

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт сои

На правах рукописи

ПИЛЕЦКАЯ ОЛЬГА АНДРЕЕВНА

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

03.02.08 – Экология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент В.Ф. ПРОКОПЧУК

Благовещенск, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	8
1.1. Характеристика показателей биологической активности почвы	8
1.2. Влияние удобрений на биологическую активность почвы	28
Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	41
2.1. Методы исследований	41
2.2. Характеристика почвы опытного участка	47
2.3. Климат и метеорологические условия	49
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ИЗМЕНЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ НА ФОНЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ	55
3.1. Физико-химические и агрохимические свойства	55
3.2. Общая биологическая активность и биомасса микроорганизмов	66
3.3. Трансформация азотсодержащих соединений в почве	77
3.4. Ферментативная активность	85
3.5. Взаимосвязь показателей биологической активности почвы при дли- тельном применении удобрений	104
ВЫВОДЫ	119
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
ПРИЛОЖЕНИЯ	145

ВВЕДЕНИЕ

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 W.E.H. The Challenge of soil protection in Europe // *Environmental Conservation*. 1990. Vol. 17. P. 72 – 74). Ухудшение любой функции почвы снижает ее качество и ценность, а также способность обеспечивать функционирование биогееценозов.

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. В то же время И.Г. Ковшик (личное сообщение) считает, что общая площадь этих почв составляет 350-360 тыс. га, 30-40% пашни в зависимости от освоенности. 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 О.В. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активности почвенной микрофлоры Самарской области // *Вестник СамГУ*. 2006. № 9. С. 138-144)¹. Данные показатели наиболее четко 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 агроценоза.

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

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, обуславливая тем самым трансформацию веществ, являющуюся ключевым звеном в почвообразовании.

В тоже время биологическая активность почв Амурской области до настоящего времени планомерно не исследовалась. Ферментативная активность почвы изучена фрагментарно (Макаров В.Н. Влияние обработок почвы на рост корневой системы, биологическую активности почвы и урожай // Оптимизация условий возделывания сои в Приамурье: сб. науч. трудов Сибирское отделение ВАСХАНИЛ. Новосибирск, 1981. С. 14-19), хотя по другим аспектам исследования почв (агрохимическим, физико-химическим) имеются обширные данные. Поэтому изучение биологической и ферментативной активности позволит более глубоко познать процессы, происходящие в черноземовидных почвах и обеспечивающие их плодородие.

В течение 50 лет Всероссийским научно-исследовательским институтом сои Россельхозакадемии (ныне ФГБНУ ВНИИ сои) проводятся полевые опыты по применению различных систем удобрения. Однако экологический мониторинг состояния почв не ведётся. Вместе с тем использование таких чувствительных методов, как определение биологической и ферментативной активности позволило бы диагностировать изменения в почве на начальных этапах.

Степень разработанности темы. На современном этапе Зейско-Буреинской равнине, основной земледельческой территории Амурской области, требуется комплексная агрохимическая и биологическая оценка состояния почв. 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 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 и установлены 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, целлюлозоразлагающей способности методом аппликаций – вторая декада июля – вторая декада августа и эмиссии CO_2 – третья декада июля – первая декада августа. Для оценки трансформации азота в почве достаточно определять только минерализационную способность, так как она объединяет суммарное продуцирование минерального азота.

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 достаточным фактическим материалом, набором используемых методов исследований и статистической обработкой данных.

Результаты 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.

В основу диссертационной работы положены данные экспериментальных исследований, полученные автором в совместных опытах с ведущим научным сотрудником ФГБНУ ВНИИ сои кандидатом с.-х. наук И.Г. Ковшиком. За помощь в работе автор выражает искреннюю благодарность научным сотрудникам ФГБНУ ВНИИ сои: кандидатам с.-х. наук А.В. Науменко и Е.Т. Наумченко, инженеру-аналитику Л.В. Дмитраш, научному сотруднику, заведующему лабораторией «Защиты растений» А.Н. Дубровину. Также автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ФГБОУ ВПО ДальГАУ: доктору биологических наук А.В. Крылову, кандидатам с.-х. наук Т.Е. Абросимовой и Т.Н. Черноситовой. Особую признательность и благодарность – научному руководителю кандидату с.-х. наук, доценту В.Ф. Прокопчук за оказанное внимание и помощь в разработке программы исследований и методическое руководство в процессе выполнения диссертационной работы.

Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Характеристика показателей биологической активности почвы

По В.И. Вернадскому, почва – это биокосное вещество, создаваемое одновременно живыми организмами и процессами неорганической природы. Созданная органической жизнью почва – сложная многокомпонентная система, состоящая из твердых частиц, жидкой и газообразной частей и живых организмов. Без огромного и сложного мира живущих в почве существ нет и не может быть самой почвы, а без почвенного покрова не могла бы развиваться биосфера Земли как единая планетарная оболочка. Почвенный покров нашей планеты обеспечивает жизнь растениям и служит конвейером для переработки их остатков. С другой стороны, «живое вещество», по образному выражению академика В.И. Вернадского, само создает почву (Звягинцев Д.Г. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.). Почва наряду с ресурсами земных недр, лесов, водных источников является национальным достоянием и принадлежит к земельным ресурсам.

Почва – уникальная по физическим и химическим свойствам полидисперсная многокомпонентная система. Она является практически идеальной средой для развития подавляющего большинства микроорганизмов и по микробному генофонду – самым богатым природным субстратом (Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. – 275 с.).

Состав «живого вещества» почв, вызываемые организмами процессы и результаты их деятельности изучает наука биология почв. Эта наука рассматривает биологические аспекты почвоведения, а именно живой мир, населяющий почву и процессы взаимодействия этого мира с твердой, жидкой и газообразной составными частями почвы. Истоки зарождения биологии почв прослеживаются в конце XIX и начале XX вв., когда был заложен фундамент двух наук – почвоведения и микробиологии (Звягинцев Д.Г. Биология почв. С. 10).

Ведущим показателем в почвенной биологии является характеристика биологической активности почвы, под которой следует подразумевать интенсивность протекающих в ней биологических процессов. Биологическая активность обусловлена суммарным содержанием в почве определенного запаса ферментов как выделенных в процессе жизнедеятельности растений и микроорганизмов, так и аккумулированных после разрушения отмерших клеток. Биологическая активность почв характеризует размеры и направление процессов превращения веществ и энергии в экосистемах суши, интенсивность переработки органических веществ и разрушения минералов (Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.).

Биологическая активность почв также рассматривается как свойство почвы, производное совокупности абиотических, биотических и антропогенных факторов её формирования. Она играет важную роль в процессе формирования, становления или деградации почвенного плодородия (Вальков В.Ф. Системно-биологический подход при изучении почв // Научная мысль Кавказа. 1995. № 4. С. 6-10).

В качестве показателей биологической активности почв используются: численность и биомасса разных групп почвенной биоты, их продуктивность, ферментативная активность почв, активность основных процессов, связанных с круговоротом элементов, некоторые энергетические данные, количество и скорость накопления некоторых продуктов жизнедеятельности почвенных организмов (Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов [и др.]. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.).

При характеристике почвы доминирующее положение получили физико-химические свойства. Однако за образование органического вещества почвы и круговорот неорганических, особенно биофильных элементов, и множество других свойств и функций почвы ответственен именно микробно-растительный компонент. Среди множества характеристик биологического компонента почвы следует особенно подчеркнуть его самовоспроизводимость, самообеспеченность и динамичность. Поэтому характеристика биологической активности почвы в настоящее

время становится приоритетной и наиболее перспективной (Семёнов А.М. Диагностика здоровья и качества почвы // Агрехимия. 2011. № 12. С. 4-20). Её показатели определяют, используя различные методы: микробиологические, биохимические, физиологические и химические.

В результате многочисленных исследований была установлена необходимость разделения биологической активности почв (и соответственно методов ее определения) на актуальную и потенциальную, не всегда совпадающие между собой.

Потенциальная биологическая активность – активность почвы, измеренная в искусственных условиях, оптимальных для протекания конкретного биологического процесса. Измеряют её следующими методами: определение численности бактерий посредством прямого микроскопирования: по С. Н. Виноградскому или люминесцентно-микроскопическим методом, определение длины гиф грибов и актиномицетов люминесцентно-микроскопическим методом, определение численности микроорганизмов методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды, определение ферментативной активности, лабораторные методы определения дыхания, нитрификации, азотфиксации, денитрификации и др.

Актуальная (действительная, естественная, полевая) биологическая активность характеризует реальную активность почвы в естественных (полевых) условиях. Измеряют её только в поле с помощью следующих методов: определение дыхания, азотфиксации, денитрификации в полевых условиях, аппликационные методы (определение интенсивности разложения льняного полотна и накопления свободных аминокислот), определение численности и видового состава микробов (Безкоровая И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв. Краткий курс лекций: Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2001. 40 с.; Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С. 15).

Методы определения потенциальной биологической активности почв могут служить хорошими диагностическими показателями потенциального плодородия почв, степени удобрения, окультуренности, эродированности, а также загрязненности какими-либо химическими веществами (тяжёлые металлы, нефть, пе-

стициды и др.). Однако при характеристике интенсивности биологических процессов, протекающих в естественных условиях, следует пользоваться методами для определения актуальной биологической активности, так как в реальной обстановке лимитирующие факторы (рН среды, температура, влажность и т.д.) могут резко ограничивать интенсивность процесса, и несмотря на большие потенциальные возможности, он может идти очень медленно.

Важной особенностью биологической активности почв является значительное пространственное и временное варьирование, поэтому при определении её показателей необходимо проведение большого числа повторных наблюдений и тщательной вариационно-статистической обработки (Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых её показателей // Почвоведение, 1978. № 6. С. 46-55; Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С. 15; Девятова Т.А. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений // Агрохимия. 2006. № 1. С. 12-15; Миненко, А.К. Изменение биологической активности дерново-подзолистых почв при их окультуривании // АгроЭкоИнфо. 2009. № 2).

Обработка почвы, внесение удобрений, использование сельскохозяйственной техники влияют на почвенную среду и могут вызвать прогрессирующую потерю качества почвы, которое в настоящее время определяется не только с точки зрения его производственных мощностей. Во внимание принимается и то, что почва является неотъемлемой частью экосистемы. Следовательно, даже когда производительность почвы хорошая, воздействие на окружающую среду должно быть сведено к минимуму (Gil-Sotres F. Different approaches to evaluate soil quality using biochemical properties // Soil Biology & Biochemistry. 2005. Vol. 37. P. 877–887).

Качество почвы зависит от физических, химических, биологических и биохимических свойств, изменение которых должно быть принято во внимание при оценке изменения качества почвы (Ebhin Mastro R. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol // Soil Biology and Biochemistry. 2006. Vol. 38, № 7. P. 1577-1582; Trasar-Cepeda C. Hydrolytic enzyme ac-

tivities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality // *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40, № 9. P. 2146-2155).

Однако изменения некоторых свойств почвы могут происходить очень медленно или могут произойти только тогда, когда почва подвергается радикальным антропогенным воздействиям. Такие свойства не подходят для оценки качества почв. Должны быть использованы свойства, которые быстро реагируют на изменения вследствие нагрузок на окружающую среду (Filip Z. International approach to assessing soil quality by ecologically- related biological parameters // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2002. Vol. 88. P. 164–174).

Биологические и биохимические свойства быстро реагируют на любые изменения в почвенной среде. Биологические процессы обеспечивают упругость и буферную емкость для улучшения стрессоустойчивости (Karlen D.L. Soil and crop management effects on soil quality indicators // *American Journal of Alternative Agriculture*. 1992. Vol. 7. P. 48–55).

Почвенная биота, участвующая в круговороте энергии и питательных веществ, является важной и лабильной фракцией органического вещества почвы. Более динамические характеристики, такие как микробная биомасса, активность ферментов и дыхание почвы более оперативно реагируют на изменения в почве при землепользовании, чем органическое вещество почвы (Ebhin Masto R. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a subtropical inceptisol. P. 1577).

Активное использование биологических методов диагностики антропогенных нарушений в настоящее время связано, прежде всего, с быстрой реакцией организмов на любые отклонения в окружающей среде от нормы, что позволяет вовремя обнаруживать антропогенно обусловленную деградацию природных экосистем, устанавливать долгосрочные тенденции и буферную способность биологических систем, в отношении разнообразных и большей частью одновременно действующих, нарушающих факторов (Безкоровайная И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв. С. 3).

Наиболее общим критерием для оценки суммарной биологической активности почвы и устойчивости её к минерализации является интенсивность выделения ею CO_2 (*дыхание почвы*), представляющее собой результат различных процессов, протекающих в почве под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, высших растений, животных и при участии разнообразных ферментов (Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.; Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. М.: «Наука», 1977. 180 с.; Минеев В.Г. Влияние длительного применения средств химизации на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 1999. № 5. С. 5-12; Шевцова Л.К. Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // *Агрохимия*. 2000. № 9. С. 5-10; Лыков А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: РАСХН, ВНИИТИОУ, 2004. 630 с.).

Увеличение эмиссии CO_2 в атмосферу способствует усилению парникового эффекта и свидетельствует о более полном биологическом «сгорании» органического вещества в почве и, следовательно, приводит к обеднению почвы соединениями углерода, уменьшению количества исходного материала для гумусообразования (Завьялова Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2008. № 12. С. 29-34). Агротехнические приёмы, как известно, влияют на интенсивность выбросов газов из почвы в атмосферу, и некоторые из этих газов воздействуют на её химический состав. Производство и выбросы NO , N_2O и CO_2 из почвы являются результатом минерализации органического вещества (Akiyama H. N_2O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers // *Chemosphere - Global Change Science*. 2000. Vol. 2. P. 313–320; Sitaula B.K. Effects of soil compaction on N_2O emission in agricultural soil // *Chemosphere - Global Change Science*. 2000. Vol. 2. P. 367–371; Fernandes Cruvinel. Soil emissions of NO , N_2O and CO_2 from croplands in the savanna region of central Brazil // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2011. Vol. 144, № 1. P. 29–40). Поэтому изучение углеродминерализующей способности почвы под влиянием окультуривания представляет значи-

тельный научный и практический интерес (Завьялова Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. С. 31).

Основным продуктом биологической активности почвы является CO_2 , так как все остальные, образуемые в почве, газы ею же и используются. Можно сказать, что в почве работает бактериальный генератор газов и бактериальный фильтр (Шапиро В.А. Отчет по теме «Разработка агроэкологии переработки органических отходов с применением высокоэффективного комплекса живых организмов – «почвообразователей» с целью повышения производительности тепличных грунтов. Департамент науки и промышленной политики. Москва, 2004. – 20 с.). Почвенный покров содержит 1500 Гтонн С, уступая только углероду, хранящемуся в глубинах океана, и вдвое больше, чем в атмосфере (Raich J.W. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils // *Global Biogeochemical Cycles*. 1995. Vol. 9. P. 23–36). Годовая глобальная эмиссия CO_2 из почвы достигает 68...75 Гтонн (PgC) и составляет 25% от общего обмена углеродом между атмосферой и земными источниками (Ibid; Mosier A.R. Soil processes and global change // *Biology and Fertility of Soils*. 1998. Vol. 24. P. 221–229, Schlesinger W.H. Soil respiration and the global carbon cycle // *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 7–20).

По интенсивности продуцирования углекислоты, количество которой соответствует массе микроорганизмов, различаются между собой и типы почв. Высокой активностью дыхания отличаются лугово-дерновая и аллювиальная почвы – 6,8...19 кг CO_2 на 1 га в течение 1 часа. В горных почвах выделяется значительно меньше углекислого газа – не более 5 кг/га-час (Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. С. 49).

Из общего количества CO_2 , необходимого для формирования урожая, от 40 до 70% приходится на долю CO_2 , поступающего из почвы. Динамический баланс углерода в посевах складывается под влиянием двух потоков углекислого газа: одного, выделяемого в атмосферу из почвы и другого, который поглощается растениями из воздуха в ходе фотосинтетической деятельности. Именно почве принадлежит ведущая роль в обеспечении круговорота углерода в природе (Шапиро В.А.

Отчет по теме «Разработка агроэкотехнологии переработки органических отходов с применением высокоэффективного комплекса живых организмов – «почвообразователей» с целью повышения производительности тепличных грунтов. С. 4).

Показатели почвенного дыхания широко используются для оценки продуктивности экосистем, а также для анализа активности почвенных микробоценозов. Выделение углекислоты может быть объективным индикатором интенсивности разложения органического вещества почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота веществ (Пуртова Л.Н. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга Приморья // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 1. С. 585-589). Но несмотря на то, что дыхание почвы хорошо установленный параметр, этот показатель сильно варьирует и может широко колебаться в зависимости от доступности субстрата, влажности и температуры. Большая изменчивость в дыхании означает, что эта мера сама по себе, очень трудно интерпретируется в качестве индекса здоровья почвы (Ларионова А.А. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO₂ // *Дыхание почвы: сб. науч. трудов*. Пущино, 1993. С. 68-76; Linn D.M. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils // *Soil Science Society of America Journal*. 1984. Vol. 48. P. 1267–1272; Brookes P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals // *Biology & Fertility of Soils*. 1995. Vol.19. P. 269–279; Hall S.J. NO₂ emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions // *Annual Review of Energy and the Environment*. 1996. Vol. 21. P. 311–346; Bowden R.D. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions // *Soil Biology & Biochemistry*. 1998. Vol. 30. P. 1591–1597; Janzen H. H. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies // *Soil & Tillage Research*. 1998. Vol. 47. P. 181-195; Fisk M.C. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests // *Biogeochemistry*. 2001. Vol. 53. P. 201–223; Weitz A.M. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability // *Soil Biology & Biochemistry*. 2001. Vol. 33. P. 1077-1093; Bowdena

R.D. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 196. P. 43-56; Lin S. N₂O emissions from different land uses in mid-subtropical China // *Agriculture Ecosystems and Environment*. 2010. Vol. 136. P. 40-48).

Комплексным показателем, характеризующим биологическую активность почв, является и её *целлюлозоразлагающая способность* (Безкорвайная И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи // *Хвойные бореальные зоны*. 2010. XXVII, № 3. С. 238-242). Её определяют по интенсивности разложения льняного полотна или соломы в почве. Скорость разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней легкодоступного азота, поэтому данный метод позволяет судить об энергии мобилизации почвенных процессов в целом.

Целлюлоза (клетчатка) – наиболее распространенный полисахарид растительного мира. Высшие растения на 15...50% состоят из целлюлозы. В состав целлюлозы входит более 50% всего органического углерода биосферы и расщепление её имеет большое значение в круговороте углерода.

Являясь очень устойчивой к действию физико-химических факторов, она легко разлагается микроорганизмами с выделением углерода, который в форме различных соединений участвует в создании почвенного плодородия и влияет на продуктивность биоты (Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных и искусственных фитоценозах. Минск, 1983. 222 с.). Целлюлозу разлагают аэробные микроорганизмы (бактерии и грибы) и анаэробные мезофильные и термофильные бактерии. Для большинства микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, характерна высокая специфичность по отношению к этому веществу. В кислых почвах целлюлозу разрушают главным образом грибы и в небольшой степени актиномицеты, в нейтральных почвах – грибы, актиномицеты и бактерии. Особенностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов является их высокая требовательность к источникам азотного питания. Микроорганизмы почв, разрушающие целлюлозу, служат важнейшими поставщиками органических веществ для разнообразных групп

микроорганизмов (в том числе азотфиксирующих), связанных общей пищевой цепью. Поскольку активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов зависит также от наличия в почве доступного фосфора и других элементов, то степень распада клетчатки, можно считать, отражает направленность хода микробиологических процессов в целом (Целлюлозоразлагающая способность почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neznaniya.net/agronomija/biologicheskij-azot/421-cellyulozoliticheskaya-sposobnost-pochvy.html>).

Разложение целлюлозы протекает по-разному в зависимости от типа почв. В горных почвах она разлагается очень медленно (около 6% за 1 месяц). Наиболее интенсивно процесс разложения клетчатки протекает в лугово-дерновой и аллювиальной почвах, где за 1 месяц разлагается 32...63% от её исходного количества. Для всех почв также характерно снижение энергии целлюлозоразложения при переходе от подстилки к нижележащим горизонтам, что объясняется обеднением органического вещества подвижными фракциями и его консервативностью, а следовательно, и своеобразием биохимического режима в профиле почвы, отличающегося от такового в подстилке (Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. С. 51).

Состав микроорганизмов также влияет на интенсивность целлюлозоразложения. Так, в подзолистых и горно-торфянистых почвах, где клетчатка разлагается очень медленно, этот процесс осуществляется главным образом грибами (Федорова Л.В. О микробиологическом разложении целлюлозы в почвах Сахалина // Изд-во: СО АН СССР. Сер. биол. Наук. 1972. № 5. Вып. 1). В то же время, по мнению Тен Хак Муна (1977), в буроземах интенсивное разложение клетчатки связано с активным участием в нем актиномицетов и грибов.

Целлюлозоразлагающая активность почв является отражением деструкционных и минерализационных процессов, осуществление которых детерминируется не только гидротермическими условиями и физико-химическими свойствами почв, но и определенным уровнем и соотношением активности ферментов (Безкоровайная И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи. С. 241). Определение целлюлозоразлагающей спо-

способности почвы как в полевых, так и в лабораторных условиях, позволяет оценить экологическое состояние изучаемой территории, поскольку данный процесс обусловлен наличием органического вещества в почве и свидетельствует о возвращении аккумулированных в нем элементов питания в активную часть биологического круговорота (Войнова-Райкова, Ж. Микроорганизмы и плодородие. М.: Агропромиздат, 1986. 120 с.).

Важным показателем качества почвы является *микробная биомасса* (Schloter M. Indicators for evaluating soil quality // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2003. Vol. 98. P. 255–262). Биомасса микроорганизмов функционирует в качестве агента трансформации и круговорота органических веществ и является источником питательных веществ для растений. Также она является потенциальным источником ферментов в почве (Tripathia Sudipta. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India // Soil Biology and Biochemistry. 2007. Vol. 39, № 11. P. 2840–2848). Микробная биомасса реагирует на применение органических и неорганических удобрений (Livia B. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2005. Vol. 109. P. 141–152), использование севооборотов (Yusuf A.A. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2009. Vol. 129. P. 325–331) и любые изменения в землепользовании (Wang Q.J. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China // Geoderma. 2008. Vol. 144. P. 502–508).

Микробные сообщества являются ключевым звеном, определяющим качество почвы из-за их активного участия в динамике органического вещества, круговороте питательных веществ и процессах разложения. Таким образом, характеризуя биомассу микроорганизмов, можно лучше понять функции экосистем, потому что способность экосистемы противостоять серьезным нарушениям может зависеть частично от микробного компонента почвы (Nannipieri P. Microbial diversity and soil functions // European Journal of Soil Science. 2003. Vol. 54, № 3. P. 665-670).

Биомасса микроорганизмов является чувствительным индикатором к изменениям содержания органического вещества почвы и биологических свойств качества и здоровья почвы. Почвенные микроорганизмы способствуют минерализации питательных веществ (Ley R.E. Fungal and bacterial responses to phenolic compounds and amino acids in high altitude barren soils // *Soil Biology & Biochemistry*. 2002. Vol. 34. P. 989–995; Gong Wei. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China // *Geoderma*. 2009. Vol. 149, № 3-4. P. 318-324). Любые изменения в количестве поступающих в почву органических веществ могут непосредственно влиять на биомассу микроорганизмов и функции выполняемые ими (Lucas R.W. Soil microbial communities and extracellular enzyme activity in the New Jersey Pinelands // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 2508–2519).

Поскольку микробное сообщество играет важную роль в регулировании таких процессов, как разложение органических веществ и круговорот питательных элементов, в научном мире существует большой интерес к пониманию факторов, которые регулируют его размер, активность и структуру (Zeller V. Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: a study of land abandonment along a north–south gradient in the European Alps // *Soil Biology & Biochemistry*. 2001. Vol. 33. P. 639–649). Важность размера микробной биомассы состоит в том, что всё органическое вещество, поступающее в почву, подвергается воздействию микроорганизмов.

Кроме размера биомассы микробов, также имеет значение её функциональное и структурное разнообразие. Функциональное разнообразие (например, микробиологическая активность) является основным, так как 80...90% процессов в почве принадлежит реакциям с участием микроорганизмов (Böhme Livia. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2005. Vol. 109, № 1-2. P. 141-152). Изменения в структуре микробного сообщества, скорее всего, могут быть отражены в функциональной целостности почвы, потому что микробные сообщества влияют на ферментативную активность почвы (Acosta-Martínez V.

Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils // *Applied Soil Ecology*. 2008. Vol. 38, № 3. P. 249-260).

