитрификационной способностью почвы, активностью каталазы и биомассой микроорганизмов, активностью пероксидазы и эмиссией CO_2 , целлюлозоразлагающей и нитрификационной способностью почвы.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Пилецкая, О.А. Оценка потенциальной биологической активности черноземовидной почвы / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 9. – С. 41-44.
2. Пилецкая, О.А. Фосфатный режим и фосфатазная активность черноземовидной почвы / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 47-50.

3. **Пилецкая, О.А.** Ферментативная активность черноземовидной почвы на фоне длительного применения удобрений / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2014. – №4. – С. 41-45.

Статьи, опубликованные в периодических изданиях

4. **Пилецкая, О.А.** Активность ферментов класса гидролаз в черноземовидной почве на фоне различных систем удобрений / О.А. Пилецкая // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – Вып. 9. – С. 71-75.

5. **Пилецкая, О.А.** Ферментативная активность черноземовидной почвы на фоне различных систем удобрений / О.А. Пилецкая // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока: сб. науч. тр. ВНИИ сои. – Благовещенск. – 2013. –Т. 2. – С. 32-35.

6. **Пилецкая, О.А.** Биологическая активность черноземовидной почвы при длительном применении удобрений / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // Дальневосточный аграрный вестник. – 2014. – Вып. 2 (30). – С. 33-37.

Работы, опубликованные в материалах международных, всероссийских и региональных конференций

7. **Пилецкая, О.А.** Биологическая активность луговой черноземовидной почвы и ее изменение на фоне различных систем удобрений / О.А. Пилецкая // «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», материалы XIII-й региональной научно-практической конференции. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2012. – С. 100-101.

8. **Пилецкая, О.А.** Активность ферментов класса оксидоредуктаз при длительном применении удобрений / О.А. Пилецкая // «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», материалы XIV-й региональной научно-практической конференции. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. – С. 7-8.

9. **Пилецкая, О.А.** Адаптация методов биологической оценки экологического состояния почв для лабораторных работ по дисциплине «методы почвенных исследований / О.А. Пилецкая // Экологическое образование на современном этапе для устойчивого развития, материалы межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013. – Т. 2. – С. 57-60.

10. **Пилецкая, О.А.** Фосфатный режим черноземовидной почвы на фоне длительного применения удобрений / О.А. Пилецкая // «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», материалы XV-й региональной научно-практической конференции. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – Т. 7. – С. 7-8.

11. **Пилецкая, О.А.** Актуальная и потенциальная биологическая активность почвы на фоне длительного применения удобрений / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», материалы V Дружининских чтений. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 344-348.