Оценка биомассы микроорганизмов дает представление о реакции почвенных экосистем на изменения окружающей среды или воздействия человека: устойчивые экосистемы характеризуются высоким структурным разнообразием, и наоборот, микробные сообщества с низким структурным разнообразием вряд ли могут реагировать на изменения в окружающей среде (Mader P. Soil fertility and biodiversity in organic farming // *Science*. 2002. Vol. 296. P. 1694–1697).

Большое значение для характеристики биологической активности почвы имеет изучение *круговорота азота*. Азот является основным элементом, определяющим величину урожая сельскохозяйственных культур, нитратная и аммонийная формы которого – основа почвенного питания. Из большинства разнообразных его соединений, встречающихся в почвах, растения могут использовать в основном минеральные формы этого элемента. Поэтому вопрос о превращениях соединений азота в почве под воздействием микроорганизмов привлекает к себе большое внимание (Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: «Колос», 1987. 320 с.).

Для почв характерна замкнутость биогеохимических циклов большинства химических элементов. Однако цикл азота в почве разомкнут, поскольку важнейшие его звенья (нитрификация, денитрификация) приводят к образованию газообразных соединений (N_2 , N_2O , NO и др.), улетучивающихся в атмосферу и легко подвижных минеральных солей, вымывающихся за пределы почвенного профиля. Затем они постепенно возвращаются в почву.

Примерно 50 лет назад глобальный баланс азота, определяемый, главным образом, по количеству нитратов (NO_3^-) в почвах и природных водах и содержанию закиси азота (N_2O) в атмосфере, был близок к нейтральному и не вызывал никаких вопросов. С тех пор происходит постоянное увеличение концентрации NO_3^- и N_2O , что привлекло внимание уже не только геохимиков, но и многих других специалистов. Беспокойство вызывается, прежде всего, участием азотсодержащих биогенных газов в парниковом эффекте и глобальном изменении климата (Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. С. 25).

Минерализация азотсодержащих органических соединений является основным процессом в круговороте азота, в процессе которой азот переходит в минеральный, доступный растениям. Минерализация органических соединений азота складывается из процессов аммонификации и нитрификации (Муромцев Г. С. Агрономическая микробиология. М.: «Колос», 1976. – 232 с.).

Главная роль в биологическом круговороте азота в почве принадлежит микроорганизмам. Микроорганизмы обуславливают питание растений азотом путем трансформации органических соединений азота в почве, которые практически не могут быть непосредственно использованы растениями, и только в результате деятельности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий они подвергаются минерализации и переходят в доступные для растений аммиак и нитраты (Марвис Т.В. Микробиологическая трансформация азота в почве. Биологические основы плодородия почвы. М.: Колос, 1984. С. 54-113).

Аммонифицирующая микрофлора почвы – самая многочисленная и разнообразная по своему составу физиологическая группа почвенных микроорганизмов. В аммонификации могут участвовать аэробные и анаэробные бактерии, плесневые грибы и актиномицеты. Аммонификация представляет собой процесс минерализации азотсодержащих органических соединений с выделением аммиака (Беккер З.Э. Физиология грибов и их практическое использование. М.: изд-во МГУ, 1963. 268 с.; Бабьева И.П. Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 248 с.; Минеев В.Г. Агрохимия. Изд-во МГУ, изд-во «КолосС», 2004. 270 с.).

Биологическая природа нитрификации показана А. Шлезингом и Ш. Мюнцем в 1877 году. В 1890-1892 гг. С.Н. Виноградский, используя строго минеральные среды, впервые выделил чистые культуры нитрифицирующих бактерий и установил, что существуют две группы нитрификаторов – одна активно окисляет аммоний до нитрита, другая – нитрит до нитрата. Таким образом, он доказал, что нитрифицирующие бактерии являются хемолитоавтотрофами, получающими энергию для биосинтетических целей при окислении аммония и нитрита, а в качестве источника углерода использующими CO_2 . Значительно позднее установлено, что многие гетеротрофные микроорганизмы, в том числе и грибы, могут тоже

продуцировать нитрит и нитрат, окисляя аммоний и иные восстановленные органические и неорганические соединения азота (Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. С. 67). Таким образом, нитрификация – типичный хемосинтетический процесс, при котором ассимиляция CO_2 осуществляется за счет энергии, освобождающейся при окислении аммиака в нитрит (1-я фаза нитрификации) и нитрита в нитрат (2-я фаза нитрификации). В благоприятных условиях этот процесс проходит довольно быстро. А медленно этот процесс идет на слабокультуренных почвах. Как недостаток влаги, так и ее избыток отрицательно влияют на нитрификацию. Процесс нитрификации, в отличие от аммонификации, реагирует на изменение реакции среды. Слабощелочная реакция наиболее благоприятна для нитрифицирующих бактерий (Муромцев Г.С. Агрономическая микробиология. С. 24).

Скорость процессов аммонификации и нитрификации зависит от внешних факторов – степени окультуренности почвы, гидротермических условий, состава органических соединений, реакции почвенной среды (Миненко А.К. Агрономические функции микробсообществ дерново-подзолистых почв // АгроЭкоИнфо. 2008. № 2).

Минерализационная, аммонификационная и нитрификационная способности почвы находятся в прямой зависимости от почвенного плодородия. Чем богаче почва, тем интенсивней в ней протекают данные процессы, и большие количества азотной кислоты она может накапливать. По интенсивности этих процессов можно охарактеризовать агрономические свойства почвы. Поэтому неслучайно высокую минерализационную, аммонификационную и нитрифицирующую активность уже давно используют как один из показателей высокого плодородия почв.

Одним из направлений в изучении биологии почв является почвенная энзимология, возникшая в пятидесятые годы XX века. Главным показателем почвенной энзимологии является ферментативная активность почвы (Муромцев Г.С. Агрономическая микробиология. С. 47), отражающая потенциальную возможность развития определенных биохимических процессов в почве (Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. С. 48). **Фер-**

ментативная активность почв – результат совокупности процессов поступления, стабилизации и действия ферментов в почве. Вследствие комплексного источника поступления ферментов (микроорганизмы, растения, животные) почва является самой богатой системой по ферментативному разнообразию и ферментативному пулу.

Ферменты делятся на конститутивные, т.е. всегда присущие организму независимо от условий его роста, и индуцибельные, которые синтезируются клеткой только в присутствии соответствующего субстрата. В этом одна из особенностей ферментных систем микроорганизмов. Другая особенность – образование экзоцеллюлярных (внеклеточных) ферментов, которые расщепляют сложные молекулы субстрата во внешней среде. При этом клетка может синтезировать много фермента и поддерживать высокую активность процесса превращения экзогенного субстрата. Результатом является переработка больших количеств разнообразных веществ микроорганизмами при малой их биомассе (Бабьева И.П. Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 248 с.).

Активность почвенных ферментов затрагивает превращения углерода, азота, фосфора, серы и окислительно-восстановительные процессы, следовательно, отражает напряженность биохимических процессов в почве (Безкоровайная И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв. С.16). Кроме того, роль ферментов заключается в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы и, таким образом, ферментативная активность отражает функциональное состояние почвенного населения.

Почвенные ферменты определяются, прежде всего, содержанием почвенных грибов, бактерий, корней растений, микробных клеток, растительных и животных остатков (Cao H. A review: soil enzyme activity and its indication for soil quality // Chinese Journal of Applied Ecology. 2003. Vol. 9, № 1. P. 105–109) и играют важную роль в обеспечении биохимических преобразований органических остатков и питательных веществ в почве (Martens D.A. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues // Soil Science. 1992. Vol. 153. P. 53–61; Nannipieri P. Enzyme activities and microbial and biochemical process-

es in soil. New York, 2002. pp. 1–33). Ферментативная активность может отражать напряженность биохимических процессов в почве и скорость разложения и трансформации органических удобрений (Yang Lijuan. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field // *Scientia Horticulturae*. 2008. Vol. 116, № 1. P. 21-26). Уровень ферментативной активности – это результат всего предшествующего развития почвы (Тейт Р. Органическое вещество почвы. М.: Мир, 1991. 400 с.).

Почвенные ферменты участвуют в распаде растительных, животных и микробных остатков. В результате ферментативных процессов питательные вещества из трудно усвояемых соединений переходят в легко доступные формы для растений и микроорганизмов. Ферменты отличаются исключительно высокой активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от различных условий внешней среды (Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 180 с.).

Активность работы ферментов определяется многими факторами: температурой, рН почв, наличием субстрата, присутствием ингибиторов/активаторов, их работой в среде, гетерогенностью почв и др. На фоне антропогенных факторов возможно изменение физико-химических свойств почв, нарушение работы ферментных комплексов (Федорец Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.). Динамика биоты связана с биологическими ритмами и меняющимися погодными факторами в сезонах каждого года. Об общих четких закономерностях её активности легче судить по конечным результатам жизнедеятельности, а именно – по ферментативной активности и состоянию гумуса почв (Вальков В.Ф. Системно-биологический подход при изучении почв. С. 6).

Определение активности ферментов основано на учёте количества переработанного в процессе реакции субстрата или образующегося продукта реакции в оптимальных условиях температуры, рН среды, концентрации субстратов, величины навески почвы, времени инкубации. Для количественного определения конечных продуктов реакции применяются различные химические, колориметрические, по-

ляриметрические и другие методы. Для качественных измерений наличия ферментов в почве широко используются хроматографические методы (Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – Ин-т биологии Уфим. НЦ. М.: Наука, 2005. 252 с.).

Ферменты, попадая из различных источников в почву, не разрушаются, а сохраняются в активном состоянии. Нужно полагать, что ферменты, являясь наиболее активным компонентом почвы, сосредоточены там, где напряженно идет жизнедеятельность микроорганизмов, то есть на поверхности раздела между почвенными коллоидами и почвенным раствором. Экспериментально доказано, что ферменты в почве находятся главным образом в твердой фазе (Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых её показателей. С. 46-55). Большое значение имеют ферменты, которые катализируют разложение органических субстратов, высвобождая питательные вещества для растений, и влияют на содержание органического углерода в почве (Fansler S.J. Distribution of two C cycle enzymes in soil aggregates of a prairie chronosequence // *Biology and Fertility of Soils*. 2005. Vol. 42. P. 17–23). Активность почвенных ферментов используется в качестве параметра биологической активности для изучения почв при сельскохозяйственном использовании на содержание почвенного углерода, азота, фосфора, серы и биогенных элементов (Marinari S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy // *Ecological Indicators*. 2006. Vol. 6. P. 701–711). Исследованиями иностранных авторов установлено, что ферменты распределены неравномерно среди частиц почвенных фракций и это распределение между фракциями зависит от вида фермента (Saviozzi A. Selected enzyme activities in particle-size fractions from an organically and conventionally managed soil // *Fresen. Environ. Bull.* 2007. Vol. 16. P. 1195–1200; Qin S.P. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management // *Applied Soil Ecology*. 2010. Vol. 45. P. 152–159; Liu, Yi-Ren. Enzyme Activity in Water-Stable Soil Aggregates as Affected by Long-Term Application of Organic Manure and Chemical Fertiliser // *Pedosphere*. 2013. Vol. 23, № 1. P. 111-119). Тем не менее, существует неопределенность в отношении экологической значимости данной неравно-

мерности. Некоторые авторы приписывают конкретное местонахождение ферментам относительно места их субстрата или в организме, ответственном за их производство (Kanazawa S. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil // *Microbial Ecology*. 1986. Vol. 12. P. 205–215; Kandeler E. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management // *Soil Biology & Biochemistry*. 1999. Vol. 31. P. 261–273). Другие авторы предполагают, что независимо от их функций ферменты могут накапливаться в местах предпочтительной адсорбции благодаря их поверхностно-активным свойствам (Marx M.C. Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37, № 1. P. 35-48).

По ферментативной активности почвы различаются в соответствии с их эколого-генетическими особенностями. Так, в генетическом ряду от дерново-подзолистых почв к серым лесным и черноземам активность гидролитических ферментов возрастает в соответствии с увеличением общей микробиологической активности, содержания гумуса и органических соединений азота и фосфора. В пределах подтипов и разновидностей имеют значение уже другие факторы. Например, в пределах разновидностей черноземов активность отдельных ферментов определяется не содержанием органических соединений, а значениями pH и содержанием карбонатов, оказывающих ингибирующее влияние на активность гидролитических ферментов.

Почвы естественных ландшафтов имеют повышенную ферментативную активность. Сельскохозяйственное освоение снижает её. Дальнейшая эволюция биологической активности почв зависит от характера её использования. Например, окультуривание почв способствует росту активности некоторых ферментов. Развитие эрозионных процессов ухудшает основные почвенно-экологические параметры, контролируемые ферментативный пул и приводит к снижению ферментативной активности почв.

Относительный уровень ферментативной активности почв диагностирует интенсивность и направленность почвообразовательных процессов, как в есте-

ственных условиях, так и при различных антропогенных воздействиях на почву (Безкоровайная И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв. С. 17).

При исследовании сельскохозяйственных земель возрастает интерес к почвенным ферментам как индикаторам изменения качества почв. Ферментативная активность при этом является очень чувствительной к внешним факторам и легко определяемым показателем. Она может быть использована для мониторинга активности микроорганизмов почвы, связанной с трансформацией питательных веществ (Yang Lijuan. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field. P. 21).

Измерение деятельности многочисленных гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов широко используется в последние годы для изучения различных, происходящих в почвах процессов (Trasar-Cepeda C. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. P. 2147). Тем не менее, несмотря на наличие множества литературы по этому вопросу, большинство сравнительных оценок были основаны на ограниченном числе экспериментов и, следовательно, выводы не так надежны, как хотелось бы (García-Ruiz Roberto. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems // Soil Biology and Biochemistry. 2008. Vol. 40, № 9. P. 2137-2145.). Результаты, полученные разными исследователями, часто противоречат друг другу как в отношении влияния различных методов ведения сельского хозяйства, так и в отношении деятельности самих ферментов (Gil-Sotres F. Different approaches to evaluate soil quality using biochemical properties. P. 877-887). Поэтому для оценки ферментативной активности почв нельзя ограничиваться определением только одного какого-либо фермента, так как разные группы почвенных ферментов участвуют в основных звеньях почвообразовательного процесса. Рекомендуется одновременно определять активность нескольких ферментов, относящихся к различным классам (Огородникова С.Ю. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Вестник ИБ. 2008. №6. С. 23-26). Наибольшее внимание исследователей, работающих в различных почвенно-

климатических зонах, привлекают 8 ферментов: гидролитические – уреазы, фосфатаза, инвертаза, протеаза, и окислительно-восстановительные – каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, дегидрогеназа. Их активность характеризует интенсивность различных агрономически значимых процессов: процесс минерализации органических соединений азота (уреазы, протеазы) и фосфора (фосфатаза); процессы превращения соединений углерода – углеводов (инвертаза), и ароматических веществ (пероксидаза, полифенолоксидаза); реакции выделения кислорода (каталаза) и переноса водорода (дегидрогеназа). Эти ферменты связаны с наиболее важными биохимическими процессами почвы: корневым питанием растений, плодородием почвы, превращением гумусовых веществ и окислительно-восстановительным режимом почвы (Муромцев Г. С. Агрономическая микробиология. С. 49).

Таким образом, определение биологической и биохимической активности почвы служит важным и чувствительным индикатором показателей почвенного плодородия и его изменения в результате антропогенного воздействия.

1.2 Влияние удобрений на биологическую активность почвы

В почвах, находящихся в длительном сельскохозяйственном использовании, изменяются свойства, плодородие и направленность почвообразовательного процесса. Длительное применение удобрений изменяет не только агрохимические, но и биологические показатели. Медленно изменяющиеся под воздействием различных антропогенных и природных факторов свойства почв целесообразно изучать в длительных стационарных опытах, в которых на высоком агрономическом уровне соблюдаются все агротехнические приемы и требования (Семендяева Н.В. Влияние длительного применения удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы таёжной зоны западной Сибири // Агрохимия. 2010. № 3. С. 3-11). Длительные стационарные опыты представляют важную информацию о содержании подвижных форм азота, фосфора и калия в почве и их динамике (Крючков А.Г.

Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном под посевом яровой твердой пшеницы в длительном стационарном опыте // *Агрохимия*. 2013. № 3. С. 32-35.). Уровень применения удобрений в севообороте, обеспечивающий их максимальную продуктивность и благоприятный баланс элементов питания, может быть важным материалом при разработке мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв. Направленное регулирование минерального питания растений посредством внесения удобрений и мелиорантов предполагает необходимость постоянного контроля и глубокой оценки экологических последствий применения их не только при прямом действии, но и в последствии (Никитишен В.И. Оценка эффективности фосфорного удобрения на серной лесной почве с учетом его последствия // *Агрохимия*. 2000. № 9. С. 41-47; Никитишен В.И. Эффективность и продолжительность последствия фосфорного удобрения в агроэкосистемах на серых лесных почвах ополья // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2008. № 4. С. 14-19; Никитишен В.И. Эффективность прямого действия и последствия длительного применения удобрений на серой лесной почве // *Агрохимия*. 2011. № 1. С. 11-19; Серая Т.М. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // *Агрохимия*. – 2011. – № 11).

Минеральные и органические удобрения оказывают существенное влияние на плодородие почв, изменяя, прежде всего, содержание питательных веществ в почвах. Они используются в основном для повышения доступности питательных веществ для растений (Marschner P. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment // *Soil Biology & Biochemistry*. 2003. Vol. 35. P. 453–461.). Минеральные удобрения обеспечивают легкодоступными питательными веществами растение для его роста, но не вносят вклад в улучшение физического состояния почвы. Поступление органических веществ в почву поддерживает необходимое содержание органического вещества, уровни питания растений и улучшает физические, химические и биологические свойства почвы, которые прямо или косвенно влияют на её плодородие (Ferrerias L. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural

soil // *Bioresource Technology*. 2006. Vol. 97. P. 635–640; Nayak D.R. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeric Endoaquept planted to rice under flooded condition // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 1897–1906.

Поддержание почвенного плодородия имеет важное значение для повышения урожайности и содержания органического вещества, которое как прямо, так и косвенно воздействует на различные химические, физические и биологические свойства почвы, а они в свою очередь влияют на производительность сельскохозяйственных культур. Микробные сообщества участвуют в регулировании процессов разложения органических веществ и круговорота питательных элементов, поэтому изучение изменения микробных сообществ и их активности в длительных стационарных опытах помогает лучше понять влияние удобрений на качество почвы (Куликов С.В. Влияние минеральных удобрений на биологическую активность лугово-черноземной почвы в условиях лесостепной зоны западной Сибири // «Вопросы естественных наук: биология, химия, физика»: матер. междунар. заоч. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2012. С. 8-14; Gu Yunfu. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping // *European Journal of Soil Biology*. 2009. Vol. 45, № 3. P. 239-246). Во всем научном мире существует большой интерес к изучению биологических показателей почв при длительном применении различных систем удобрений.

По мнению С.А. Camberdella (1992) углерод микробной биомассы и минерализационная способность почвы более чувствительные показатели к внесению удобрений, чем общее содержание органического углерода. Биомасса микроорганизмов при применении минеральных удобрений совместно с навозом была выше контроля в исследованиях Manjaiah Kanchikerimath (2001), R. Ebhin Masto (2006), Asit Mandal (2007), Li Juan (2008), Yunfu Gu (2009), Wei Gong (2009), Li-meì Zhai (2010), Enke Liu (2010). По мнению Asit Mandal (2007) увеличение микробной биомассы при сбалансированном применении NPK совместно с навозом связано с активностью корневой системы, которая выделяет множество органических со-

единений в ризосфере. Эти соединения усиливают микробиологическую активность и приводят к увеличению пула микроорганизмов. При применении органо-минеральных удобрений в исследованиях М.С. Manna (2006) и Т.Ж. Purakayastha (2008) значительно увеличивалось содержание органического углерода. В исследованиях S. Marinari (2000) и R. Ebhin Masto (2006) применение минеральных и органических удобрений значительно увеличило эмиссию CO_2 из-за обогащения почвы органическим веществом.

Многие зарубежные ученые изучают влияние удобрений на плодородие почвы путем исследования ферментативной активности почвы. Так, по органо-минеральной системе она была выше контроля в исследованиях S. Marinari (2000), активность фосфатазы, дегидрогеназы и уреазы в исследованиях Manjaiah Kanchikerimath (2001), активность дегидрогеназы и фосфатазы в исследованиях R. Ebhin Masto (2006), активность уреазы в исследованиях Li Juan (2008), активность фосфатазы и уреазы в исследованиях Lijuan Yang (2008), активность инвертазы, протеазы, уреазы, дегидрогеназы и каталазы в исследованиях Yi-Ren Liu (2013). Применение органо-минеральных удобрений не повлияло на активность каталазы в исследованиях Li Juan (2008), но снизило её в исследованиях Lijuan Yang (2008).

Долгосрочное применение только минеральных удобрений в исследованиях Fenliang Fan (2012) увеличило в почве содержание органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур, но снизило эмиссию CO_2 и целлюлозоразлагающую способность. В исследованиях R. Ebhin Masto (2006) при применении одних только азотных удобрений также снизилась эмиссия CO_2 . Удобрения, повышая первичную продуктивность растений, увеличивают общее поступление органического углерода в почву и изменяют скорость микробного разложения (гетеротрофную минерализацию углерода) (Edmeades D.C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2003. Vol. 66. P. 165-180; Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security // *Science*. 2004. Vol. 304. P. 1623-1627). Этот процесс ведёт к потере углерода из почвы в виде CO_2 (Waldrop M.P. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymat-

ic activity // *Ecological Applications*. 2004. Vol. 14. P. 1172-1177; Ding W. CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer // *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 669-679). При применении минеральных удобрений (NPK) в исследованиях Livia Böhme (2005) значительно уменьшилось содержание углерода микробной биомассы.

Применение органических удобрений прямо или косвенно оказывает влияние на биологическую активность почвы, а она, в свою очередь, регулирует трансформацию питательных веществ. При применении только органических удобрений в исследованиях Wei Gong (2009) наблюдалось самое высокое содержание биомассы микроорганизмов по сравнению с контролем; в исследованиях Yongchao Liang (2003) увеличивалась активность уреазы, щелочной фосфатазы и эмиссия CO₂; в исследованиях Supradip Saha (2008) увеличивалась активность дегидрогеназы, фосфатазы, целлюлазы и протеазы; в исследованиях Livia Böhme (2005) при применении навоза наблюдался рост углерода микробной биомассы и ферментативной активности.

Исследования Lijuan Yang (2008) также свидетельствуют, что использование органических удобрений существенно влияет на ферментативную активность почвы в зависимости от фаз развития культурного растения. Так, применение органических удобрений уменьшает ферментативную активность почвы на ранних стадиях роста растения, но постепенно увеличивает её к середине вегетации. Данную тенденцию Lijuan Yang объясняет тем, что на первом этапе при разложении навоза потребляется в избытке кислород почвы, что ведет к уменьшению ферментативной активности почвы. Изменение ферментативной активности почвы в зависимости от фазы роста растения свидетельствует, что она зависит не только от применения удобрений, но и от других факторов почвы, например, температуры, влажности и микробной активности.

Тот факт, что применение навоза увеличивает содержание органического вещества почвы признан и используется в течение почти 4000 лет в Китае, Японии и Корее в целях восстановления плодородия почв и получения удовлетворительного выхода продукции (Gong Wei. Long-term manure and fertilizer effects on

soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. P. 318). Органическое вещество благоприятно влияет на физические свойства почв, защищает от эрозии и усиливает биологическую активность (Jimenez M.P. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameter // *Biology and Fertility of Soils*. 2002. Vol. 35. P. 302–306.). Многие исследователи отмечали, что применение органических удобрений либо самостоятельно, либо в сочетании с минеральными удобрениями является более эффективным приёмом в повышении содержания органического вещества почвы, чем применение только минеральных удобрений (Wu T.Y. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China // *Soil Tillage Research*. 2004. Vol. 77. P. 59–68; Yang C.M. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes // *Geoderma*. 2005. Vol. 124. P. 133–142; Blair N. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility Part I: Broadbalk experiment // *Soil Tillage Research*. 2006. Vol. 91. P. 30–38; Rudrappa L. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India // *Soil Tillage Research*. 2006. Vol. 88. P. 180–192).

Таким образом, опыт зарубежных исследователей доказывает, что различные системы удобрений по-разному влияют на биологические показатели почв.

Результаты опытов, полученные в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации, по влиянию минеральных, органических и органоминеральных удобрений также по разному характеризуют биологическую активность почв.

Исследования С.В. Куликова и О.Ф. Хамовой (2012), выполненные на лугово-черноземной почве, свидетельствуют, что наибольшее влияние на биологическую активность оказала обеспеченность почвы фосфором. По мере увеличения плодородия почвы по фосфору возрастала численность бактерий, мобилизующих фосфаты, олигонитрофилов, нитрификаторов и нитрификационная способность почвы, её суммарная биологическая активность. Выявлены положительные корреляционные зависимости численности нитрификаторов, нитрификационной спо-

способности от содержания подвижного фосфора в почве. Активность гидролитического фермента уреазы была не высокой и практически не изменялась в зависимости от применения удобрений.

Исследования ферментативной активности чернозема в различных севооборотах свидетельствуют, что введение многолетних бобовых трав увеличивает каталазную активность, так как усиливаются процессы окисления за счет улучшения качественного состава органического вещества растительных остатков. Также проявляется тенденция к увеличению уреазной активности, что связано с более интенсивной трансформацией органического азота, в конечном счете, приводящей к разложению органических остатков растения. В севооборотах с введением многолетней бобовой культуры (эспарцета) фосфатазная активность снижалась, но её снижение связано с высоким содержанием доступного фосфора в черноземе. В этих же исследованиях наблюдали, что с увеличением глубины обработки почвы с оборотом пласта и при ежегодной безотвальной обработке увеличивалась пероксидазная активность. Применение минеральных удобрений (NPK) способствовало усилению активности полифенолоксидазы и снижению активности пероксидазы (Турусов В.И. Ферментативная активность чернозема обыкновенного в различных севооборотах при разных способах обработки почвы // *Агрохимия*. 2012. № 9. С. 21-25).

При исследовании чернозема выщелоченного Т.А. Девятовой (2006) установлено, что длительное систематическое внесение минеральных удобрений в средних дозах активизировало деятельность протеазы, уреазы, фосфатазы, инвертазы, каталазы и дегидрогеназы, а высокие дозы заметно снизили активность этих ферментов. При применении органоминеральных удобрений активность этих ферментов была самой высокой в опыте.

Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. При внесении минеральных удобрений и извести существенно усиливается нитрификационная способность почвы. При применении NPK наблюдали минимальный уровень продуцирования углекислого газа, а максимальный при внесении CaCO_3 . По мнению автора, мине-

ральные удобрения подавляли эмиссию CO_2 вследствие подкисления почвы, а известь её усиливала. Интенсивность разложения клетчатки под посевом клевера была минимальной при внесении NPK и в контроле. Известкование почвы увеличило степень разложения льняной ткани по отношению к контролю в два раза, а внесение извести на фоне полного минерального удобрения способствовало значительной убыли ткани (Завьялова Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. С. 33).

Проведенные специальные исследования по сравнению эффективности влияния различных элементов технологий, применяемых на дерново-подзолистых почвах (типы севооборотов, способы обработки почвы, виды промежуточных культур, виды и дозы удобрений, известкование), на уровень несимбиотической азотфиксации показали преимущество использования в севооборотах многолетних трав, промежуточных культур, рапса ярового и редьки масличной, проведение поверхностной обработки (Миненко А.К. Несимбиотическая азотфиксация дерново-подзолистой почвы в зависимости от основных агротехнических приемов // Докл. ВАСХНИЛ, 1986. № 3. С. 18-20).

Систематическое применение минеральных удобрений приводит к снижению азотфиксирующей способности дерново-подзолистой тяжелосуглинистой слабокультуренной почвы, но навоз оказывает положительное влияние на этот процесс (Лыкова Н.К. Влияние агротехнических мероприятий на азотфиксирующую активность почвы // Тез. Докл. IV Всесоюзной научной конференции. Пушкино, 1992. С. 120-121).

Исследования, проведенные на хорошо окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, свидетельствуют, что процессы аммонификации, нитрификации и азотфиксации активизировались на следующий год после внесения навоза в дозе 100 т/га. На все исследуемые процессы слабо влияла известь, вносимая с навозом. По мнению авторов, заделка навоза снижает интенсивность минерализационных процессов, так как величины показателей, характеризующие процесс нитрификации, уменьшились. Однако возросла активность уреазы и интенсивность аммонификации (Миненко А.К. Микробиологический потенциал почв и растений

как фактор интенсификации азотного питания растений // «Основные итоги научных исследований (70 лет НИИСХ ЦРНЗ)». М. 2001. С. 354-359).

По данным А.К. Миненко (2008), в условиях агроценозов Центральных районов Нечерноземной зоны на суглинистых почвах лимитирующим развитие микроорганизмов фактором является уровень кислотности и обеспеченности фосфором, на супесчаных – обеспеченность калием. Наиболее эффективными приемами повышения биологической активности почвы являются – известкование, внесение больших доз навоза и минеральных удобрений на известкованном фоне одних или совместно с органическими, послойное внесение удобрений с помощью двухъярусной вспашки на суглинистых почвах, чередование в качестве основной обработки почвы поверхностного рыхления и вспашки. Снижает биологическую активность применение минеральных удобрений в повышенных дозах.

При изучении активности полифенолоксидазы и пероксидазы в полевых исследованиях в зависимости от возделываемых культур и систем удобрения на торфяно-глеевой почве Л.Н. Лученок (2012) отмечала, что в вариантах с применением комплекса органических и минеральных удобрений значительно увеличивается полифенолоксидазная активность. Аналогичные процессы наблюдаются и под всеми бобовыми травами.

Одной из особенностей микрофлоры почв южной буроземной провинции Сахалина является высокая численность микроорганизмов. Это связано с богатством почвообразующих пород, необходимыми для питания живых организмов химическими элементами и обилием поступающих в почву растительных остатков. Наиболее высокой биологической активностью, а также большим разнообразием организмов характеризуются дерново-перегнойная, лугово-дерновая и аллювиальная почвы. Микрофлора и ее активность в лугово-дерновых почвах, являющихся основным фондом Сахалинской области, изменяются в зависимости от окультуривания и дозы вносимых удобрений. Длительное внесение минеральных удобрений в средних дозах приводит к повышению численности микрофлоры и её активности.

Исследованиями Л.Н. Пуртовой, Н.М. Костенкова, В.А. Семаль, И.В. Комачковой (2013) на юге Приморья в почвах природных и антропогенных ландшафтов установлено, что большие потери CO_2 свойственны для почв природных ландшафтов с высоким уровнем содержания гумуса (бурозем темный, бурозем типичный, серогумусовая на аллювии). В почвах агрогенных ландшафтов – агро-темногумусовых глеевых с посевами бобовых трав – наблюдались большие потери CO_2 из-за минерализационных процессов в результате активной деятельности микрофлоры и активности каталазы по сравнению с агротемногумусовыми подбелами с посевами сои. Активизировались процессы эмиссии CO_2 при внесении минеральных удобрений в агротемногумусовые подбелы с посевами сои.

Сельскохозяйственное освоение и исследование земель Амурской области были начаты ещё в конце XIX века. Первые исследования микрофлоры почв опытных полей Амурской станции следует отнести к 1932 году. Первые отчеты, посвященные микрофлоре лугово-черноземовидных почв были опубликованы в 1932 году С.П. Норкиной и в 1934, 1935 гг. В.Д. Голиковым (Татарова Н.К. Микрофлора сезонно-мерзлотных почв и перспективы развития сельскохозяйственной и промышленной биотехнологии. Благовещенск, 2003. 124 с.). В 1955 году И.С. Андросов провёл микробиологические исследования по изучению количественного и качественного состава микрофлоры лугово-черноземовидных почв при разных способах её обработки. На основании количественного анализа микрофлоры он отнёс эти почвы к микробиологически бедным и указал, что наибольшая численность микроорганизмов отмечается в верхнем горизонте почвы (10...15 см) и с глубиной количество микроорганизмов резко снижается. Целлюлозолитическая активность микрофлоры, как указывает автор, наблюдается в конце апреля – начале мая, а во второй половине сентября биологическая активность в почвах Приамурья падает. Из практики амурского земледелия известно, что разложение запаханного в почву органического вещества (дернины, стерни, навоза, сидерата) происходит крайне медленно и зависит от термических условий. Бактериальный процесс разложения органического вещества подавляется грибами так же, как и в подзолистых и горно-торфянистых почвах. При внесении минеральных и органи-

ческих удобрений на лугово-черноземовидных почвах количество микроорганизмов резко увеличивается, при полном внесении минеральных удобрений оно увеличивается в полтора раза, а при внесении только навоза – более чем в два раза (Андросов И.С. О микробиологической активности почв Приамурья // Вопросы развития сельского хозяйства Приамурья. Благовещенск: Амур.кн.изд., 1955. С. 56-60).

В.Н. Макаров исследовал влияние обработок почвы на биологическую активность лугово-черноземовидной почвы, определял ферментативную активность каталазы, уреазы и фосфатазы. Безотвальная вспашка и фрезерование позволяют создавать в пахотном слое наиболее благоприятные условия для роста и развития корневой системы сои, улучшает биологические и биохимические процессы в корнеобитаемом слое почвы. Отвальная вспашка с одновременной заделкой соломы снижает активность уреазы (Макаров В.Н. Влияние обработок почвы на рост корневой системы, биологическую активность почвы и урожай // Оптимизация условий возделывания сои в Приамурье: сб. науч. трудов Сибирское отделение ВАСХАНИЛ. Новосибирск, 1981. С. 14-19).

Научные сотрудники ВНИИ сои Г.К. Шелевой, С.В. Рафальский и В.Ф. Ключева (1984) изучали влияние предшественников, удобрений и способов обработки на биологическую активность лугово-черноземовидной и бурой лесной глеевой почв. Авторы установили, что биологическая активность бурой лесной глеевой почвы зависит от способов обработки, видов паров и наличия органического вещества. Отмечено увеличение целлюлозоразлагающей активности при внесении соломы, а также после сидерального пара при гребневом способе возделывания сои. Целлюлозоразлагающая способность лугово-черноземовидной почвы в большей степени увеличивается при внесении минеральных удобрений, а при последствии органо-минеральных удобрений снижается в ранние сроки развития пшеницы.

В.Ф. Прокопчук (1987) изучала нитрификационную способность лугово-черноземовидной почвы и установила, что нитрификация в почвах Приамурья из-за низких температур сезонно-мерзлотных почв может быть ослаблена и сдвинута по срокам вегетации растений на начало-середину июля. Глубоко промерзшая

почва долго сохраняет низкие температуры весной. Низкие температуры угнетающе действуют на микробиологическую деятельность в почве. Микробиологическая активность нитрифицирующих бактерий снижается либо из-за весенней засухи, либо летнего переувлажнения почв.

Впервые обширные исследования микробиологических и агрохимических свойств лугово-черноземовидной почвы при длительном внесении (более 30 лет) органических и минеральных удобрений были проведены Н.К. Татаровой и Р.Н. Стёпкиной в 1987-1999 гг. Данные этих исследований свидетельствуют, что ежегодное внесение высоких доз органических и минеральных удобрений оказало благоприятное действие на все группы сапротрофных микроорганизмов и на биологическую активность почв. Целлюлозоразлагающая способность почвы возросла при длительном применении удобрений по сравнению с не удобренной почвой, где наиболее значительное увеличение наблюдалось при применении минеральных удобрений и навоза. Авторами установлено, что применение соломы и заплата сидерата, внесение навоза в сочетании с минеральными удобрениями создают дополнительный органический материал для развития целлюлозоразлагающих организмов (Татарова Н.К. Влияние агрохимических приемов на биологическую активность лугово-черноземовидных почв // Пути воспроизводства плодородия и повышение урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье. 1995. Вып. 3. С. 96-100; Стёпкина Р.Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на лугово-черноземовидных почвах Приамурья. Благовещенск: ДальГАУ, 2001. 146 с.).

Определение содержания углерода микробной биомассы, нитрификационной и минерализационной способности черноземовидной почвы в 2006-2008 гг. проводили А.В. Науменко, И.Г. Ковшик, В.Ф. Прокопчук. По их данным в почве, отобранной в осенний период, увеличение микробной биомассы отмечено на фоне одних только азотных и повышенных доз минеральных азотно-фосфорных удобрений. Нитрификационная способность почвы в этот период была выше контрольного варианта при применении органоминеральных удобрений. В весенний период содержание углерода микробной биомассы и нитрификационная способ-

ность почвы были выше на фоне применения минеральных и органоминеральных удобрений (Науменко А.В. Свойства почвы и урожайность культур в зависимости от системы удобрений и известкования. Благовещенск: ДальГАУ, 2012. 121 с.).

Азотминерализующая способность черноземовидной почвы при внесении дополнительных малых (10 мг д.в./кг почвы) доз азотных и фосфорных удобрений снижается на фоне минеральных систем удобрений и увеличивается на фоне органо-минеральных удобрений. Увеличение доз азотных удобрений приводит к образованию «экстра» азота, увеличивая азотминерализующую способность. Увеличение дозы фосфорных удобрений также повышает этот показатель на фоне применения минеральных азотно-фосфорных удобрений, но снижает на фоне применения одних только азотных и органоминеральных удобрений (Науменко А.В. Свойства луговой черноземовидной почвы и продуктивность культур зерно-соевого севооборота в зависимости от известкования и длительного применения удобрений в условиях Приамурья. Благовещенск, 2011. 232 с.).

Таким образом, в Амурской области изучение показателей биологической активности почвы носит фрагментарный характер. Ограничено число публикаций по влиянию удобрений на биологическую и биохимическую активность почвы в условиях Амурской области. На современном этапе исследований Зейско-Буреинской равнины, с учётом агротехнических мероприятий по сохранению и восстановлению плодородия сельскохозяйственных угодий, требуется комплексная агрохимическая и биологическая оценка состояния почвы и факторов, влияющих на микробоценозы.

Агротехнические мероприятия в разных почвенно-климатических зонах России по-разному влияют на биологическую активность почвы, поэтому для каждого региона должно быть разработано своё биологическое обоснование приемов, оптимизирующих биологические свойства почвы и тем самым повышающих её плодородие.

Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. 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 с. 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 закладки (повторности) со сдвигом по годам и трехкратную 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	-	-	-	-	-
2	P30	P30	P60	P60	-	-
3	N24	N60	N30	N30	-	-
4	N24P30	N60P30	N30P60	N30	P60	-
5	N24P30K24	N60P30K60	N30P60K30	N30K30	P60	-
6	N42P48	N90P60	N60P90	N30P30	N30P60	-
7	N42P48	N90P60	N30P60	N30P30	N30P60	N30P30
8	N42P48	N90P60	P60	N60P30	P60	N60P30
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), так как в этом варианте с 7-й ротации севооборота в отдельные годы наблюдается снижение урожайности полевых культур (Наумченко Е.Т. Влияние длительного внесения удобрений на продуктивность севооборота и плодородие луговой черноземовидной почвы. Благовещенск: ДальГАУ, 2002. Вып. 8. 256 с.); вариант 4, где та же доза азотных удобрений применяется на фоне фос-

форных (N24P30); вариант 6, с применением больших доз азотно-фосфорных удобрений (N42P48) и в вариант 9, где часть минеральных удобрений заменена эквивалентной дозой полуперепревшего навоза крупного рогатого скота (N24P30 + навоз). Под пшеницу в годы исследований варианты удобрения, выбранные для наблюдений, не применялись. Высеваемым сортом пшеницы был сорт Арюна (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид стационарного полевого опыта (фаза выхода в трубку и колошения пшеницы)

Посев пшеницы выполняли в оптимальные сроки, культуру высевали рядами, с междурядьями 15 см, агротехника возделывания общепринятая в Амурской области (Система земледелия Амурской области. Благовещенск: ИПК «Приамурье», 2003. 304 с.). Минеральные удобрения под предшествующую культуру

вносили вручную под предпосевную культивацию: азотные – в форме аммиачной селитры, фосфорные – двойного суперфосфата. В варианте 9 регулярно вносили полуперепревший навоз крупного рогатого скота. Урожай пшеницы учитывали методом сплошного обмолота комбайном «Сампо 500».

Весной и летом 2011-2013 гг. для проведения биологических и агрохимических исследований по вариантам 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 (рисунок 2). Сущность метода заключается в сравнительной характеристике биологической активности разных объектов (разностей почв, вариантов опыта) по интенсивности разложения бязевой ткани, натянутой на стеклянную пластинку (Муртазина С.Г. Практикум по почвоведению. Казанская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. 225 с.).

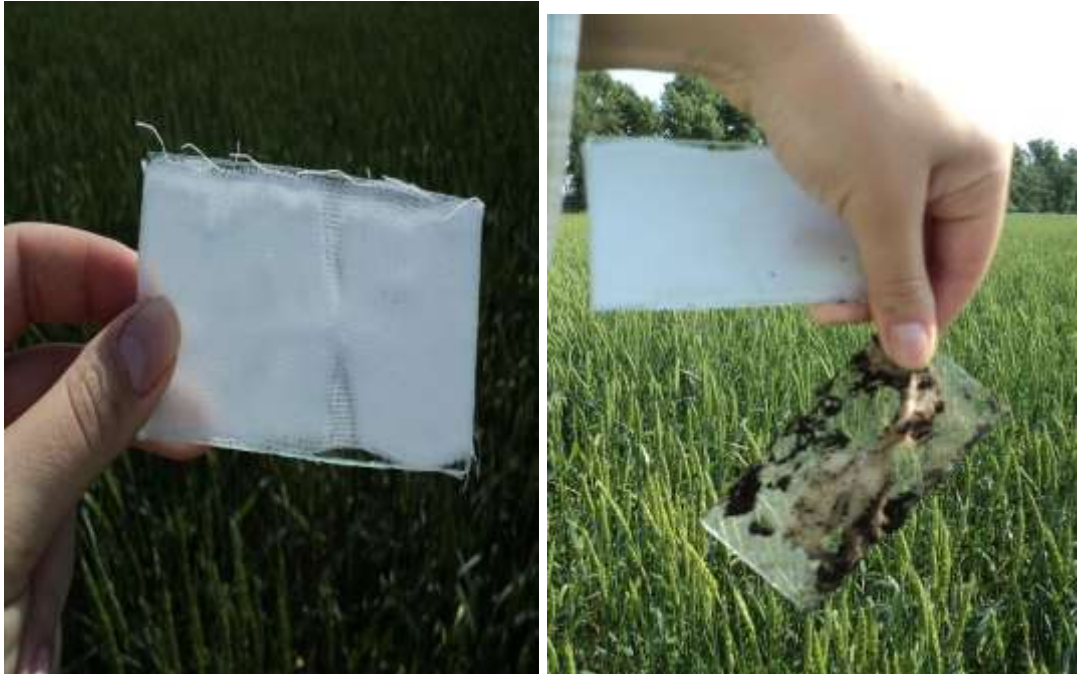


Рисунок 2 – Вид ткани, натянутой на стеклянную пластину, до и после экспозиции в почве

В 2011 г. целлюлозоразлагающая способность почвы была определена с 13 июля по 9 августа. В 2012 и 2013 гг. целлюлозоразлагающую способность опре-

деляли 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 была определена методом заделки соломы. Перед заделкой 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) (рисунок 3).



Рисунок 3 – Подготовка соломы до закапывания в почву и размещение её в почве

Интенсивность целлюлозоразлагающего процесса оценивали по потере массы соломы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Солома с разных вариантов после экспозиции в почве

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 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 по земледелию / Доспехов Б.А. [и др.]. Агропромиздат, 1987. С. 87-95). 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 С.Г. Практикум по почвоведению. С. 57), нейтральной фосфатазы – методом гидролиза фенолфталеин фосфата (Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / Малахов С.Г. Москва: Московское отделение гидрометеоиздата, 1984), каталазы – перманганатометрическим методом по Джонсону и Темпле (Муртазина С.Г. Практикум по почвоведению. С. 56), пероксидазы и полифенолоксидазы – методом А.Ш. Галстяна (Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. С. 38, 42).

Нитрификационная способность почвы определена методом С.П. Кравкова (Агрохимические методы исследований почв. М.: «Наука», 1975. 656 с.), аммонификационная способность почвы – методом промывки почвы до полного исчезновения аммиака (Теппер Е.З. Практикум по микробиологии. М.: Колос, 1993. 175 с.), азот-минерализующая способность – методом В.Н. Башкина и В.Н. Кудиярова (Башкин В.Н. Определение азот-минерализующей способности почв для экологически оптимального использования азотных удобрений // Фундаментальные науки – народному хозяйству. М., 1990. С. 271-272) и биомасса микроорганизмов в почве – регидратационным методом по Т.Г. Мирчинк и Н.С. Паникову (Ганжара Н.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.).

По фазам роста и развития пшеницы 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 – комплексометрическим методом (ГОСТ 26487-90), актуальная и обменная кислотность – методом ЦИНАО (ГОСТ 26483-90), гидролитическая кислотность – методом Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91).

Расчет средневзвешенной за вегетацию величины активности ферментов и эмиссии CO₂ проводили по методике, предложенной для расчета фотосинтетического потенциала (Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая). М.: Академия Наук СССР, 1961. 135 с.), по формуле:

$$[(P_2 \cdot T_{1-2}) + ((P_2 + P_3)/2) \cdot T_{2-3}) + ((P_3 + P_4)/2) \cdot T_{3-4}) + ((P_4 + P_5)/2) \cdot T_{4-5})] / \Sigma T_{1-5};$$

где, P – исследуемый показатель; T – межфазный период; T_{1-5} – длина вегетационного периода от всходов до восковой спелости пшеницы (1 – всходы, 2 – кущение, 3 – выход в трубку, 4 – колошение, 5 – восковая спелость).

Статистическую обработку полученных данных выполняли методом оценки различных вариантов полевого опыта по средним многолетним показателям, приняв для расчета все наблюдения по повторностям внутри каждой выборки за все годы эксперимента (Ваулин А.В. Определение достоверных средних многолетних показателей краткосрочных полевых опытов при обработке результатов исследований методом дисперсионного анализа // Агрехимия. 1998. № 12. С. 71-75).

2.2. Характеристика почвы опытного участка

Черноземовидные почвы распространены только на равнинах юга Дальнего Востока, особенно широко на Зейско-Буреинской равнине. Они формируются в условиях теплого влажного лета и холодной малоснежной зимы, приводящей к глубокому (до 3 м) сезонному промерзанию почв. От черноземов степной и лесостепной зон Европы и Сибири отличаются отсутствием карбонатов в пределах и за пределами почвенного профиля, повсеместным развитием признаков оглеения в виде ржавых и сизых пятен, наличием железисто-марганцевых образований по всему профилю и белесой кремнеземистой присыпкой в нижних горизонтах. Черноземовидные почвы сформировались под лугово-степной растительностью с куртинами кустарников. Почвообразующие породы – древние озерно-аллювиальные глины, реже тяжелые суглинки.

Черноземовидные почвы почти полностью вовлечены в пашню ещё в начале XX века, к 1994 году составляли 36% от всей площади пашни Амурской области (Сельскому хозяйству в Амурской области 140 лет / Госкомстат России, Амурская область комитет государственной статистики. Благовещенск, 1998. 14 с.), а к 2010 году – около 70% от посевных площадей (Министерство сельского хозяйства Амурской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agroamur.ru>).

Направленность и выраженность химических, физико-химических и биохимических режимов в определенной мере слагаются под воздействием их физических и водно-физических свойств. В этом отношении черноземовидные почвы обладают высокой порозностью, которая в гумусовом горизонте составляет 55...65% от объема почвы и до глубины 60...100 см находится в пределах 50%. Почвы имеют хорошо выраженную структуру. Однако её водопрочность по профилю неоднородна. Водопрочность агрегатов в пахотном слое достаточно высокая и составляет 80...90%, но в иллювиальном горизонте она неустойчива и колеблется от 10 до 75%.

Тяжелый гранулометрический состав, пониженная водопрочность структурных агрегатов в иллювиальном горизонте обуславливают формирование неблагоприятного водного и воздушного режимов в почвах. Полевая влагоемкость черноземовидных почв в пахотном горизонте варьирует в пределах 30...55%. В нижележащих горизонтах с уменьшением общей порозности влагоемкость снижается. Влагозапас метрового профиля при предельно-полевой влагоемкости колеблется от 400 до 420 мм. Велика в этих почвах максимальная гигроскопичность. В пахотном слое она находится в пределах 8...9%, в иллювиальном – снижается незначительно – (8,0...8,6%). Влажность завядания довольно высокая – 12...13%. Черноземовидные почвы облают низкой водопроницаемостью (Голов Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. Владивосток: Дальнаука, 2001. 162 с.).

Профиль черноземовидных почв отличается достаточно мощным гумусовым горизонтом. Гумусовые затеки доходят до глубины 70...80 см. По мощности гумусового и переходного горизонтов (A1+AB) и содержанию гумуса черноземовидные почвы делятся на маломощные (A1+AB < 20 см), среднемощные (A1+AB = 20...30 см) и мощные (A1+AB > 30 см) (Система земледелия Амурской области. С. 17).

Почва опытного участка – черноземовидная маломощная в комплексе со среднемощной. В пахотном слое она имеет слабокислую реакцию, среднюю величину потенциальной гидролитической кислотности и повышенную сумму поглощенных оснований. В составе поглощенных катионов преобладает ион кальция. Степень насыщенности основаниями высокая. Содержание гумуса в 1-й и 3-й* временных закладках низкое, а в почве 2-й временной закладки – среднее (таблица 2), – * по данным Р.Н. Стёпкиной (2001). Содержание доступных форм фосфора очень низкое, калия – высокое. Остаточное содержание минерального азота после уборки пшеницы значительно изменяется по годам. В 2011 г. содержание минерального азота было средним (представлено равным количеством аммонийного и нитратного азота), а в 2012 г. – высоким, преимущественно за счёт аммонийного азота (таблица 2).

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика черноземовидной почвы опытного участка

Физико-химические свойства почвы							
Год	Актуальная кислотность рН	Обменная кислотность рН	Нг, мг-экв/100 г почвы	Са ²⁺ , мг-экв/100 г почвы	Мg ²⁺ , мг-экв/100 г почвы	Σ, мг-экв/100 г почвы	V, %
2011	6,2	5,0	3,83	11,76	9,68	21,44	84,8
2012	5,95	5,05	4,79	14,60	5,50	20,10	80,8
Содержание в почве гумуса (%) и элементов питания (мг/кг)							
Год	Гумус	N-NO ₃	N-NH ₄	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2011	3,37	6,0	5,6	11,6	20	197	
2012	4,37	7,2	14,8	22,0	18	173	

2.3. Климатические и метеорологические условия

Климат Приамурья, как и всего Дальнего Востока, имеет муссонный характер. Он формируется под влиянием Азиатского континента и Тихого океана. Зимний период характеризуется высоким барометрическим давлением приземного воздуха, низкими температурами, ясными днями, безветрием и маломощным снежным покровом. Летний муссон проявляется низким барометрическим давлением, облачной погодой и большим количеством осадков.

Зейско-Буреинская равнина относится к теплому, менее влажному агроклиматическому району Амурской области. Сумма средних суточных температур воздуха за вегетационный период в районе расположения опыта (сумма температур выше 10 °С) составляет 2301 °С, а годовое количество осадков – 568 мм.

Низкие зимние температуры в совокупности с небольшим количеством осадков (высота снежного покрова 14 см; плотность небольшая, не более 0,25) приводят к глубокому ежегодному промерзанию почвы – до 2,5...3 м и формированию медленно оттаивающей сезонной мерзлоты. Среднемноголетняя температура самого холодного месяца января составляет минус 24 °С, с абсолютным минимумом минус 49 °С. Продолжительность холодного периода составляет около 150 дней.

Оттепели наблюдаются в апреле, ночные заморозки – в течение всего апреля и продолжаются до середины мая. Это тормозит оттаивание почвы, талые воды стекают по её поверхности. Весна холодная и короткая. Период от схода снега до наступления физической спелости почвы очень короткий. К моменту сева ранних культур почва оттаивает только до глубины 10...30 см, температура почвы низкая, +5 °С. Увеличивается продолжительность периода посева-всходов.

Лето долгое и тёплое, средняя температура за вегетационный период составляет 13,6-15,5 °С. Наибольший дефицит влажности воздуха наблюдается в весенне-раннелетний период. Большое количество осадков с июля по сентябрь, медленно оттаивающая сезонная мерзлота, сохраняющаяся почти до конца вегетационного периода, низкая водопроницаемость большинства почв, имеющих тяжёлый гранулометрический состав, способствуют их переувлажнению. Сумма осадков за год составляет 568 мм, из них за лето – 345. Начало осени и конец весны отличаются тёплой и ясной погодой (Пустовойтов Н.Д. Сезонно-мерзлотные почвы и их мелиорация. М.: Наука, 1971. 232 с.; Березняков К.П. Агроклиматические ресурсы Амурской Области. Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. 104 с.; Кумскова Н.Д. Агропроизводственная оценка климата территории: Методические указания к лабораторным занятиям и задания для контрольных работ. Благовещенск: изд-во ДальГАУ, 2009. 70 с.). Особенности агроклиматических условий позволяют возделывать культуры преимущественно с коротким периодом вегетации (Система земледелия Амурской области. С. 13).

Таким образом, климат Амурской области отличается рядом особенностей:

- 1) холодная малоснежная зима, способствующая глубокому промерзанию почвы;
- 2) холодная засушливая затяжная весна, замедляющая оттаивание почвы и задерживающая развитие растений в начале вегетации;
- 3) теплое дождливое лето, способствующее переувлажнению почвы;
- 4) высокая относительная влажность воздуха в августе (Герентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. Владивосток, 1969. 275 с.).

Весна в 2011–2013 гг. была поздней, затяжной с резкими перепадами температур, неравномерным распределением осадков. Первая половина весны 2011 г. была преимущественно сухой, вторая – дождливой. Весеннему сезону предшествовала тёплая и снежная зима. Для проведения полевых работ агрометеорологические условия 2011 и 2012 гг. были преимущественно благоприятными. Ранний сход снежного покрова, потепление в третьей декаде марта и в середине первой декады апреля позволили приступить к посеву ранних зерновых культур в сроки близкие к оптимальным. Условия вегетации 2013 г. относятся к избыточно увлажненным. Из-за переувлажненной почвы посев пшеницы был проведен позднее, чем в предшествующие годы, только в конце мая.

Среднемесячная температура апреля и мая в 2011 г. превысила среднюю многолетнюю на 1,7 и 1,3 °С, в 2012 г. – на 1,0...2,3 °С, а в 2013 г. среднемесячная температура апреля была ниже нормы на 0,5 °С, мая – выше среднемноголетней на 2,6 °С (рисунок 5, приложение А).

За весенний период 2011 г. среднемесячная температура составила 9,1 °С, 2012 г. – 9,2 °С, 2013 г. – 8,6 °С, что больше нормы на 0,3...1,3 градуса (Агрометеорологический обзор за 2011, 2012, 2013 годы по Амурской области. Благовещенск, 2011, 2012, 2013).

Летние периоды 2011–2013 гг. характеризовались необычно теплой погодой и неравномерным распределением осадков. Были характерны такие агрометеорологические явления, как сильный ливневый дождь и ветер. По данным метеостанции Благовещенска, в 2011 г. среднемесячная температура июня, июля и августа превысила среднемноголетнюю температуру на 0,8...2,2 °С, в 2012 г. – на 0,7...2,9 °С, в 2013 г. – на 0,5...2 °С (рисунок 5, приложение А). Таким образом, за летний период 2011 г. среднемесячная температура составила 21,5 °С, 2012 г. – 21,4 °С, 2013 г. – 20,4 °С, что больше среднемноголетней температуры на 0,6...1,7 °С (Агрометеорологический обзор. 2011, 2012, 2013).

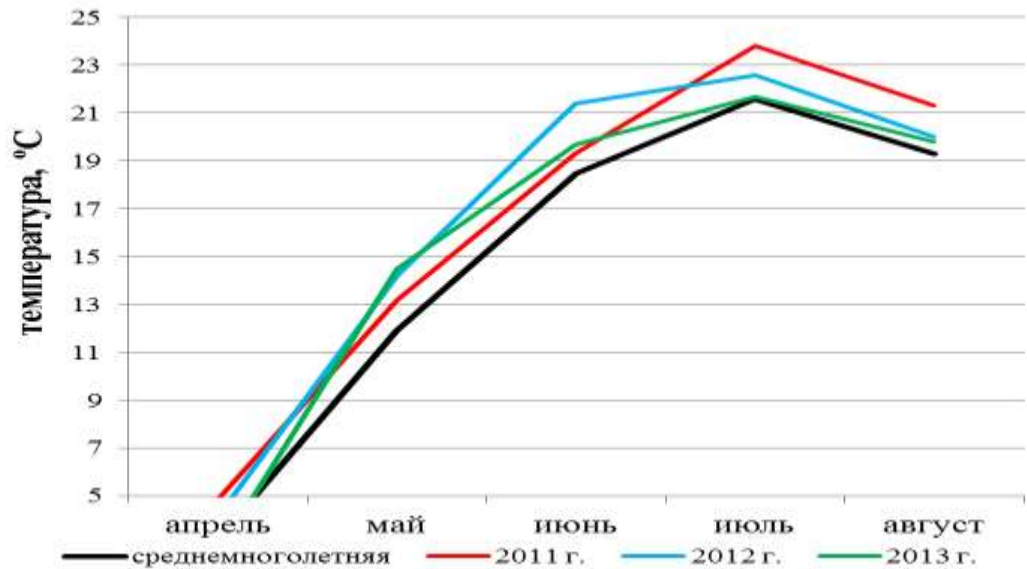


Рисунок 5 – Среднегодовое и среднемесячные температуры воздуха за период вегетации пшеницы (МС г. Благовещенска)

Сумма активных температур (выше 10 °С) за период вегетации пшеницы в 2011 г. была выше среднегодовой на 192 °С, в 2012 г. – на 236 °С, в 2013 г. – на 154 °С, поэтому температурный режим 2011, 2012 и 2013 гг. был повышенным (приложение А).

Весна 2011–2013 гг. характеризовалась неравномерным распределением осадков. В 2011 г. первая половина весны была преимущественно сухой, вторая дождливой. В 2012 г. первая половина весны и вторая половина мая были сухими. Дождливая погода была в третьей декаде апреля и первой декаде мая. В 2013 г. большое количество выпавших за зимний период осадков и пониженный температурный режим в апреле сдерживал сход снежного покрова. Лишь к концу второй декады апреля поля освободились от снега. Частые и обильные дожди в мае усугубили перенасыщение влагой оттаявшего, переувлажненного с осени слоя почвы, сдерживали проведение весенней вспашки и сева зерновых культур (Агрометеорологический обзор. 2011, 2012, 2013). По данным метеопоста села Садовое, в 2011 и 2013 гг. в апреле осадков выпало меньше на 2...16 мм, а в мае больше на 33...40 мм нормы. В 2012 г., наоборот, в апреле осадков выпало больше нормы на 9 мм, а в мае меньше нормы на 18 мм (рисунок 6, приложение А). За весенний период 2011 и 2013 гг. выпавшее количество осадков превысило норму на 17...38 мм, а за этот же период 2012 г. оно было ниже нормы на 9 мм.

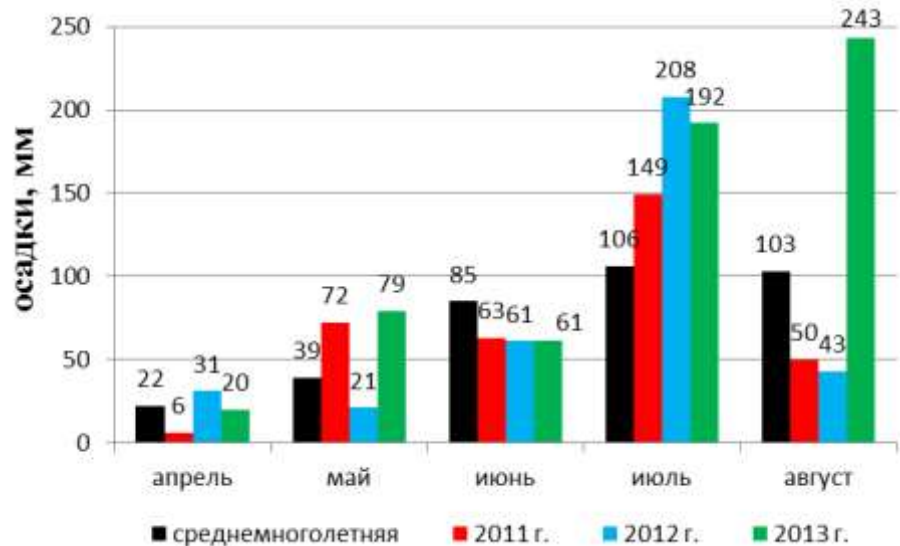


Рисунок 6 – Среднемесечная и средняя многолетняя сумма осадков за весенне-летний период 2011–2013 гг. (МП с. Садовое)

Каждые три летних месяца 2011–2013 гг. дожди шли часто, по территории области распределялись неравномерно и с разной интенсивностью, носили ливневый характер, сопровождалась грозами и шквальным ветром (Агрометеорологический обзор. 2011, 2012, 2013). Лето 2013 г. было очень дождливым. Характерной особенностью его являлся комплекс неблагоприятных и опасных природных явлений: сильный ливень, град, шквалистый ветер, переувлажнение почвы, наводнение. Агрометеорологические условия были крайне сложными – длительное переувлажнение почвы, подтопление полей (Агрометеорологический обзор. 2013). По данным метеопоста села Садовое, в 2011 г. в июне и августе выпало осадков на 22 и 53 мм меньше средней многолетней нормы, а в июле наоборот больше на 43 мм. В 2012 г. в июне и августе выпало осадков на 24...60 мм меньше, а в июле больше на 102 мм средней многолетней нормы. В 2013 г. в июне осадков выпало меньше среднемноголетней нормы на 24 мм, а в июле и августе больше нормы на 86...140 мм (рисунок 6, приложение А).

Таким образом, за летний период 2011 г. осадков выпало 262 мм, что ниже нормы на 32 мм. В 2012 и 2013 гг. осадков выпало соответственно 312 мм и 496 мм, что выше нормы на 18 и 202 мм. (Агрометеорологический обзор. 2011, 2012, 2013).

За весенне-летний период 2011 г. осадков выпало меньше нормы на 15 мм, но в целом лето было благоприятным для роста и развития растений, что отрази-

лось на высокой урожайности зерновых культур. В 2012 г. осадков выпало больше нормы на 9 мм. Однако недостаточное их количество в начале и конце вегетации пшеницы, повышенный температурный режим в сочетании с низкой влажностью воздуха и ветром иссушили почву и создали неблагоприятные условия для роста и развития пшеницы, что в результате привело к её низкой урожайности. За весенне-летний период 2013 г. осадков выпало на 240 мм больше нормы, но, несмотря на сложные агрометеорологические условия 2013 г. развитие пшеницы протекало благоприятно, и в итоге был получен достаточно высокий урожай этой культуры (приложение А), (Агрометеорологический обзор. 2011, 2012, 2013).

Таким образом, агрометеорологические условия 2011 и 2013 гг. характеризовались повышенными температурами и неравномерным распределением осадков, они способствовали для формирования высокого урожая пшеницы, 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 пшеницы.

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ИЗМЕНЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ НА ФОНЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ

3.1. Физико-химические и агрохимические свойства

Исследования черноземовидных почв, выполненные в длительных опытах с удобрениями, дают возможность оценить ряд их агрохимических свойств, дать комплексную характеристику плодородия почв. При этом важно установить роль отдельных элементов в почве при систематическом применении удобрений. В результате проведенных длительных опытов установлено, что оптимизация агрохимических параметров должна быть направлена на увеличение запасов в почве подвижных элементов для питания растений, особенно в начальный период их развития. Определены основные условия повышения эффективности плодородия почв, которые отражают тенденции современной агрономической науки с позиции системного подхода взаимодействия между растением, почвой и удобрением, а также управление круговоротом и балансом химических элементов (Стёпкина Р.Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на лугово-черноземовидных почвах Приамурья. С. 6).

Агрохимические свойства черноземовидной почвы были определены в осенние периоды в 2011 и 2012 гг. в слое на глубине 0...20, 20...40 и 40...60 см (таблица 3, 4). По мнению В.П. Бугаева и А.А. Духанина (1968) систематическое применение удобрений повышает содержание гумуса или удерживает его на исходном уровне. В наших исследованиях последствие пятидесятилетнего применения минеральных удобрений незначительно изменяло содержание гумуса в почве, что возможно за счет исходной неоднородности почвы. Содержание гумуса в пахотном слое в контрольном варианте среднее – 3,87% (таблица 3). Тенденция к увеличению гумуса в пахотном слое прослеживается на фоне повышенных доз азотно-фосфорных удобрений на 2% относительно контрольного варианта, а

на фоне последствий одних только азотных удобрений наблюдается тенденция к снижению гумуса на 3% относительно контроля.

Таблица 3 – Влияние многолетнего применения удобрений на физико-химические свойства черноземовидной почвы, в среднем за 2011-2012 гг.

№ вар.	Наименование варианта**	Слой почвы, см		
		0-20	20-40	40-60
1	2	3	4	5
Гумус, %				
1	контроль	3,87	1,89	1,27
3	N24	3,76	1,97	1,25
4	N24P30	3,83	1,91	1,24
6	N42P48	3,93	1,88	1,61
9	N24P30+навоз	3,82	1,85	1,33
НСР ₀₅ равен		0,29	0,54	0,33
Актуальная кислотность, ед. рН				
1	контроль	6,08	6,20	6,15
3	N24	6,04	6,28*	6,18
4	N24P30	5,99*	6,24	6,19
6	N42P48	5,93*	6,20	6,10
9	N24P30+навоз	6,12	6,26	6,16
НСР ₀₅ равен		0,09	0,05	0,1
Обменная кислотность, ед. рН				
1	контроль	5,03	5,05	4,80
3	N24	5,00	5,06	4,85
4	N24P30	4,98*	5,05	4,82
6	N42P48	4,89*	5,01*	4,80
9	N24P30+навоз	5,09*	5,09*	4,84
НСР ₀₅ равен		0,05	0,04	0,09
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы				
1	контроль	4,31	3,59	3,57
3	N24	4,71*	3,39*	3,44
4	N24P30	4,69*	3,46	3,45
6	N42P48	4,86*	3,52	3,57
9	N24P30+навоз	4,14	3,40*	3,44
НСР ₀₅ равен		0,22	0,14	0,14
Са, мг-экв/100 г почвы				
1	контроль	13,2	12,9	13,0
3	N24	13,8	12,4	12,8
4	N24P30	13,0	12,7	12,8
6	N42P48	13,5	13,1	12,8
9	N24P30+навоз	13,7	12,9	13,1
НСР ₀₅ равен		1,3	0,5	0,6

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Mg, мг-экв/100 г почвы				
1	контроль	7,6	8,4	9,9
3	N24	6,7	9,1	9,9
4	N24P30	7,3	9,1	10,2
6	N42P48	7,1	8,9	9,9
9	N24P30+навоз	7,5	8,1	9,3
НСР ₀₅ равен		1,0	1,2	1,2
Σ, мг-экв/100 г почвы				
1	контроль	20,8	21,2	22,9
3	N24	20,5	21,5	22,7
4	N24P30	20,3	21,8	23,0
6	N42P48	20,6	22,0	22,7
9	N24P30+навоз	21,2	21,7	22,4
НСР ₀₅ равен		1,0	1,2	0,6
V, %				
1	контроль	82,8	85,6	86,6
3	N24	81,4*	86,4	86,9
4	N24P30	81,3*	86,3	87,0
6	N42P48	81,0*	86,3	86,4
9	N24P30+навоз	83,7*	86,5	86,7
НСР ₀₅ равен		1,1	1,4	1,3
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, **Среднегодовая нагрузка удобрений на 1 га с.о. площади				

В контрольном варианте вниз по профилю содержание гумуса постепенно убывает: 1,89% в слое на глубине 20...40 см; 1,27% в слое на глубине 40...60 см. Такое снижение характерно для черноземовидных почв (Терентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. Владивосток, 1969. 275 с.). Изменения по вариантам опыта в подпахотных слоях почвы незначительны, за исключением варианта с применением повышенных доз азотно-фосфорных удобрений в слое на глубине 40...60 см, где содержание гумуса выше относительно контроля на 27%.

В контрольном варианте без применения удобрений реакция почвенного раствора по всему профилю слабокислая – 6,08...6,20 единиц рН (таблица 3). По данным Л.Н. Трипольской, Г.И. Греймас (1989), органическая система удобрений оказывает положительное влияние на уменьшение кислотности почвы. В наших

исследованиях данная закономерность прослеживается в варианте с применением органоминеральной системы удобрения, где проявилась тенденция к снижению и актуальной, и обменной кислотности почвы по отношению к контролю на 0,01...0,06 единиц рН на всю глубину исследуемого слоя. На фоне последействия минеральных азотно-фосфорных удобрений актуальная и обменная кислотность почвы в пахотном слое наоборот была выше контроля на 0,05...0,15 единиц рН, причем на фоне повышенных доз азотно-фосфорных удобрений обменная кислотность выше варианта без применения удобрений до глубины почвы 40 см. При последействии одних азотных удобрений актуальная и обменная кислотность в пахотном слое увеличиваются на 0,03...0,04 единицы рН относительно контроля, а в подпахотных слоях наоборот снижаются на 0,01...0,08 единиц рН.

Гидролитическая кислотность при длительном последействии удобрений изменялась аналогично актуальной и обменной кислотности. При последействии одних только азотных удобрений гидролитическая кислотность выше на 9% контроля в пахотном слое, а в подпахотных слоях наоборот ниже на 4...6%. При последействии азотно-фосфорных удобрений в пахотном слое гидролитическая кислотность выше контроля на 9...13%, а в подпахотных слоях проявилась тенденция к снижению гидролитической кислотности на 2...4% относительно контроля. После применения органоминеральных удобрений гидролитическая кислотность ниже контроля на 4...5% на всю глубину исследуемого слоя за счет дополнительного поступления щелочных и щелочноземельных катионов в составе навоза (таблица 3).

Сумма поглощенных оснований в пахотном слое контрольного варианта составляет 20,8 мг-экв/100 г. Статистически значимых изменений этого показателя в зависимости от применения удобрений не наблюдается, но проявляется тенденция к вымыванию магния в подпахотный слой почвы. В пахотном слое степень насыщенности основаниями в контроле составляет 82,8%. При последействии минеральных удобрений в пахотном слое она снижается по сравнению с контролем на 1,4...1,8%, а при последействии органоминеральных удобрений повышается на 1%. В слое на глубине 40...60 см степень насыщенности основаниями не изменялась. При последействии всех систем удобрений в слое на глубине 20...40 см наблюда-

ется увеличение степени насыщенности основаниями за счет вымывания магния и уменьшения гидролитической кислотности.

Минеральный азот черноземовидной почвы в годы исследований представлен в основном аммонийной формой (таблица 4). В контрольном варианте в пахотном слое осеннее содержание минерального азота составляет – 16,8 мг/кг и убывает вниз по профилю – 12,2 мг/кг в слое на глубине 20...40 см и 9,2 – в слое на глубине 40...60 см. В пахотном слое при последствии одних азотных удобрений проявляется тенденция к снижению содержания минерального азота относительно контроля за счёт нитратной формы на 6%, но повышение его содержания статистически значимо на 49% в подпахотном слое произошло за счет аммонийной формы. Тенденция к увеличению содержания минерального азота сохраняется и в слое почвы на глубине 40...60 см.

При последствии малых доз азотно-фосфорных удобрений наблюдается тенденция к увеличению содержания минерального азота относительно контроля в пахотном слое на 14% за счет увеличения его аммонийной формы, но уже в слое на глубине 20...60 см содержание минерального азота было ниже контроля на 33...39%, за счет снижения в равной степени и его аммонийной и нитратной форм. При последствии повышенных доз азотно-фосфорных удобрений проявляется тенденция к снижению содержания минерального азота в пахотном слое на 18% относительно контроля, преимущественно за счет аммонийной формы, а в подпахотных слоях содержание нитратного азота так же, как и при последствии малых доз азотно-фосфорных удобрений, было ниже относительно контрольного варианта на 20...33%, за счет и аммонийной и нитратной формы.

На увеличение содержания минерального азота в почве при внесении органических удобрений указывали Ю.К. Кудзин (1960), Г.К. Шелевой и В.Т. Куркаев (1971). По данным В.В. Пронько (1989) минеральные удобрения, навоз и зеленое удобрение оказывали положительное влияние на содержание минеральных форм азота.

Таблица 4 – Влияние многолетнего применения удобрений на агрохимические свойства черноземовидной почвы, в среднем за 2011-2012 гг.

№ вар.	Наименование варианта	Слой почвы, см		
		0-20	20-40	40-60
1	2	3	4	5
N-NO₃, мг/кг почвы				
1	контроль	6,6	3,3	2,4
3	N24	5,5*	3,1	2,3
4	N24P30	5,8	2,3*	1,6*
6	N42P48	5,9	2,4*	1,6*
9	N24P30+навоз	6,7	2,7*	1,7*
НСР ₀₅ равен		1,1	0,6	0,7
N-NH₄, мг/кг почвы				
1	контроль	10,2	8,8	6,8
3	N24	10,3	15,1	8,5
4	N24P30	13,4	5,0*	4,5
6	N42P48	7,8	7,3	4,5
9	N24P30+навоз	10,6	6,5	7,6
НСР ₀₅ равен		3,9	1,7	3,1
N_{мин}, мг/кг почвы				
1	контроль	16,8	12,2	9,2
3	N24	15,8	18,2*	10,9
4	N24P30	19,2	7,4*	6,2*
6	N42P48	13,8	9,7*	6,2*
9	N24P30+навоз	17,3	9,3*	9,3
НСР ₀₅ равен		4,2	2,2	3,3
P₂O₅, мг/кг				
1	контроль	19	10	6
3	N24	15	7	6
4	N24P30	37*	12	8
6	N42P48	64*	19*	8
9	N24P30+навоз	60*	23*	13*
НСР ₀₅ равен		7	4	4
K₂O, мг/кг				
1	контроль	185	169	163
3	N24	188	173	163
4	N24P30	178	170	166
6	N42P48	173*	164*	159*
9	N24P30+навоз	206*	172	163
НСР ₀₅ равен		12	5	6
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне				

В наших исследованиях при последствии органоминеральных удобрений проявляется незначительная тенденция к увеличению в пахотном слое содержания минерального азота на 3% относительно контроля, но уже в слое почвы на глубине 20...40 см содержание минерального азота было ниже контроля на 24% за счет снижения как нитратной, так и аммонийной форм.

Содержание минерального азота также определяли по фазам развития пшеницы в 2011-2013 гг. исследований (таблица 5). В среднем за вегетацию пшеницы в контрольном варианте содержание минерального азота составляет – 21,9 мг/кг и при последствии различных систем удобрений по отношению к контролю изменяется незначительно, за исключением варианта с последствием органоминеральных удобрений, где содержание минерального азота было выше контроля на 13%, а в ранние фазы развития пшеницы проявилась тенденция к увеличению минерального азота при последствии органоминеральных удобрений на 2...17% относительно контрольного варианта. В фазе восковой спелости пшеницы при последствии органоминеральных удобрений содержание минерального азота было выше контроля на 26%, за счет того, что нитратный азот был выше контроля на 33% и аммонийный – на 8%.

По данным Г.К. Шелевого, В.Т. Куркаева (1971), в первой половине вегетационного периода пшеницы в условиях недостаточного увлажнения увеличивается количество нитратного азота. К концу вегетации содержание подвижных форм минерального азота снижается, что связано с выпадением избыточного количества муссонных осадков. В наших исследованиях данная закономерность прослеживается. Количество нитратного азота в ранние фазы развития пшеницы было выше, чем в более поздние, соответственно и содержание минерального азота к концу вегетации пшеницы снизилось.

Для земледелия Дальнего Востока проблема фосфорного питания всегда была одной из важнейших, что обусловлено слабой степенью подвижности фосфора (Стрельченко Н.Е. Фосфатный режим переувлажненных почв юга Дальнего Востока. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1982. 20 с.).

Таблица 5 – Влияние многолетнего применения удобрений на агрохимические свойства черноземовидной почвы в фазы развития пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг.

№ вар.	Вариант	Фазы роста и развития пшеницы				В среднем за вегетацию
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость	
N-NO₃, мг/кг почвы						
1	контроль	17,3	16,9	12,5	12,8	14,9
3	N24	16,7	16,5	11,7	13,5	14,6
4	N24P30	14,1	14,6	11,2	14,8	13,7
6	N42P48	17,4	16,8	13,2	14,6	15,5
9	N24P30+навоз	20,1	17,3	13,5	17,1*	17,0
НСР ₀₅ равен		7,7	3,7	3,1	2,7	
N-NH₄, мг/кг почвы						
1	контроль	8,4	6,5	7,3	5,9	7,0
3	N24	7,9	7,1	7,5	4,7*	6,8
4	N24P30	7,0	7,9	9,1	5,4	7,3
6	N42P48	7,1	6,8	7,8	5,8	6,9
9	N24P30+навоз	10,1	6,6	7,8	6,4*	7,7
НСР ₀₅ равен		2,7	1,7	2,1	0,5	
N_{мин}, мг/кг почвы						
1	контроль	25,7	23,4	19,8	18,7	21,9
3	N24	24,6	23,6	19,2	18,2	21,4
4	N24P30	21,1	22,5	20,3	20,2	21,0
6	N42P48	24,5	23,6	21,0	20,4	22,4
9	N24P30+навоз	30,2	23,9	21,3	23,5*	24,7
НСР ₀₅ равен		8,5	4,5	3,0	3,1	
P₂O₅, мг/кг почвы						
1	контроль	28	28	26	27	27
3	N24	22*	22*	21	21	21
4	N24P30	47*	44*	44*	42*	44
6	N42P48	78*	74*	75*	65*	73
9	N24P30+навоз	73*	76*	69*	72*	72
НСР ₀₅ равен		5	6	9	9	
K₂O, мг/кг почвы						
1	контроль	183	168	177	184	178
3	N24	176	175	175	190	179
4	N24P30	171	171	174	183	175
6	N42P48	173	152*	163*	168*	164
9	N24P30+навоз	221*	191*	200*	214*	206
НСР ₀₅ равен		19	14	12	20	
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне						

В полевых условиях питание растений фосфором обеспечивается в основном за счет минеральных форм и, главным образом, его соединений, растворимых в слабых кислотах. По мнению некоторых авторов (Ковшик И.Г. Фосфор в почвах Амурской области и эффективность фосфорных удобрений под сою. М., 1977. 24 с.; Сдобникова О.В. Условия эффективного использования фосфорных удобрений // Применение фосфорных удобрений. Труды ВИУА. 1979. Вып. 57. С. 3-20), количество доступных для растений фосфатов в почвах Приамурья незначительное, что связано с действием экологических факторов. Гидротермический режим почв, их гидроморфность и низкая водопроницаемость из-за тяжелого гранулометрического состава, длительное и глубокое промерзание обуславливают высокую активность процессов новообразования полуторных окислов, способствуют постоянному восстановлению подвижных форм железа, сосредоточению части окислов в верхнем слое почвенного профиля за счет восходящего тока влаги (Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Наука, 1967. 166 с.). Связывание подвижного фосфора в этих условиях и перевод в труднорастворимую форму является основной причиной недостатка фосфора в длительно сезонно-мерзлотных почвах Приамурья (Стёпкина Р.Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на лугово-черноземовидных почвах Приамурья. С. 21).

Содержание подвижного фосфора в черноземовидной почве низкое как по общероссийской шкале, так и по региональной (Голов Г.В. Подвижный фосфор в почвах Зейско-Буреинской равнины и эффективность удобрений // Агрохимия. 1974. № 11. С. 28-34). Осеннее содержание подвижного фосфора в контрольном варианте пахотного слоя составляет 19 мг/кг (таблица 4). С глубиной содержание фосфора резко убывает. При последствии одних только азотных удобрений содержание подвижного фосфора снижается относительно контроля на 21...30% в пахотном и подпахотном слоях. При последствии азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом содержание подвижного фосфора было выше варианта без применения удобрений в пахотном слое в 1,9...3,4 раза, в слое

почвы на глубине 20...40 в 1,2...2,3 раза и в слое почвы на глубине 40...60 также сохранилась закономерность повышения содержания фосфора в 1,3...2 раза.

В среднем за вегетацию пшеницы в контрольном варианте содержание подвижного фосфора составило – 27 мг/кг (таблица 5). При систематическом внесении фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора резко возрастает. В наших исследованиях данная закономерность прослеживается во все фазы развития пшеницы. При последствии азотно-фосфорных и органоминеральных удобрений содержание подвижного фосфора было статистически значимо выше контрольного варианта в фазе кущения в 1,7...2,8 раза, в фазе выхода в трубку в 1,6...2,7 раза, в фазе колошения в 1,7...2,9 раза и в фазе восковой спелости пшеницы в 1,5...2,7 раза. При последствии одних только азотных удобрений содержание подвижного фосфора было статистически значимо ниже по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазе кущения и выхода в трубку пшеницы на 21%, также прослеживается закономерность снижения содержания подвижного фосфора относительно контроля в фазе колошения на 19% и в фазе восковой спелости пшеницы на 22%.

Запасы калия в почвах Амурской области значительно больше, чем других элементов питания. Растения в основном используют водорастворимый и обменный калий. Черноземовидные почвы содержат повышенное количество обменного калия.

Осеннее содержание обменного калия в пахотном слое в контроле высокое и составляет 185 мг/кг (таблица 4). Вниз по профилю содержание обменного калия снижается. При последствии минеральных удобрений в дозе – N42P48 содержание обменного калия было ниже контроля на 2...6% на глубину исследуемого слоя. 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.

По данным Р.Н. Стёпкиной (2001), при внесении навоза на фоне минеральных удобрений содержание обменного калия возрастает. В наших исследованиях при последствии органо-минеральных удобрений содержание обменного калия было выше контроля на 11% только в пахотном слое, то есть данная закономерность подтверждается. Аналогичные данные были ранее получены в этом стационарном опыте Т.Е. Абросимовой (2003) и А.В. Науменко (2011).

В среднем за вегетацию пшеницы в контрольном варианте содержание обменного калия составляет – 178 мг/кг (таблица 5). В результате последствия органо-минеральных удобрений содержание обменного калия было выше варианта без внесения удобрений в фазе кущения пшеницы на 21%, в фазе выхода в трубку – на 14%, в фазе колошения – на 13% и в фазе восковой спелости – на 16%.

В вариантах со среднегодовой нагрузкой N24 и N24P30 содержание обменного калия не изменялось относительно контрольного варианта. Но в варианте с максимальной среднегодовой нагрузкой минеральных удобрений наблюдается устойчивая тенденция к снижению содержания обменного калия на 8% (средняя за вегетацию) относительно контрольного варианта, особенно в фазы активного потребления растениями питательных веществ (нарастание массы). Исследованиями В.Ф. Прокопчук (2001) установлено, что на 20...35-й год после закладки опыта применение азотно-фосфорных минеральных удобрений в среднегодовых дозах N24P30 и N42P48 снизило за вегетацию среднее содержание обменного калия по сравнению с контролем на 6...16 и 14...22 кг/га, соответственно дозам удобрений.

Выводы по разделу:

1. Длительное применение минеральных азотно-фосфорных удобрений увеличивает все виды почвенной кислотности в пахотном слое: актуальную и обменную до 0,05...0,15 единиц рН, гидролитическую до 0,40...0,55 мг-экв. В подпахотных слоях все виды кислотности несколько ниже, чем в варианте без применения удобрений. По органо-минеральной системе удобрений кислотность почвы снижается на глубину до 60 см.

2. На фоне длительного применения минеральных удобрений степень насыщенности основаниями в пахотном слое была ниже контроля на 1,4...1,8%, а при последствии органоминеральных удобрений выше на 1%. Все системы удобрений способствовали увеличению степени насыщенности основаниями в подпахотном слое (20...40 см) за счёт вымывания магния из слоя 0...20 см.

3. Содержание подвижного фосфора в черноземовидной почве в варианте без применения удобрений низкое (19 мг/кг), а на фоне длительного применения NP и NP+навоз выше контроля в 2...3 раза.

4. Содержание обменного калия в почве всех вариантов опыта высокое (185 мг/кг), но на фоне длительного применения средних доз минеральных NP удобрений ниже контроля на 6%. Изменения содержания подвижных форм фосфора и калия наблюдается на глубину исследуемого слоя.

3.2. Общая биологическая активность и биомасса микроорганизмов

Биологическая активность почвы рассматривается как свойство, производное совокупности абиотических, биотических и антропогенных факторов её формирования. Этот показатель играет важную роль в процессе становления или деградации почвенного плодородия. Применение таких агротехнических мероприятий, как смена культур в севообороте, внесение органических и минеральных удобрений вызывает изменение биологической активности почвы. В последнее десятилетие актуальность её исследований существенно возрастает.

Для достоверной оценки биологической активности достаточно определения набора наиболее информативных показателей, отражающих разные параметры биологического состояния. К их числу отнесены следующие: интенсивность выделения углекислого газа (дыхание почвы), биомасса микроорганизмов, целлюлозоразлагающая способность почвы, ферментативная активность, нитрификационная, аммонификационная и минерализационная способность почвы (Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С.14).

Общую биологическую активность почвы (актуальную, характеризующую почву в естественных природных условиях; потенциальную, характеризующую почву в специально созданных оптимальных условиях для изучения процесса) определяют различными микробиологическими, биохимическими, физиологическими и химическими методами. Наиболее распространены методы определения общей биологической активности по дыханию почвы и разложению целлюлозы. Общая биологическая активность является одной из важнейших агропочвенных характеристик, поскольку четко отражает изменения, происходящие в почве под воздействием культурных растений, различных обработок, внесенных удобрений, мелиорантов и других антропогенных факторов (Кузнецова И.В. Изменение свойств залежных серых лесных почв // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1142–1150; Муха В.Д. Практикум по агрономическому почвоведению. СПб.: Изд-во «Лань», 2013. 480 с.).

Определение интенсивности дыхания почвы служит характеристикой её потенциального плодородия, поскольку углекислый газ оказывает благоприятное влияние на её пищевой режим, являясь источником углеродного питания растений. Скорость эмиссии CO_2 почвой является интегральным показателем напряженности биологических процессов, суммируя активность бактерий, грибов, а также зоо- и фитокомпонентов. При этом, количества углекислоты, выделяемой корнями и микроорганизмами, приблизительно равны (Пошон Ж. Почвенная микробиология. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 560 с.; Iqbal Javed. CO_2 emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2009. Vol. 131, № 3-4. P. 292-302).

Изучение дыхания почвы актуально. Попытка оценить дыхание почв Российской Федерации не является полноценной, так как дыхание почв Дальнего Востока практически не изучено (Кудеяров В.Н. Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1112–1121).

В течение вегетационного периода интенсивность дыхания почвы колеблется. Максимум выделения 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 (Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. С. 49).

Согласно нашим исследованиям в 2012–2013 гг. эмиссия CO_2 в контрольном варианте без применения удобрений, в фазы кущения и выхода в трубку была выше, чем в фазы колошения и восковой спелости пшеницы, что связано с расходом доступного для минерализации субстрата и снижения выделения CO_2 корнями растений (рисунок 7, приложение Б).

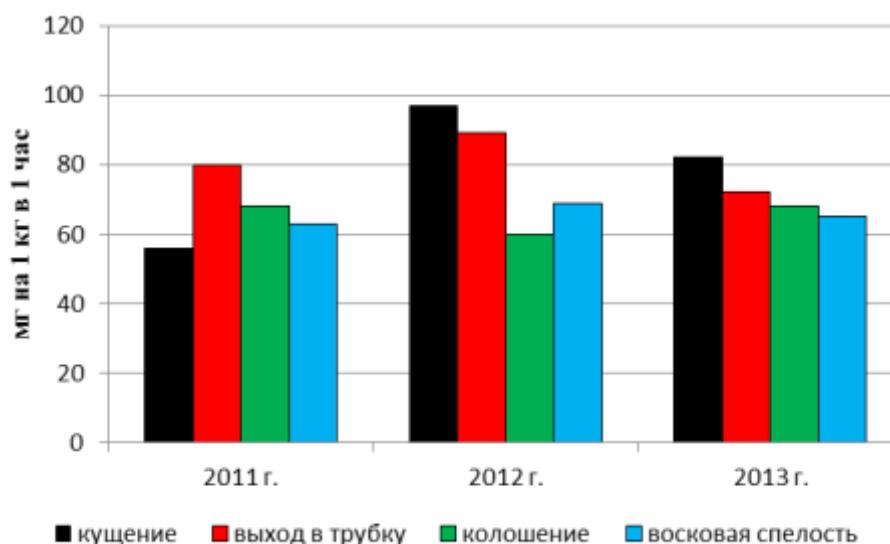


Рисунок 7 – Эмиссия CO_2 из черноземовидной почвы в контрольном варианте, в фазы развития пшеницы

В контрольном варианте наибольшая интенсивность дыхания черноземовидной почвы наблюдалась в условиях 2012 г. в фазе кущения пшеницы и составила 97 мг/кг, а наименьшая – в 2011 г. в аналогичной фазе – 56 мг/кг (Пилецкая

О.А. Оценка потенциальной биологической активности черноземовидной почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 9. С. 41-44). Большинство исследователей при определении эмиссии CO_2 в полевых условиях указывают на то, что дыхание почвы в течение года прямо или косвенно зависит от температуры и влажности почвы (Ларионова А.А. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO_2 . С. 68; Linn D.M. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. P. 1267–1272; Janzen H. H. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. P. 181-195; Weitz A.M. N_2O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. P. 1077-1093; Zhai Li-mei. Long-Term Application of Organic Manure and Mineral Fertilizer on N_2O and CO_2 Emissions in a Red Soil from Cultivated Maize-Wheat Rotation in China // Agricultural Sciences in China. 2010. Vol. 10, № 11. P. 1748-1757; Fernandes Cruvinel. Soil emissions of NO , N_2O and CO_2 from croplands in the savanna region of central Brazil. P. 29–40). Однако изменения, связанные с различной скоростью дыхания почвы в зависимости от погодных условий не носят универсального характера и применимы только в региональных масштабах. Связь между гидротермическим режимом почвы и эмиссией CO_2 осложняется не только влиянием температуры и влажности на её биологические свойства, но и на физические и физико-химические процессы транспорта и сорбции CO_2 в почвенном профиле. Исследования, например, пахотной серой лесной почвы в течение вегетационного периода показывают, что при увеличении влажности почвы выделение CO_2 возрастает из почвы, а также повышается пространственная неоднородность интенсивности дыхания (Ларионова А.А. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO_2 . С. 69). Связь между температурой, влажностью и интенсивностью выделения CO_2 из почвы должна обуславливать и различия интенсивности дыхания между почвенными типами. Однако обнаружены довольно низкие величины эмиссии CO_2 у арктических почв, а дыхание почв умеренного пояса не отличалось от интенсивности дыхания тропических почв (Singh J.S. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems // Botanical Review. 1977. Vol. 43, № 4. P. 449–528).

Эмиссия CO_2 зависит не только от гидротермических условий, но и от содержания и состава доступного в почве субстрата. В наших исследованиях эмиссия CO_2 определялась в лабораторных условиях с контролируемыми параметрами температуры и влажности, поэтому влияние погодных условий устранено. Не наблюдается зависимости и от поступления разлагающейся массы корневых и пожнивных остатков в почву от предшественника, так как урожайность сои (четвертое поле севооборота) в 2010-2012 гг. в контрольном варианте опыта была на одном уровне – 23,4...24,6 ц/га (по данным ГНУ ВНИИ сои). Причем в 2012 г. на фоне снижения урожайности пшеницы биомасса микроорганизмов была минимальной (см. рисунок 10).

В среднем за три года исследований наиболее высокая эмиссия CO_2 наблюдалась в фазе кущения пшеницы, в контрольном варианте показатель составил 78 мг/кг, при последствии минеральных удобрений проявилась тенденция к повышению эмиссии CO_2 на 13...17% (таблица 6).

Таблица 6 – Эмиссия CO_2 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 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 контроль-

ного варианта (на 23%). Подобная реакция снижения скорости эмиссии CO₂ на применение только минеральных удобрений была получена Н.Е. Завьяловой (2008) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве.

При замене части минеральных удобрений эквивалентным количеством органических эмиссия CO₂ во все сроки наблюдений находилась на уровне контроля.

За вегетационный период пшеницы средневзвешенная величина эмиссии CO₂ за 2011-2013 г. исследований, при последствии азотно-фосфорных удобрений была несколько выше контроля (на 4...7%) (приложение Б).

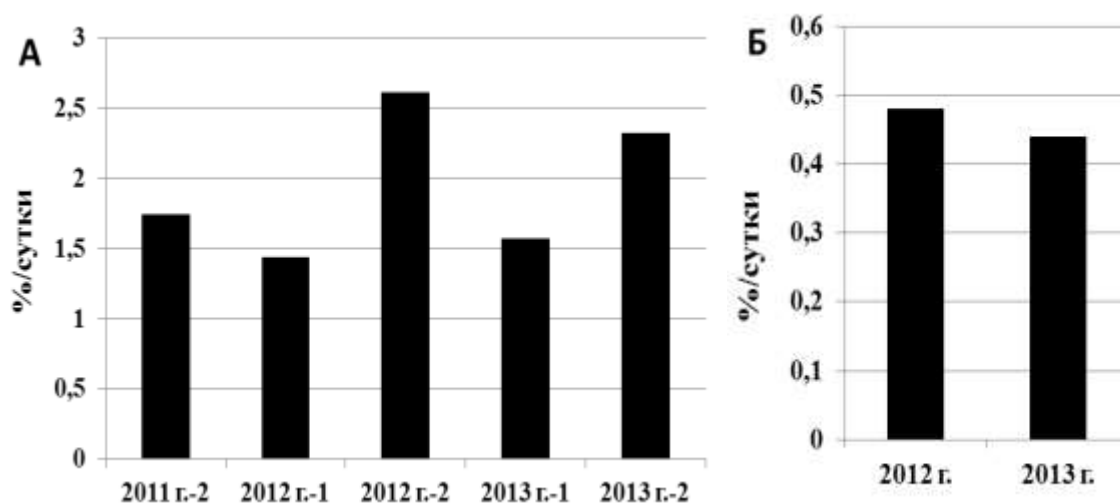
Целлюлозоразлагающая способность почвы служит характеристикой актуальной биологической активности, так как характеризует реальную активность почвы в естественных (полевых) условиях (Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С. 15). Целлюлозоразлагающая способность почвы является отражением деструкционных и минерализационных процессов, осуществление которых детерминруется не только гидротермическими условиями, но и определенным уровнем и соотношением активности ферментов (Огородникова С.Ю. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский». С. 25; Безкорова И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи. С. 241).

В течение всего периода вегетации пшеницы (2011–2013 гг.) была изучена степень разложения бязевой ткани и соломы в черноземовидной почве.

Целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы во все годы наблюдений была низкой из-за низкой 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 (Пилецкая О.А. Биологическая активность черноземовидной почвы при длительном применении удобрений // Дальневосточный аграрный вестник. 2014. Вып. 2 (30). С. 33-37).

Целлюлозоразлагающая способность почвы, определённая в ранние фазы развития пшеницы (2012 и 2013 гг.), в контрольном варианте изменилась незначительно. К середине вегетации пшеницы скорость минерализационных процессов в почве возросла при повышении суточных температур, следовательно, возросла 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).

Наиболее существенные изменения целлюлозоразлагающей способности почвы в наших исследованиях выявлены при определении показателя в середине вегетации пшеницы (второй срок закладки ткани в почву) (рисунок 8), поэтому целесообразно проанализировать сумму температур и количества осадков за второй период экспозиции ткани в почве (рисунок 9).



А – скорость разложения ткани (1 – июнь-июль, 2 – июль-август), Б – скорость разложения соломы)

Рисунок 8– Целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы

В 2012 г. в контрольном варианте наблюдалась наибольшая целлюлозоразлагающая способность почвы – 2,61%/сутки, а в 2011 была ниже и составила 1,74%/сутки (рисунок 8). По нашему мнению, такое различие связано с низким запасом и поступлением влаги (157 мм) в почву и меньшим количеством активных температур (565 °С) в исследуемый период (рисунок 9). Аналогичные данные по снижению целлюлазной активности чернозёма выщелоченного при пониженной влажности почвы были получены М.В. Самойленко (2012).

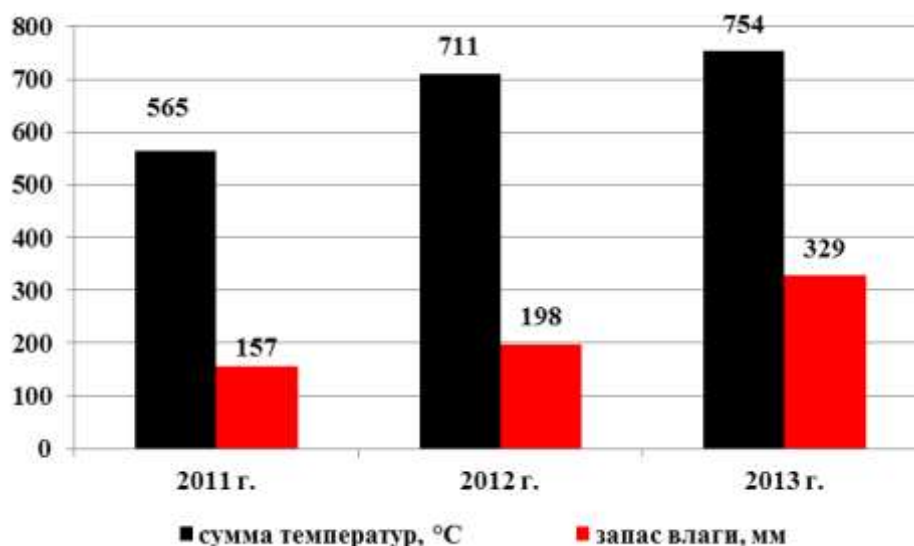


Рисунок 9 – Запасы влаги в слое почвы на глубине 0...20 см (запас на начало экспозиции ткани + осадки) и сумма активных температур за период экспозиции в почве во второй срок закладки

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 (таблица 7).

Таблица 7 – 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_{теор.} = 3,84 (2011-2013 гг.), F_{теор.} = 5,32 (2011-2012 гг.).

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 7). Исследова-

ниями Fan Fenliang установлено, что долгосрочное применение минеральных удобрений на краснозёмах увеличивает органический С в почве и урожайность сельскохозяйственных культур, но снижает целлюлозоразлагающую способность и эмиссию CO₂ (Fan Fenliang. Mineral fertilizer alters cellulolytic community structure and suppresses soil cellobiohydrolase activity in a long-term fertilization // Soil Biology and Biochemistry. 2012. Vol. 55. P. 70-77).

При определении целлюлозоразлагающей способности почвы методом запашки 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. исследований скорость разложения соломы составила 0,46 %/сутки (таблица 7). Значительных изменений в скорости разложения соломы по годам исследований и при различных системах удобрения не наблюдалось (рисунок 8). Следовательно определение целлюлозоразлагающей способности методом аппликаций бязевой ткани можно считать более информативным.

Видовое разнообразие почвенной микробной биоты составляет несколько тысяч видов. Несмотря на мизерный вес ($7-9 \times 10^{-14}$ г) общая биомасса их может достигать в целинных почвах 300...500 кг/га, а в окультуренных 2...5 т/га (Вальков В.Ф. Экология почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2004. 54 с.). На показателях биомассы строятся все расчеты характера и интенсивности биологического круговорота. Определение биомассы необходимо при изучении биологической продуктивности, а также прогнозировании результатов хозяйственной деятельности человека (Биомасса микроорганизмов в почве [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog>).

Долгосрочное последствие органических и неорганических удобрений на физико-химические свойства почвы исследовано многими специалистами по проблеме, но их конкретное действие на биомассу микроорганизмов в почвах, в постоянно меняющихся условиях окружающей среды, изучено не до конца (Buckley D.H. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation // Mi-

icrobial Ecology. 2001. Vol. 42. P. 11–21). Микробные сообщества играют важнейшую роль в регулировании процессов, таких как разложение органических веществ и круговорот питательных элементов. Изучение микробной биомассы в почвах долгосрочных опытов помогает лучше понять влияние удобрений на качество почвы (Patra A.K. Effect of grazing on microbial functional groups involved in soil N dynamics // Ecol. Monographs. 2005. Vol. 75. P. 65–80; Gua Yunfu. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping // European Journal of Soil Biology. 2009. Vol. 45, № 3. P. 239–246).

Определение содержания углерода микробной биомассы черноземовидной почвы в стационарном опыте ФГБНУ ВНИИ сои в 2006–2008 гг. проводил А.В. Науменко. В почве контрольного варианта, отобранной в осенний период, содержание углерода микробной биомассы составило 824 мг/кг, увеличение этого показателя отмечено на фоне одних только азотных и повышенных доз минеральных азотно-фосфорных удобрений. При отборе почвы в весенний период содержание углерода микробной биомассы в контроле составило – 760 мг/кг, но на фоне минеральных и органоминеральных удобрений оно также было выше. При этом авторы определяли биомассу в год внесения удобрений (Науменко А.В. Свойства почвы и урожайность культур в зависимости от системы удобрений и известкования. С. 52).

В наших исследованиях содержание углерода микробной биомассы черноземовидной почвы в контроле по годам исследований изменялось существенно. В 2013 г. оно достигло наибольшего значения – 932 мкг/г, а наименьшее отмечено в 2012 г. – 330 мкг/г (рисунок 10). Это может быть связано с исходным содержанием водорастворимого углерода. Так как углерод микробной биомассы определяется как разность между количеством углерода в вытяжке после высушивания почвы и в свежем образце, то в 2012 г. из исходной почвы извлекалось в несколько раз больше водорастворимого углерода, чем в 2011 и 2013 гг. Временные закладки стационарного опыта отличаются по содержанию гумуса: во второй закладке наблюдалось более высокое содержание гумуса, чем в первой и третьей (в

2012 г. – 4,37% в контроле), что привело к увеличению содержания и водорастворимых форм углерода.

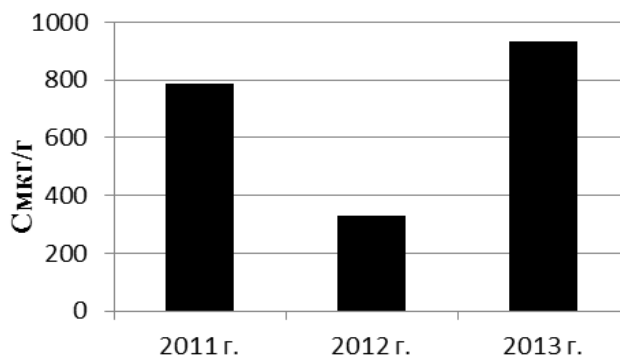


Рисунок 10 – Содержание углерода микробной биомассы черноземовидной почвы в фазе колошения пшеницы

В среднем за три года исследований содержание углерода микробной биомассы черноземовидной почвы контрольного варианта 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%). Очевидно, это связано с поступлением большего количества пожнивных и корневых остатков от предшествующей культуры севооборота (сои) и корневого опада в процессе вегетации пшеницы. В варианте с последствием органоминеральной системы удобрений зафиксирована тенденция снижения содержания углерода микробной биомассы на 3,9% (таблица 8).

Таблица 8 – 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
НСР ₀₅ равен		102
F _{факт.}		1,20
F _{теор.}		3,84

Выводы по разделу:

1. Эмиссия CO_2 в ранние фазы развития пшеницы выше, чем в более поздние сроки, целлюлозоразлагающая способность почвы выше в срок определения с июля по август.

2. При последствии одних только азотных удобрений эмиссия CO_2 была ниже контроля в фазы выхода в трубку и восковой спелости пшеницы на 16...23%.

3. При последствии азотно-фосфорных удобрений проявилась тенденция к повышению эмиссии CO_2 по отношению к контролю в фазе кущения пшеницы и к снижению – в фазе выхода в трубку. Целлюлозоразлагающая способность почвы с июля по август статистически значимо была ниже контрольного варианта на 12%. Содержание углерода микробной биомассы проявило тенденцию к повышению относительно контроля.

4. При последствии азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом целлюлозоразлагающая способность черноземовидной почвы в более поздние сроки развития пшеницы была ниже на 11%, углерод микробной биомассы – на 4% относительно контрольного варианта.

5. Для выявления действия различных систем удобрения на биологическую активность почвы наиболее информативно в диагностических целях определять целлюлозоразлагающую способность методом аппликаций со второй декады июля по вторую декаду августа и эмиссию CO_2 в третьей декаде июля или первой декаде августа.

3.3 Трансформация азотсодержащих соединений в почве

Микроорганизмам принадлежит главная роль в круговороте азота (азотфиксация, аммонификация, нитрификация, иммобилизация азота, денитрификация), изучение которого имеет важное значение при определении биологической активности почвы (Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ

«Росинформагротех», 2003. 240 с.; Огородникова С.Ю. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский». С. 24). Биологический смысл такого круговорота состоит в том, что в ходе циклических превращений азота в биосфере непрерывно образуются и с разной длительностью присутствуют его разнообразные по составу соединения, позволяющие всем живым существам получать азот в предпочтительной для них форме (Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. С. 18).

Особенности круговорота азота в Амурской области обуславливают холодная малоснежная зима, способствующая глубокому промерзанию почвы и холодная, засушливая затяжная весна, замедляющая оттаивание почвы, в результате чего жизнедеятельность почвенных микроорганизмов сдерживается. Благоприятные условия для аммонификации и нитрификации складываются только во второй половине вегетационного периода, но ненадолго. Этот отрезок теплого времени, как правило, характеризуется муссонными осадками, что приводит к переувлажнению почвы и подавлению нитрификации, в то же время усиливается денитрификация со свойственными ей потерями азота в виде газообразных оксидов. Избыточное количество осадков и образование гравитационного тока влаги по профилю почвы, приводят к вымыванию азота из пахотного слоя, а в случае подстилания его легкими почвообразующими породами – и за пределы почвенного профиля.

В связи с подавлением нитрификации и потерей нитратного азота с фильтрующими водами и стоками в период наибольшей потребности растений в азоте, они вегетируют в условиях недостаточной обеспеченности этим элементом. Свидетельство этому высокая эффективность азота минеральных удобрений в посевах небобовых культур. В таких условиях важно оценить не только действие, но и последствие различных систем удобрений на биологическую активность почвы для определения эффективности вносимых удобрений (Голов Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. С. 33).

Нитрификация – биологический процесс окисления аммония узкоспециализированными хемолитоавтотрофными бактериями в нитриты и затем в нитраты, а в случае гетеротрофных микроорганизмов – и разнообразные другие органиче-

ские азотсодержащие соединения. Деятельность нитрифицирующих микроорганизмов является главным источником нитратов в почве и биосфере. Исключение составляют несколько химических реакций образования нитратов из оксидов азота в атмосфере, не играющих заметной роли в природе.

Микробная трансформация азотсодержащих соединений в нитраты прямо влияет на интенсивность других процессов цикла азота. С одной стороны, повышенные концентрации нитратов в почвах усиливают денитрификацию и минерализацию органических веществ, а с другой – снижают поступление азота в почву за счет азотфиксации и эффективность его микробной иммобилизации (Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. С. 67).

Аммоний является более предпочтительной формой азота для питания растений, поскольку нитраты необходимо восстанавливать в аммоний, что требует дополнительных затрат энергии. Однако это преимущество аммония часто не является определяющим для растений, так как интенсивность ассимиляции аммония или нитратов зависит ещё от свойств почвы (рН, содержания катионов, соотношения аммония и нитратов), фазы развития и особенностей биологии конкретных видов растений (Миненко А.К. Агрономические функции микробоценозов дерново-подзолистых почв // АгроЭкоИнфо. 2008. № 2).

В 2011 –2013 гг. была изучена нитрификационная способность черноземовидной почвы в течение периода вегетации пшеницы (рисунок 11, приложение В). 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, увеличением содержания легкоразлагающегося органического вещества. В условиях Амурской области полное созревание пшеницы происходит в начале августа, и уборка проводится прямым комбайнированием в середине августа.

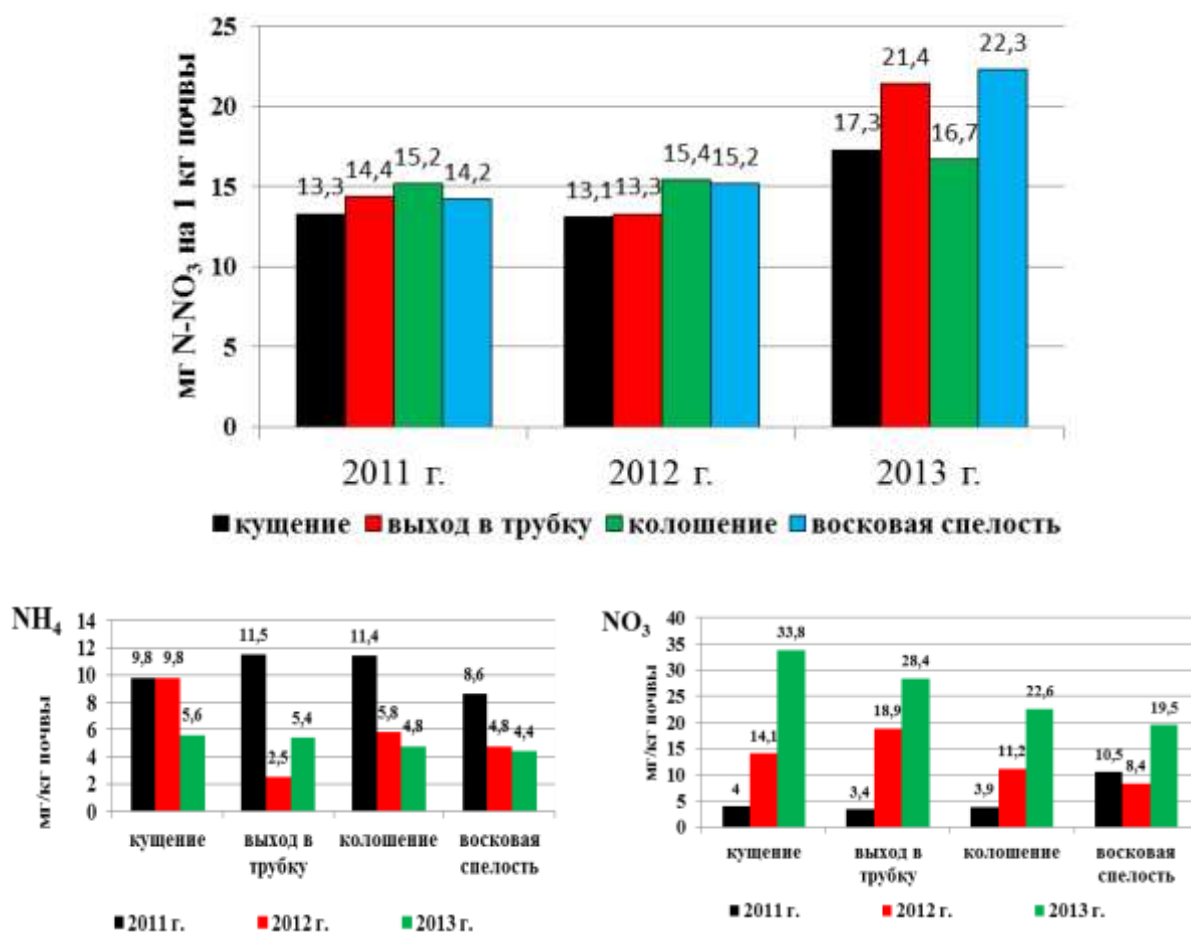


Рисунок 11 – Нитрификационная способность черноземовидной почвы, содержание аммонийного и нитратного азота в фазы развития пшеницы

В 2013 г. в исследуемые фазы развития пшеницы нитрификационная способность почвы в контрольном варианте, так же, как и содержание углерода микробной биомассы, была выше, чем в 2011 и 2012 гг. В контрольном варианте наибольшая нитрификационная способность почвы наблюдалась в 2013 г. в фазе восковой спелости пшеницы и составила 22,3 мг/кг, при этом содержание нитратного азота в данную фазу также было выше, чем в 2011 и 2012 гг. (19,5 мг/кг). Наименьшая нитрификационная способность почвы отмечена в фазы кущения и выхода в трубку пшеницы в 2011 и 2012 гг. – 13,1...14,4 мг/кг. Исходное содержание нитратного азота в почве в данные фазы в 2011 г. было ниже в 8 раз, а в 2012 г. в 2 раза, по сравнению с 2013 г. (рисунок 11).

В среднем за три года исследований в почве контрольного варианта минимальное значение нитрификационной способности почвы зафиксировано в фазе

кущения пшеницы – 14,6 мг, максимальное – в фазе восковой спелости пшеницы (17,2 мг), (таблица 9).

Таблица 9 – 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					

При применении 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 применении азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом нитрификационная способность статистически значимо возросла над контролем – на 10...18% в фазы кущения и выхода в трубку пшеницы, в фазе колошения она увеличилась незначительно – на 10...17%. 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 над контролем на 12%. Подобная реакция увеличения нитрификационной способности дерново-подзолистой почвы при применении минеральных и органоминеральных удобрений была получена Е.Н. Мишустиним и Н.Е. Завьяловой (Муромцев Г. С. Агрономическая микробиология. С. 193; Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. С. 33).

Процесс минерализации азотсодержащих органических соединений с выделением аммиака называется аммонификация. Процесс аммонификации осуществ-

ляется многими микроорганизмами в широком диапазоне условий, за исключением мест с очень жарким и сухим климатом. Аммонификация осуществляется аэробными и анаэробными микроорганизмами (бактерии, актиномицеты, плесневые грибы) (Бабьева И.П. Биология почв. С. 136; Минеев В.Г. Агрохимия. С. 211).

В 2011–2013 гг. была изучена аммонификационная способность черноземовидной почвы в фазе колошения пшеницы (рисунок 12).

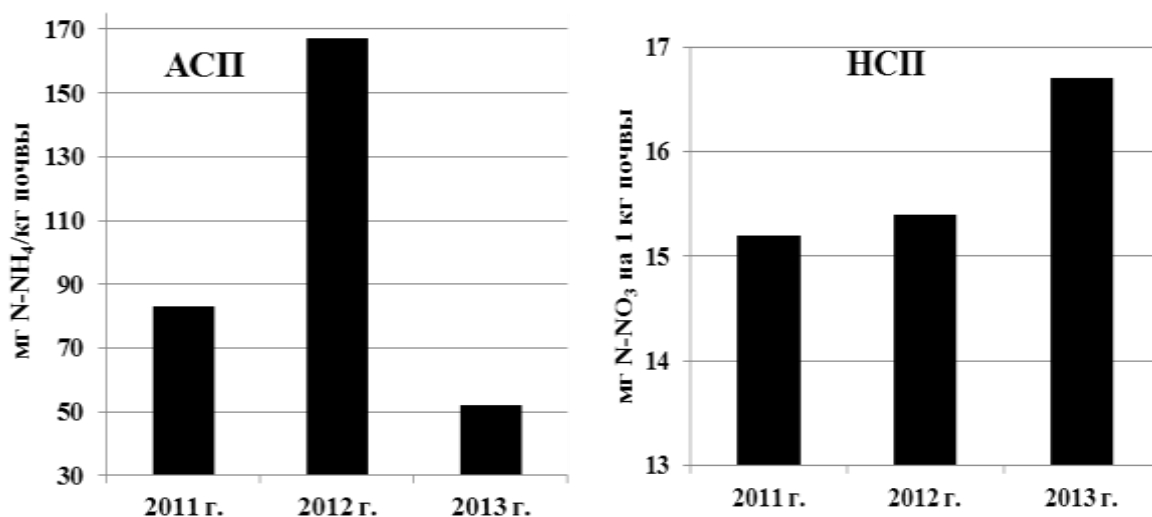


Рисунок 12 – Аммонификационная и нитрификационная способность почвы в фазе колошения пшеницы (вариант без применения удобрений)

Аммонификационная способность почвы в отличие от нитрификационной способности изучалась с внесением в почву субстрата. В качестве субстрата использовалась соевая мука. Самая высокая аммонификационная способность черноземовидной почвы наблюдалась в контрольном варианте в 2012 г. и составила 167 мг/кг, что в 2...3 раза выше, чем в 2011 и 2013 гг. Самая низкая аммонификационная способность почвы была в 2013 г., причем, тогда же отмечено и самое низкое содержание аммонийного азота в почве в фазу колошения пшеницы – 4,8 мг. То есть даже на фоне естественных гидротермических и пищевых условий аммонификационная способность была в 2013 году ниже.

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, так как она не зависит от уровня удобренности почвы, а характеризует только пул микроорганизмов (таблица 10).

Аммонификационная способность почвы не может являться критерием оценки количества продуцируемого азота, доступного для растений. 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 В.Н. Определение азот-минерализующей способности почв для экологически оптимального использования азотных удобрений. С. 271).

Таблица 10 – Аммонификационная и минерализационная способность черноземовидной почвы в фазу 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		2,48	2,24
F _{факт.}		0,61	5,84
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84			

Минерализационная способность черноземовидной почвы нами также была определена в фазе колошения пшеницы (рисунок 13).

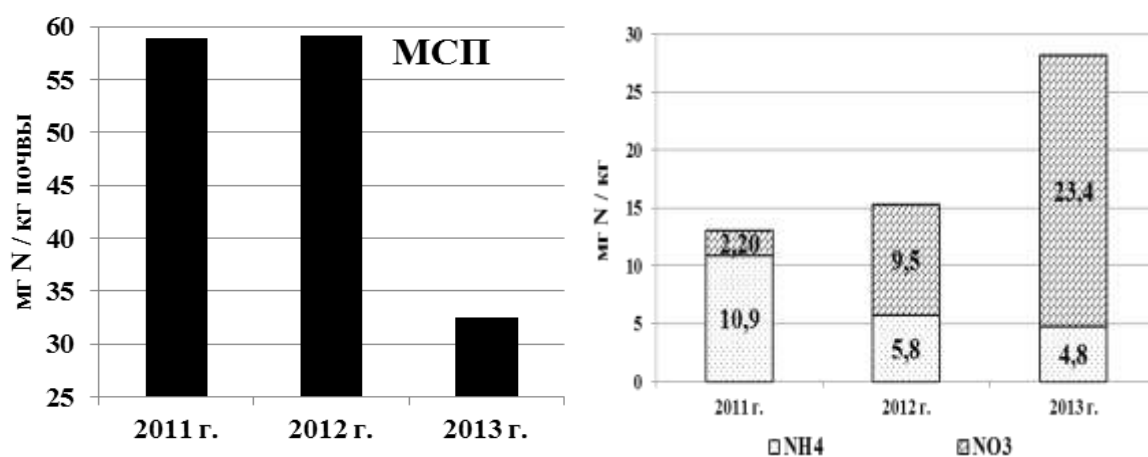


Рисунок 13 – Минерализационная способность черноземовидной почвы и исходное содержание аммонийного и нитратного азота в фазе колошения пшеницы

В 2011 и 2012 гг., с низким исходным содержанием минеральных форм азота в почве за две недели компостирования образцов в оптимальных условиях минерализационная способность составила 58,9 и 59,2 мг N на 1 кг почвы, в то время как в 2013 году при исходном содержании минерального азота – 28,2 мг, образовалось всего 32,5 мг N на 1 кг почвы.

В среднем за три года исследований в фазе колошения пшеницы в контрольном варианте минерализационная способность почвы составила 50,2 мг/кг (таблица 10). 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%.

Таким образом, результаты определения минерализационной способности почвы сопоставимы с результатами определения нитрификационной способности, хотя при определении минерализационной способности почвенные образцы компостировали две недели, а нитрификационной способности – 1 неделя. Аммонификационная способность почвы даёт сильно завышенные результаты из-за внесения в почву субстрата, поэтому не может быть использована для прогнозирования обеспечения растений доступными формами азота.

Выводы по разделу:

1. Нитрификационная способность черноземовидной почвы в конце вегетации пшеницы выше, чем в начале.
2. Последствие одних только азотных удобрений способствует увеличению нитрификационной, аммонификационной и минерализационной способности почвы относительно контроля.
3. Внесение минеральных азотно-фосфорных и органоминеральных удобрений под предшествующую культуру способствовало увеличению аммонификационной и минерализационной способности почвы, а нитрификационная способ-

ность была статистически значимо выше на 10...18%, чем в почве без применения удобрений.

4. В диагностических целях для оценки трансформации азота в почве при последствии удобрений наиболее информативно определять минерализационную способность, так как она учитывает суммарное продуцирование минерального азота.

3.4. Ферментативная активность

Одним из основных биотических факторов, влияющих на плодородие почвы, является жизнедеятельность почвенной микрофлоры, а также производные микробиологической деятельности, такие как ферментативная активность (Зайцева О.В. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активности почвенной микрофлоры Самарской области // Вестник СамГУ. 2006. № 9. С. 138-144). Существует тесная взаимосвязь между ферментативной активностью почвы, плодородием и доступностью элементов питания растениям (Jia J.W. Study on the relationship between the soil physical–chemical properties and soil enzymatic activities of plastic greenhouse // Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition). 2001. Vol. 32, № 4. P. 427–432; Liu J.X. Correlative research on the activity of enzyme and soil nutrient in the different types of farmland // Chinese Journal of Applied Ecology. 2004. Vol. 35, № 4. P. 20–23; Qiu L.P. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility // Plant Nutrition and Fertilizer Science. 2004. Vol. 10, № 3. P. 277–280). Почвенные ферменты определяются, прежде всего, содержанием почвенных грибов, бактерий, корней растений, микробных клеток, растительных и животных остатков и играют важную роль в обеспечении биохимических преобразований в почве (Cao H. A review: soil enzyme activity and its indication for soil quality. P. 105–109; Ebhin Mastro R. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. P. 1578). Ферменты отличаются исключительно высокой активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от условий внешней

среды (Ландина М.М. Физические свойства и биологическая активность почв. Новосибирск: Наука, 1986. 144 с.). Биохимические показатели почвенного плодородия наиболее чувствительны к изменению агроэкологических условий, являются относительно легко определяемыми и достаточно объективно отражают интенсивность и направленность происходящих в почве процессов (Девятова Т.А. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений. С. 12; Dick R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality // Soil Science Society of America, Special Publication, 1994. Vol. 35. pp. 107–124; Bandick A.K. Field management effects on soil enzyme activities // Soil Biology and Biochemistry. 1999. Vol. 31. P. 1471–1479). Исследованиями различных авторов установлено, что активность почвенных ферментов может служить дополнительным диагностическим показателем почвенного плодородия и его изменений в результате антропогенного воздействия (Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С. 23; Вальков В.Ф. Почвоведение. М.: Издательство Юрайт, 2013. 527 с.). Однако несмотря на обилие информации, результаты, полученные разными исследователями, часто противоречат друг другу в отношении влияния различных методов ведения сельского хозяйства на ферментативную активность почвы (Gil-Sotres F. Different approaches to evaluate soil quality using biochemical properties P. 877–887; García-Ruiz, Roberto. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. P. 2137-2145).

Одни авторов отмечают, что использование органических удобрений повышает биохимическую активность почвы из-за поступления органических материалов и микроорганизмов, тогда как другие утверждают, что активность снижается, особенно при использовании навоза низкого качества (Schipper L.A. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses // Soil Science Society of America Journal. 2000. Vol. 64. P. 300–311; Trasar-Cepeda, C. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. P. 2147). Что касается неорганических удобрений, часто считается, что присутствие легкодоступных неорганических питательных веществ

ингибирует синтез ферментов в почве (Olander L.P. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability // *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 49. P. 175–190). Некоторые авторы придерживаются точки зрения, что присутствие вышеуказанных неорганических удобрений может повысить биохимическую активность почвы и стимулировать рост растений и секрецию ферментов корнями (Lynch J.M. Cultivation and the soil biomass // *Soil Biology and Biochemistry*. 1980. Vol. 12. P. 29–33).

Существуют различные объяснения отсутствия стандартной модели для биохимической активности почвы, в частности ферментативной. Возможно, это обусловлено отсутствием стандартов для определения биохимических свойств почвы, что подразумевает отсутствие стабильных результатов из-за методологических различий. Другая причина противоречивых результатов может быть в небольшом количестве почвы, которая обычно анализируется в каждом исследовании. Биохимические свойства обычно проявляют высокую степень как пространственной, так и временной изменчивости и, следовательно, большое количество образцов может быть необходимо для преодоления статистической неопределенности, а это не всегда возможно (Trasar-Cepeda C. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. P. 2147).

Другое объяснение различий биохимических показателей – это небольшое количество определяемых ферментов, которые обычно анализируются. Не редкость найти исследования, где измеряется активность только одного фермента. Хотя поведение одного фермента не обязательно отражает поведения других, так как ферменты связаны с различными циклами и не всегда реагируют одинаково (Trasar-Cepeda C. Thermodynamic parameters of enzymes in grassland soils of Galicia, NW Spain // *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 311–319). Существует также проблема, связанная с отсутствием согласия в том, какой вид почвы представляет максимальное качество и, следовательно, может быть использован в качестве эталона для сравнения с пострадавшими от использования почвами (Trasar-Cepeda C. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. P. 2147). Предложено два вида оценки

качества почвы: сравнение с максимальной ферментативной активностью естественных почв, не пострадавших от любого типа вмешательства человека, и с максимальной ферментативной активностью высокопродуктивных почв, на которые в наименьшей степени оказывается антропогенное воздействие (Там же).

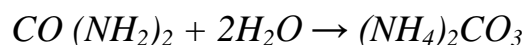
Для выявления влияния различных гидротермических условий и систем удобрений на биохимическую активность черноземовидной почвы по фазам развития пшеницы за 2011–2013 гг. нами была изучена активность почвенных ферментов, относящихся к двум группам: гидролитической (уреаза, фосфатаза) и окислительно-восстановительной (каталаза, пероксидаза и полифенолоксидаза).

Гидролазы представляют обширный класс ферментов, осуществляющих реакцию гидролиза разнообразных сложных органических соединений, действуя на различные связи: сложноэфирные, глюкозидные, амидные, пептидные и другие. Гидролазы широко распространены в почвах и играют важную роль в обогащении их подвижными и доступными для растений и микроорганизмов питательными веществами, разрушая высокомолекулярные органические соединения. К этому классу относятся ферменты инвертаза, уреаза, фосфатаза, протеаза, целлюлаза и другие, активность которых является важнейшим показателем биологической активности почв и оценки антропогенного воздействия. Гидролазы являются ферментами наиболее изученными в почве. Для определения их активности предложены различные методы.

Разложение органических азотистых соединений в основном осуществляется при непосредственном участии внеклеточных ферментов. К ферментам, участвующим в превращении белковых веществ, относится уреаза. Образовавшийся в результате уреазной реакции аммиак служит источником питания растений. Активность уреазы – один из важнейших показателей биологической активности почв.

В природе широко распространены такие азотсодержащие соединения, как мочевина, мочева и гиппуровая кислоты. Под влиянием гидролитических ферментов, выделяемых микроорганизмами, эти соединения распадаются. Представители различных групп микроорганизмов (бактерии, актиномицеты, грибы) об-

ладают уреазой – ферментом, катализирующим гидролиз мочевины с образованием аммиака и углекислого газа:



Углекислый аммоний – соль малоустойчивая. Она разрушается с выделением аммиака:



Этот процесс играет важную роль в круговороте азота, поскольку запасы мочевины в почве значительны.

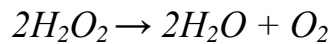
Фермент обладает строгой специфичностью действия: расщепляет только мочевины и не действует на производные. Оптимум pH экстракции уреазы близок к 7,0, но может смещаться в зависимости от концентрации мочевины, от природы и концентрации применяемых буферов. В почве уреазы может действовать в сравнительно широком диапазоне pH (Глазовская М. А. Геохимические функции микроорганизмов. М.: Изд-во МГУ, 1984 г. 152 с.).

К ферментам, катализирующим гидролиз разнообразных фосфорорганических соединений по фосфоэфирным связям, относится фермент фосфатаза. Он гидролизует моноэфиры фосфорной кислоты и характеризует активность биохимических процессов мобилизации органического фосфора в почве (Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. С. 170).

Ферменты, относящиеся к классу оксидоредуктаз, катализируют окислительно-восстановительные реакции, играющие ведущую роль в биохимических процессах в клетках живых организмов, а также в почве. Окислительно-восстановительные реакции являются основным звеном в процессе синтеза гумусовых веществ в почве. Наиболее распространены в почвах такие оксидоредуктазы, как каталазы, дегидрогеназы, пероксидазы, полифенолоксидазы и другие, активность которых является важным показателем биологической активности почв, а также генезиса почв.

Фермент каталаза разлагает ядовитую для клеток перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов и в результате различных био-

химических реакций окисления органических веществ, на воду и молекулярный кислород:



Каталазная активность характерна для всех живых организмов, в том числе и микроорганизмов. Каталаза широко распространена также в почвах (Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. С. 28). Молекула каталазы имеет каталитически активную четвертичную структуру и в результате даже при незначительных изменениях во внешней среде легко диссоциирует с полной потерей активности. Активность каталазы в почве в большей степени зависит от воздушного режима, гранулометрического состава почв, окислительно-восстановительного потенциала (Федорец Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.).

Фермент пероксидаза катализирует окисление органических веществ в почве (фенолов, аминов) за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей, образующихся в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и играет важную роль в образовании гумуса. Фермент полифенолоксидаза участвует в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса. Катализирует окисление фенолов до хинонов в присутствии кислорода воздуха, а хиноны в свою очередь образуют первичные молекулы гуминовой кислоты (Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. С. 37, 41).

На биологическую активность почвы и её производную ферментативную активность большое влияние оказывают гидротермические условия (Yang Lijuan. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field. P. 21). В наших исследованиях при изучении динамики ферментативной активности почвы по фазам развития пшеницы наиболее информативная фаза – выход в трубку, поэтому целесообразно проанализировать влияние погодных условий на активность ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз именно в эту фазу.

Влажность почв весной и в первой половине лета на Зейско-Буреинской равнине обусловлена количеством осенних осадков в предшествующем году, 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) (рисунок 14).

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. усугублялись низким количеством осадков весной и в июне, поэтому условия произрастания пшеницы до фазы выхода в трубку в этом году можно отнести к засушливым.

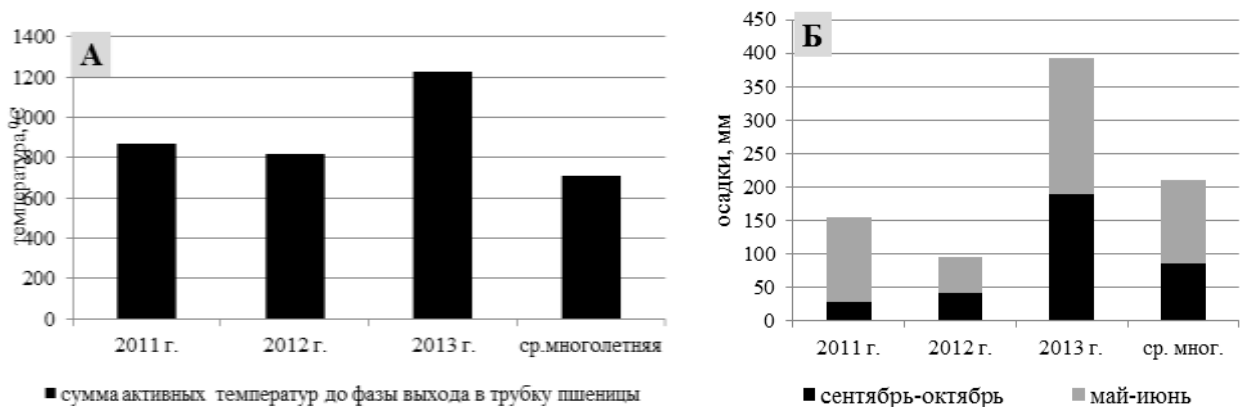


Рисунок 14 – Сумма активных температур до фазы выхода в трубку пшеницы (А) и осадков за осенний период предшествующего года и весенне-раннелетний период года вегетации пшеницы (Б)

В вегетационный период 2011 г. низкое 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. Условия вегетации в 2013 г. относятся к избыточно увлажненным: количество осадков предшествующей осенью и зимой превысило норму в 2,2 раза (290 мм), весной и в июне – в 1,6 раза. 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 Е.Г. Изменение плодородия почв при интенсивном земледелии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 56 с.). В годы исследований сумма температур от протаивания пахотного слоя до наступления фазы выхода 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 ферментатив-

ной активности почв от погодных условий проведен корреляционный анализ (таблица 11).

Таблица 11 – Корреляционная зависимость активности ферментов от погодных условий ($n=9$, $r_{\text{крит}}=0,670$)

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 результате установлена положительная связь ферментов каталаза и полифенолоксидаза из класса оксидоредуктаз с погодными условиями, причем фермент каталаза имеет сильную корреляционную связь с суммой активных температур и суммой осадков за сентябрь–октябрь + май–июнь. Ферменты класса гидролаз (уреаза и фосфатаза) проявили отрицательную зависимость от погодных условий.

Статистически значимая сильная обратная связь наблюдалась только у фермента уреазы с суммой осадков за май–июнь. Корреляционная зависимость фермента пероксидазы от погодных условий не выявлена.

В фазе выхода в трубку пшеницы наблюдалась высокая активность фосфатазы во все годы исследования, а наибольшего значения достигла в оптимальный по погодным условиям 2011 г. и составила 3,02 мг (рисунок 15). Активность уреазы в 2012 г. была выше, чем в 2011 и 2013 гг., что связано с более низким количеством осадков в мае-июне 2012 г. (рисунок 15). В почве контрольного варианта активность уреазы составила 0,449 мг. Засушливые условия 2012 г. оказали влияние и на активность пероксидазы, которая так же, как и активность уреазы, была выше, чем в другие годы исследований – 186 мг (рисунок 16).

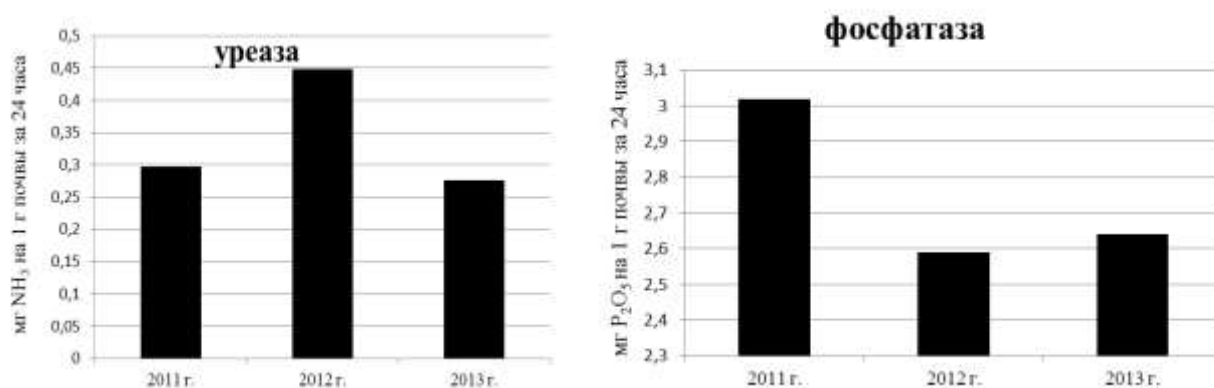


Рисунок 15 – Активность ферментов класса гидролаз в фазе выход в трубку пшеницы

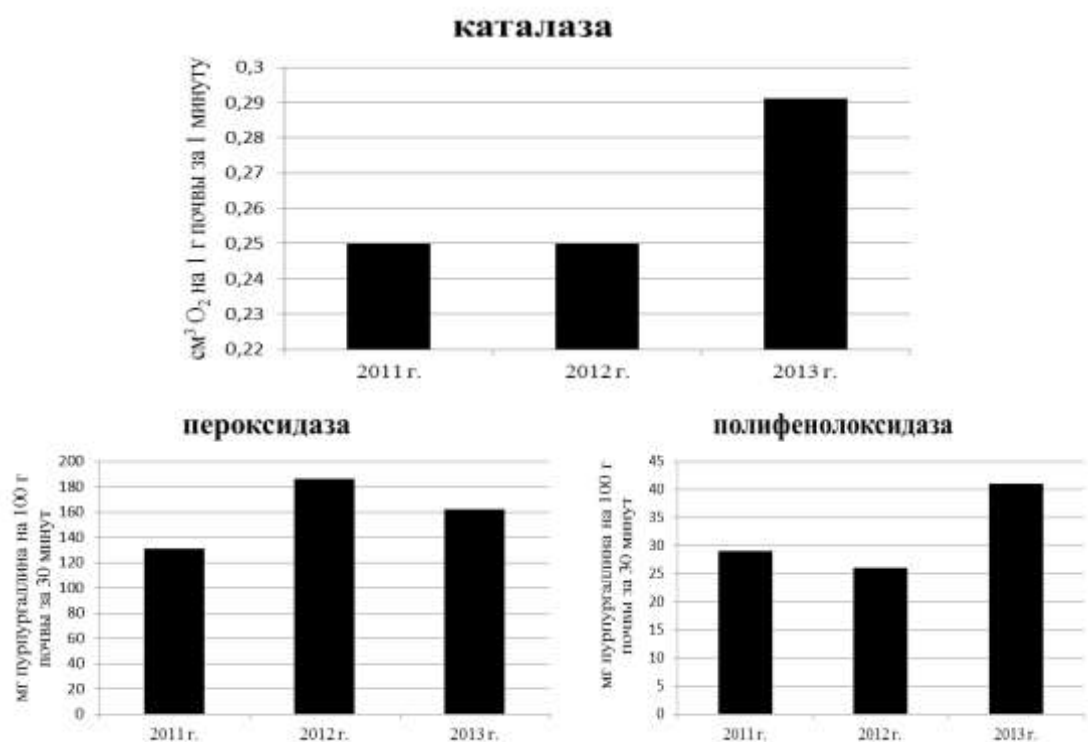


Рисунок 16 – Активность ферментов класса оксидоредуктаз в фазе выхода в трубку пшеницы

В 2013 г. более высокая активность каталазы (0,291 см³) и полифенолоксидазы (41 мг), по сравнению с предшествующими годами исследований, обусловлена переувлажнением почвы на фоне повышенного температурного режима (Пилецкая О.А. Ферментативная активность черноземовидной почвы на фоне длительного применения удобрений // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2014. №4. С. 41-45).

По фазам развития пшеницы наибольшая активность уреазы в контрольном варианте отмечена в 2013 г. в фазе кущения пшеницы и составила 0,608 мг.

Наименьшая активность уреазы зафиксирована в 2011 г. в фазе восковой спелости – 0,082 мг (рисунок 17, приложение Г).

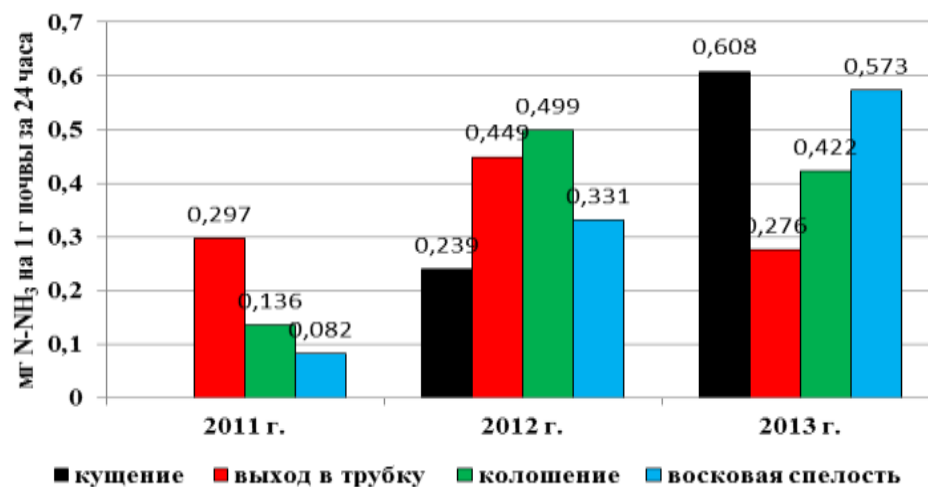


Рисунок 17 – Ферментативная активность уреазы черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы

В среднем за три года исследований в контрольном варианте наибольший показатель активности уреазы наблюдался в фазе кущения пшеницы – 0,424 мг, наименьший в фазе восковой спелости пшеницы – 0,329 мг (таблица 12).

Таблица 12 – Активность уреазы черноземовидной почвы по фазам развития пшеницы, среднее за 2011-2013 гг., мг N-NH₃ на 1 г почвы за 24 часа

№ вар.	Наименование варианта	Фазы роста и развития пшеницы			
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость
1	контроль	0,424	0,341	0,352	0,329
3	N24	0,419	0,325*	0,313	0,355
4	N24P30	0,396	0,335	0,284	0,338
6	N42P48	0,400	0,334	0,305	0,350
9	N24P30+навоз	0,435	0,311*	0,297	0,336
НСР ₀₅ равен		0,072	0,012	0,045	0,033
F _{факт.}		1,25	9,78	3,36	1,11

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

При последствии одних только азотных удобрений проявилась тенденция к снижению активности уреазы черноземовидной почвы относительно контрольного варианта в фазы кущения и колошения пшеницы на 1...11%, а в фазе выхода в трубку активность уреазы была статистически значимо ниже контроля на 4,7%. При последствии азотно-фосфорных удобрений так же, как и при последствии одних только азотных удобрений в фазы кущения, выхода в трубку и колошения

пшеницы, сохранилась тенденция к снижению активности уреазы относительно контрольного варианта на 2...19%. При последствии азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом в фазе выхода в трубку пшеницы активность уреазы была статистически значимо ниже контроля на 9% и к фазе колошения пшеницы сохранила тенденцию к снижению относительно контроля на 16%. И только в фазе восковой спелости пшеницы активность уреазы проявила тенденцию к повышению на фоне последствия всех систем удобрений на 2...8% относительно контрольного варианта. Поэтому за период вегетации пшеницы средневзвешенная величина активности уреазы за 2011–2013 гг. исследований при последствии всех систем удобрений была ниже контроля. Причем наибольшее снижение на 6% относительно контроля наблюдалось в вариантах N24P30 и N42P48 + навоз (приложение Г).

Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы уреазная активность черноземовидной почвы была слабой (таблица 13), (Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. С. 204). Слабая уреазная активность также была установлена С.Ю. Огородниковой (2008) и М.В. Самойленко (2012) в почвах близких по плодородию с черноземовидными – дерново-подзолистой и в чернозёме выщелоченном.

Таблица 13 – Шкала сравнительной оценки биологической активности почвы (Э.И. Гапонюк и С.В. Малахов)

Биологическая активность почвы	Каталаза, см ³ O ₂ /г за 1 мин	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ на 10 г за 24 часа	Уреазы, мг NH ₃ на 10 г за 24 часа
Очень слабая	<1	>0,5	>3
Слабая	1-3	0,5-1,5	3-10
Средняя	3-10	1,5-5,0	10-30
Высокая	10-30	5-15	30-100
Очень высокая	>30	>15	>100

Активность фосфатазы черноземовидной почвы в контрольном варианте без применения удобрений во все годы наблюдений, согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы, была очень высокой (рисунок 18, таблица 13). Данные наших исследований согласуются с результатами М.В. Самой-

ленко с соавторами (2012), которые также отмечают высокую фосфатазную активность чернозёма выщелоченного.

Активность фосфатазы, как и уреазы, в контроле самой высокой была в 2013 г. в фазе кущения пшеницы – 5,86 мг. Низкая активность фосфатазы наблюдалась также в 2013 г., но уже в фазе колошения пшеницы – 1,58 (рисунок 18).

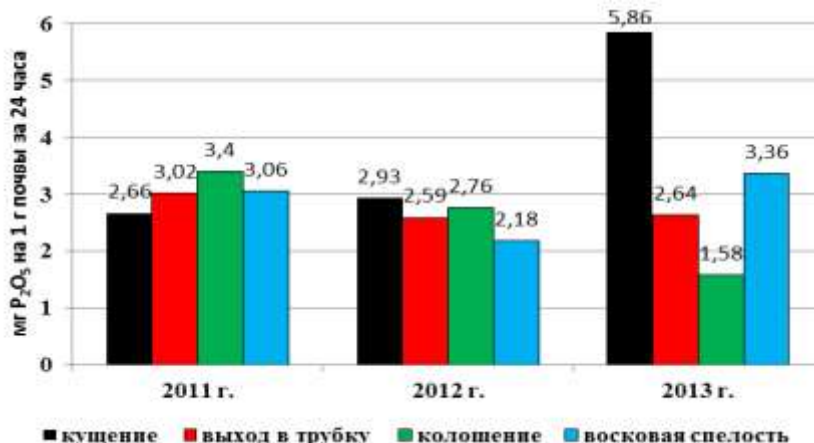


Рисунок 18 – Ферментативная активность фосфатазы черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы

В среднем за три года исследований наиболее высокая активность фосфатазы отмечена в фазе кущения пшеницы, в контрольном варианте показатель составил 3,82 мг, а низкая – в фазе колошения пшеницы – 2,58 мг (таблица 14). В варианте с последствием одних только азотных удобрений активность фосфатазы проявила тенденцию к снижению в ранние фазы развития пшеницы на 1...3% относительно контроля. В более поздние фазы, наоборот, проявила тенденцию к повышению на 3...5%. При совместном применении азотных и фосфорных удобрений в дозе N24P30 и N42P48, так же, как и при последствии одних только азотных удобрений, сохранилась тенденция к снижению активности фосфатазы на 6% только в фазе выхода в трубку пшеницы, а также сохранилась тенденция к повышению фосфатазной активности в фазы колошение на 2...4% и восковой спелости на 1...4% относительно контроля. В фазе кущения пшеницы активность фосфатазы в варианте с последствием азотно-фосфорных удобрений была выше контроля на 3...11%. На фоне азотно-фосфорных удобрений была выше и средне-взвешенная величина активности фосфатазы за вегетационный период – на 2...5% относительно контрольного варианта (приложение Д).

При замене части минеральных удобрений органическими активность фосфатазы по фазам развития пшеницы изменялась, как и по системе одних только минеральных удобрений, причём активность фосфатазы почвы в фазе выхода в трубку пшеницы была самой низкой в опыте – ниже контроля на 7%. В фазе кущения фосфатазная активность в почве этого варианта осталась на уровне контроля, в фазе колошения была выше контроля на 12%, а в фазе восковой спелости проявилась тенденция к снижению активности на 3% относительно контрольного варианта (таблица 14).

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 экономия 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 14, 15).

Таблица 14 – Активность фосфатазы черноземовидной почвы в фазы развития пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг., в мг P_2O_5 на 1 г почвы за 24 часа

№ вар.	Наименование варианта	Фазы роста и развития пшеницы			
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость
1	контроль	3,82	2,75	2,58	2,87
3	N24	3,77	2,67	2,70	2,95
4	N24P30	3,93	2,58	2,68	2,99
6	N42P48	4,23	2,59	2,62	2,91
9	N24P30+навоз	3,83	2,57	2,90	2,79
НСР ₀₅ равен		0,36	0,22	0,23	0,18
F _{факт.}		2,69	1,16	3,05	2,64
Примечание – * Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84					

В более поздние фазы развития пшеницы в период муссонных дождей закономерность, отмеченная В.И. Турусовым, не сохраняется. Для установления зависимости активности фосфатазы от содержания подвижного фосфора в почве выполнен корреляционный анализ. Коэффициент корреляции между этими вели-

чинами выявил обратно-пропорциональную среднюю и сильную связь, но статистически не достоверную при данной величине выборки, как и в чернозёмах степной зоны (таблица 16) (Пилецкая О.А. Фосфатный режим и фосфатазная активность черноземовидной почвы // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 47-50).

Таблица 15 – Содержание подвижного фосфора черноземовидной почвы в фазы 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

Таблица 16 – 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

Активность каталазы черноземовидной почвы слабо изменялась в фазы развития пшеницы и в годы исследований. Наиболее выраженные изменения наблюдались в фазе восковой спелости пшеницы – от 0,199 см³ в 2011 г. до 0,292 см³ в 2012 г. (рисунок 19).

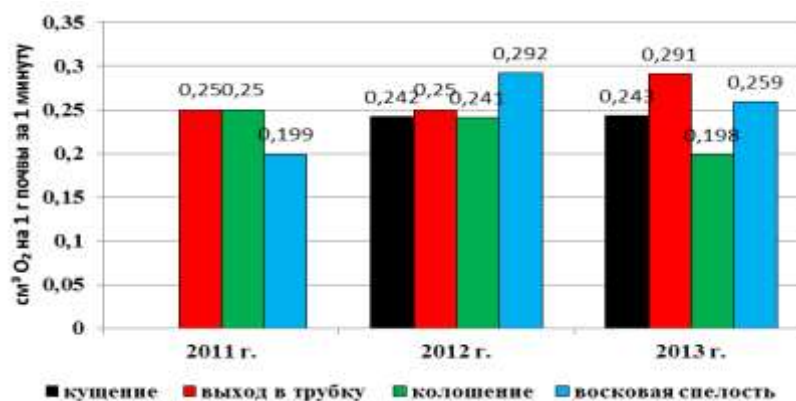


Рисунок 19 – Ферментативная активность каталазы черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы

В среднем за три года исследований в контрольном варианте наиболее высокая активность каталазы наблюдалась в фазе выхода в трубку пшеницы – 0,263 см³, а наименьшая – в фазе колошения пшеницы – 0,230 см³. При последствии одних только азотных удобрений активность каталазы проявила тенденцию к снижению в ранние фазы развития пшеницы на 5%, а в конце вегетации пшеницы, наоборот, повысилась на 4% относительно контрольного варианта. При последствии минеральных азотно-фосфорных удобрений активность каталазы была статистически значимо ниже контроля на 4...8% в фазах кущения и выхода в трубку пшеницы. В фазе колошения сохранилась тенденция к снижению активности каталазы на 3% относительно контрольного варианта, а в фазе восковой спелости активность каталазы была на уровне контроля. Последствие азотно-фосфорных удобрений снизило и средневзвешенную величину активности каталазы за вегетационный период на 3...4% относительно контроля (приложение Е).

При замене части минеральных удобрений на органические активность каталазы проявила тенденцию к повышению на 2...5% относительно варианта без применения удобрений во все фазы развития пшеницы (таблица 17).

Таблица 17 – Активность каталазы черноземовидной почвы в фазы развития пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг., в см³ О₂ на 1 г почвы за 1 минуту

№ вар.	Наименование варианта	Фазы роста и развития пшеницы			
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость
1	контроль	0,243	0,263	0,230	0,250
3	N24	0,231	0,260	0,231	0,260
4	N24P30	0,223*	0,253*	0,222	0,249
6	N42P48	0,229	0,249*	0,226	0,251
9	N24P30+навоз	0,249	0,266	0,241	0,249
НСР ₀₅ равен		0,014	0,008	0,016	0,013
F _{факт.}		7,55	9,49	2,30	1,36
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84					

Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы каталазная активность черноземовидной почвы была очень слабой (см. таблица 13). Слабая каталазная активность также была установлена в дерново-подзолистых почвах, черноземе выщелоченном (Огородникова С.Ю. Оценка биологической активнос-

сти почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский». С. 24; Безкорвайная И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи С. 242; Самойленко М.В. Влияние предшественников озимой пшеницы на целлюлозолитическую и ферментативную активность черноземов выщелоченных // Электронный научный журнал. 2012. № 5).

Активность пероксидазы черноземовидной почвы, так же как и активность каталазы, в контрольном варианте наиболее высокой была в 2012 г. в фазе восковой спелости пшеницы – 267 мг, а наименьшая в этой же фазе, но уже в 2013 г. – 116 мг (рисунок 20).

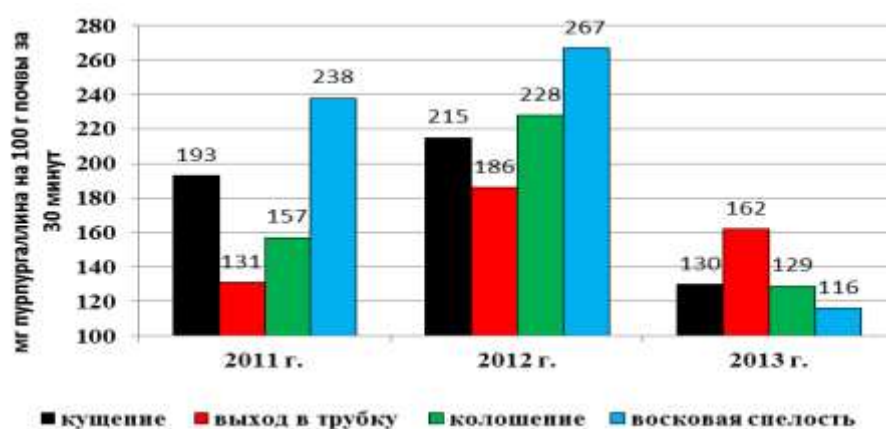


Рисунок 20 – Ферментативная активность пероксидазы черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы

В среднем за три года исследований в контрольном варианте в фазе выхода в трубку наблюдалась наименьшая активность пероксидазы – 160 мг, а наибольшая – в фазе восковой спелости пшеницы – 207 мг (таблица 18).

Таблица 18 – Активность пероксидазы черноземовидной почвы в фазы развития пшеницы, в среднем за 2011-2013 гг., в мг пурпургаллина на 100 г почвы за 30 минут

№ вар.	Наименование варианта	Фазы роста и развития пшеницы			
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость
1	контроль	179	160	171	207
3	N24	169	174	163	210
4	N24P30	169	168	165	195
6	N42P48	159	167	175	200
9	N24P30+навоз	157	165	168	203
НСР ₀₅ равен		21	14	22	16
F _{факт.}		1,90	1,46	0,50	3,13
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84					

При последствии всех систем удобрений активность пероксидазы проявила тенденцию к снижению в фазе кущения пшеницы на 6...12%, в фазе колошения на 2...5%, в фазе восковая спелость на 2...6%, относительно контрольного варианта. В фазе выход в трубку пшеницы активность пероксидазы проявила тенденцию к повышению на 3...9% относительно контроля, особенно на фоне одних только азотных удобрений. Средневзвешенная величина активности пероксидазы за вегетационный период была ниже контроля на 3...6% при последствии азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом (приложение Ж).

Активность полифенолоксидазы черноземовидной почвы в контрольном варианте наиболее высокая наблюдалась в фазе кущения пшеницы в 2011 и 2013 гг. – 44 и 45 мг соответственно, наименьшая – в 2012 г. в фазе колошения пшеницы – 17 мг (рисунок 21).

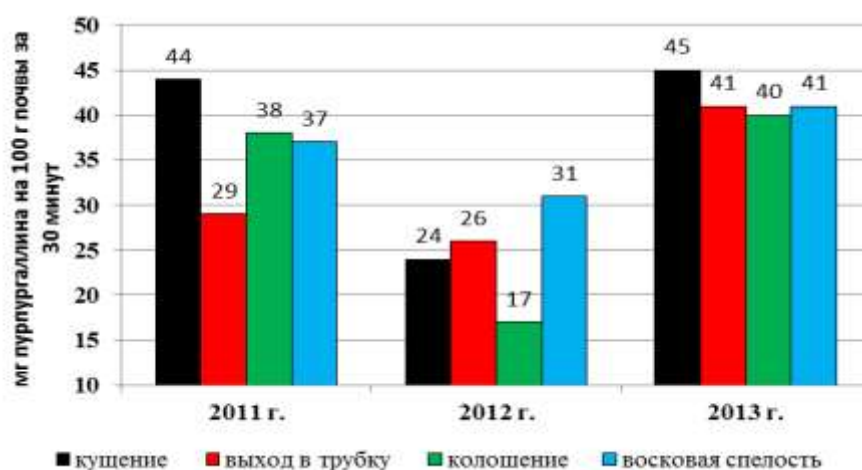


Рисунок 21 – Ферментативная активность полифенолоксидазы черноземовидной почвы в фазы роста и развития пшеницы

В среднем за три года исследований наибольшая полифенолоксидазная активность в контрольном варианте наблюдалась в фазе кущения пшеницы – 38 мг, а наименьшая – в фазы выхода в трубку и колошения пшеницы – 32 мг (таблица 19).

На фоне последствия азотных, азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений совместно с навозом активность полифенолоксидазы также, как и активность пероксидазы, проявила тенденцию к снижению на 8...10% в фазе кущения пшеницы относительно контрольного варианта.

Таблица 19 – Активность полифенолоксидазы черноземовидной почвы по фазам развития пшеницы, среднее за 2011-2013 гг., в мг пурпургаллина на 100 г почвы за 30 минут

№ вар.	Наименование варианта	Фазы роста и развития пшеницы			
		кущение	выход в трубку	колошение	восковая спелость
1	контроль	38	32	32	36
3	N24	34	32	31	38
4	N24P30	35	37*	32	39
6	N42P48	34	39*	32	39
9	N24P30+навоз	35	38*	33	35
НСР ₀₅ равен		7	4	4	5
F _{факт.}		0,33	6,00	0,31	1,19
Примечание – *Статистически значимые изменения на 5%-м уровне, F _{теор.} = 3,84					

В фазе выхода в трубку активность полифенолоксидазы, также как и активность пероксидазы была статистически значимо выше варианта без применения удобрений на 16...22%, за исключением варианта с применением одних только азотных удобрений, где активность полифенолоксидазы осталась на уровне контроля. В фазе восковой спелости наблюдалась тенденция к увеличению полифенолоксидазной активности на 5...8% относительно контроля на фоне последействия минеральных удобрений. Подобная реакция полифенолоксидазной активности на применение одних только минеральных удобрений была получена В.И. Турусовым (2012) на черноземе обыкновенном среднемоощном тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Л.Н. Лученок (2012) указывала на увеличение полифенолоксидазной активности на агроторфяных почвах при применении органо-минеральных удобрений. Средневзвешенная величина активности полифенолоксидазы за вегетационный период на фоне всех систем удобрений была на уровне контрольного варианта (приложение И).

На фоне длительного применения удобрений активность уреазы, каталазы и пероксидазы была ниже в фазы кущения, выхода в трубку и колошения пшеницы, а в фазе восковой спелости активность всех исследуемых ферментов была выше, за исключением фермента пероксидаза. Поэтому и средневзвешенная за вегетацию пшеницы величина активности уреазы, каталазы и пероксидазы при последействии всех систем удобрения была ниже контрольного варианта, а средневзвешенная ве-

личина активности фосфатазы выше. Средневзвешенная за вегетацию пшеницы величина активности полифенолоксидазы наблюдалась на уровне контроля.

Таким образом, активность ферментов в зависимости от погодных условий изменяется в большей степени (16...51%), чем от системы удобрений (3,8...21,9%).

Выводы по разделу:

1. Активность фермента каталазы черноземовидной почвы очень слабая, уреазы – слабая, фосфатазы – очень высокая.

2. Ферментативная активность почв изменяется от погодных условий в большей степени, чем от системы удобрений. 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.

3. На фоне длительного применения удобрений активность уреазы, каталазы и пероксидазы снижается в фазы кущения, выхода в трубку и колошения пшеницы, а в фазе восковой спелости активность всех исследуемых ферментов повышается за исключением фермента пероксидазы.

4. Средневзвешенная за вегетацию пшеницы величина активности уреазы, каталазы и пероксидазы при последствии всех систем удобрений была ниже контрольного варианта, а средневзвешенная величина активности фосфатазы выше. Средневзвешенная за вегетацию величина активности полифенолоксидазы была на уровне контроля. При изучении динамики ферментативной активности почвы в посевах пшеницы наиболее информативная фаза – выход в трубку.

5. На фоне длительного применения удобрений активность ферментов класса гидролаз была ниже контрольного варианта, наименьшая активность наблюдалась у уреазы на фоне последствия органоминеральной системы удобрения. Из ферментов класса оксидоредуктаз активность каталазы была ниже на фоне минеральных азотных и азотно-фосфорных удобрений, а активность пероксидазы и полифенолоксидазы при последствии всех систем удобрений была выше, чем в контрольном варианте.

3.5. Взаимосвязь показателей биологической активности почвы при длительном применении удобрений

Возделывание сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям невозможно без применения удобрений, которые способствуют увеличению содержания доступных питательных веществ для растений и повышению урожайности культур в сельскохозяйственном производстве (Ferrerias L. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. P. 635; Liu Enke. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China // *Geoderma*. 2010. Vol. 158. № 3-4. P. 173-180).

Для достижения устойчивого сельскохозяйственного производства при сохранении окружающей среды очень важно улучшить или сохранить биологическое здоровье почвы. Сельскохозяйственным методам, которые улучшают качество почвы и приводят к устойчивости сельского хозяйства, уделяется все больше внимания со стороны исследователей и фермеров (Eivazi F. Selected soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long term cropping systems // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2003. Vol. 34. № 15-16. P. 2259–2275). Неорганические удобрения, особенно азотные, фосфорные и калийные применяют не только для поддержания плодородия почвы. Они прямо или косвенно воздействуют на изменения её химических, физических и биологических свойств, что в долгосрочной перспективе оказывает значительное влияние на качество и производительный потенциал почв (Минакова О.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза гумусовое и азотное состояние чернозёма выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧЗ // *Агрохимия*. 2011. № 5. С. 18-25; Brzezinska M. Significance of soil enzymes in nutrient transformations // *Acta Agrophys*. 2002. Vol. 63. P. 5-23; Saha Supradip. Soil enzymatic activity as affected by long term application of farm yard manure and mineral fertilizer under a rain-fed soybean–wheat system in N-W Himalaya // *European Journal of Soil Biology*. 2008. Vol. 44. № 3. P. 309-315).

Навоз и другие материалы органического происхождения применяются с целью повышения уровня питательных веществ для растений и улучшения физических, химических и биологических свойств почвы, которые непосредственно влияют на плодородие. Питательные вещества органических удобрений становятся доступными растениям только после их микробиологической переработки. Питательные вещества минеральных удобрений непосредственно используются растениями, поэтому напрямую влияют на урожайность культур, что является главной причиной их применения (Kunc F. Compounds appearing in the biosphere through human activity. Academia. Praha, 1988. pp. 145–157; Böhme Livia. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. P. 142).

Проведено большое количество исследований, связанных с влиянием длительного применения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур как за рубежом, так и в России. Например, в регионах Индии и Китая, при длительном применении минеральных, органоминеральных и органических удобрений в больших дозах урожайность сельскохозяйственных культур увеличивалась (Kanchikerimath Manjaiah. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2001. Vol. 86. № 2. P. 155-162; Liang Yongchao. Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil // Geoderma. 2003. Vol. 115. № 1-2. P. 149-160; Dong Jiang. Long-Term Effects of Manure and Inorganic Fertilizers on Yield and Soil Fertility for a Winter Wheat-Maize System in Jiangsu, China // Elsevier Limited and Science Press. 2006. Vol. 16. №30030090. P. 25-32; Fan Fenliang. Mineral fertilizer alters cellulolytic community structure and suppresses soil cellobiohydrolase activity in a long-term fertilization. P. 70).

В России результаты исследований А.Г. Медведева (1997), И.Ф. Храмцова (1997), В.И. Волынкина (1999) свидетельствуют о повышении урожайности посевов зерновых культур при применении минеральных удобрений в умеренных дозах. Действие и последствие органических удобрений увеличило урожай пше-

ницы и озимой ржи на дерново-среднеподзолистой почве (Новоселов С.И. Действие и последствие органических удобрений в севообороте // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 30-37). Максимальный урожай был получен при применении органоминеральных удобрений Т.А. Девятовой (2006) на черноземе выщелоченном в посевах сахарной свеклы.

В Амурской области также проведены исследования действия и последствие минеральных и органоминеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. В многолетнем стационарном опыте ВНИИ сои на черноземовидной почве при применении азотно-фосфорных удобрений в дозе N24P30 на 1 га площади севооборота получено увеличение урожайности пшеницы, но увеличение дозы до N42P48 не сопровождалось дальнейшим повышением урожайности (Наумченко Е.Т. Эффективность минеральных удобрений под пшеницу на различных уровнях плодородия почв // *Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье*. 2000. Вып. 6. С. 122-129). Однако, А.В. Науменко (2012) отметил увеличение урожайности пшеницы в последствии применения повышенных доз азотно-фосфорных удобрений. По данным Г.К. Шелевого (1986) и А.В. Науменко (2012), последствие систематического применения одних только азотных удобрений на черноземовидной почве не повлияло на урожайность пшеницы, а применение органоминеральных удобрений повысило урожайность.

В 2011–2013 гг. изучено влияние длительного применения минеральных и органоминеральных удобрений на урожайность пшеницы (таблица 20).

Уровень урожайности пшеницы по годам исследований резко различался. Так, агрометеорологические условия 2011 и 2013 гг., несмотря на повышенный температурный режим и неравномерное распределение осадков, были оптимальными для формирования высокого урожая пшеницы (таблица 20). В 2012 г. повышенный температурный режим в сочетании с низкой влажностью воздуха и ветром иссушил почву и создал неблагоприятные условия для роста и развития пшеницы. Это сказалось на её урожайности – 7,9 ц/га в контроле, что в соответственно 2,5 и 3,5 раз ниже по сравнению с 2011 и 2013 гг.

Таблица 20 – Урожайность пшеницы, ц/га (по данным ГНУ ВНИИ сои Рос-сельхозакадемии)

№ 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 2011 г., на фоне высокой урожайности пшеницы, изменения по вариантам опыта статистически не достоверны. Только при последствии азотно-фосфорных удобрений наблюдается незначительная тенденция к снижению урожайности пшеницы на 5%. В 2012 г., несмотря на низкую урожайность пшеницы, в варианте с последствием одних только азотных и малых доз азотно-фосфорных удобрений наблюдается тенденция к увеличению урожайности на 10...22% относительно контроля. Внесение азотно-фосфорных и органоминеральных удобрений в повышенных дозах под предшествующую культуру статистически значимо увеличили урожайность пшеницы на 33...52% относительно контроля. В среднем по урожайности 2013 г., так же как и в 2012 г., при последствии одних только азотных удобрений наблюдалась тенденция к повышению урожайности пшеницы на 6%, а при последствии азотно-фосфорных и азотно-фосфорных удобрений, внесенных совместно с навозом, урожайность пшеницы была статистически значимо выше контрольного варианта на 9...15%.

В среднем за 2011–2013 гг. исследований последствие как одних только азотных удобрений, так и совместное их применение с фосфорными (N24P30), не привело к значительным изменениям урожайности пшеницы. При последствии азотно-фосфорных удобрений в дозе N42P48 и при совместном применении их с навозом урожайность пшеницы была достоверно выше контроля на 8...12%.

Степень окультуренности почвы, по мнению И.Н. Ромейко (1969), С.М. Самосова (1976), Н.В. Раськова (1977), можно оценивать по биологическим показателям. Также считается, что урожай и плодородие почвы связаны не с наличием питательных веществ, а с интенсивностью их круговорота, осуществляемого микрофлорой (Чундерова А.И. Влияние севооборота и бессменных посевов на активность биохимических процессов на дерново-подзолистой почве // Микробиология земледелия. 1970. С. 59-65). Ряд авторов отмечает, что наиболее информативными процессами являются эмиссия CO_2 , целлюлозоразлагающая способность почвы, ферментативная активность почвы (особенно активность ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз), нитрификационная, минерализационная способности почвы, биомасса микроорганизмов (Мишустин Е.Н. Образование свободных аминокислот // Микробиология. 1966. Т. 35. № 3. С. 491-495; Вавуло Ф.П. Взаимосвязь нитрификации с плодородием дерново-подзолистой почвы // Физиология и биохимия микроорганизмов. Минск, 1970. С. 205-212; Умаров М.М. Свободные аминокислоты почв как возможный критерий биологической диагностики почв // Биологическая диагностика почв. 1976. С. 286-287).

Некоторые исследователи предпочитают определять и анализировать отдельные показатели, считая, что именно выделяемый ими показатель в наибольшей степени связан с плодородием почвы и урожайностью или отображает биологическую активность почвы (Иванов Н.С. Возможность прогноза величины урожая культурных растений по биопоказателям их ризосферы. М.: МГУ, 1986. С. 85). По мнению А.Ш. Галстяна (1977), по активности отдельных ферментов, которые обладают строгой специфичностью, трудно оценивать и плодородие, и общую биологическую активность. В этом случае необходимо определение и гидролаз, и оксидоредуктаз.

В наших исследованиях для оценки взаимосвязи урожайности пшеницы с биологической активностью почвы был проведен линейный корреляционный анализ (таблицы 21, 22, 23). Выборка составлена по средним значениям показателей по вариантам каждой временной закладки. Таким образом, количество пар равно количеству вариантов, то есть $n=5$.

Таблица 21 – Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биохимической активности черноземовидной почвы (n=5, $r_{\text{крит}}=0,878$)

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

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

Таблица 22 – Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биологической активности черноземовидной почвы (n=5, $r_{\text{крит}}=0,878$)

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

Таблица 23 – Линейная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от показателей биологической активности характеризующих трансформацию азотсодержащих соединений черноземовидной почвы (n=5, $r_{\text{крит}}=0,878$)

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

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

Урожайность пшеницы имеет слабую корреляционную связь с активностью уреазы по годам исследований и прямую и обратную среднюю связь с активностью фосфатазы в 2011 ($r=0,435$) и в 2012 ($r= -0,619$) гг. В условиях Амурской области одним из лимитирующих факторов формирования урожая является содержание подвижных форм фосфора. Коэффициент корреляции между содержанием фосфора и активностью фосфатазы в наших исследованиях показал обратно-

пропорциональную среднюю и сильную связь, но статистически недостоверную (см. таблицу 16).

Урожайность пшеницы имела прямую среднюю корреляционную связь с активностью каталазы класса оксидоредуктаз только в 2011 г. ($r=0,664$). Ферменты пероксидаза и полифенолоксидаза в почве играют важную роль в процессе образования гумуса, катализируя окисление органических веществ, то есть, чем активнее эти ферменты, тем лучше идет закрепление углерода и азота в составе органического вещества. В 2011 г. урожайность пшеницы проявила высокую степень обратной связи с ферментативной активностью пероксидазы и полифенолоксидазы, что, очевидно, обусловлено иммобилизацией минеральных форм азота (рисунок 22).

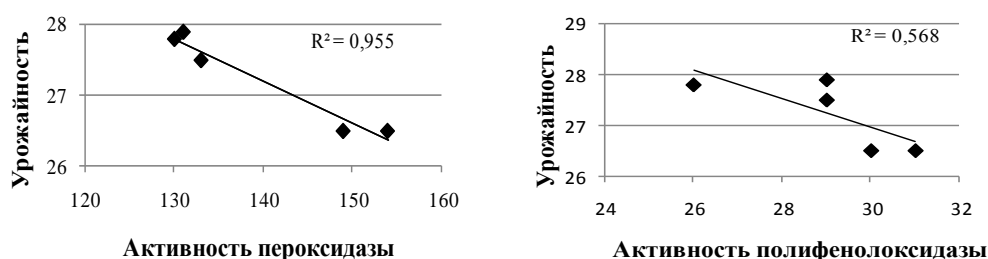


Рисунок 22 – Корреляционная связь урожайности пшеницы с пероксидазой и полифенолоксидазой, 2011 г.

В 2013 г. была выявлена прямая статистически достоверная тесная корреляционная зависимость урожайности пшеницы от полифенолоксидазы (рисунок 23).

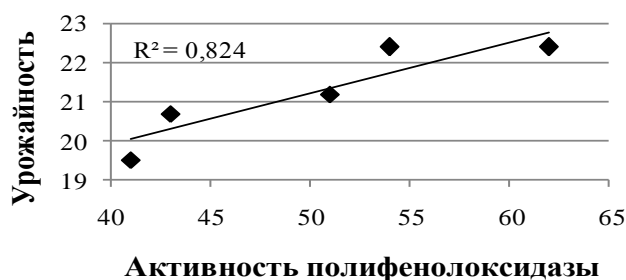


Рисунок 23 – Корреляционная связь урожайности пшеницы с полифенолоксидазой, 2013 г.

В черноземовидных почвах, из-за сложных агроклиматических условий, ферменты, за исключением фосфатазы, имеют низкую активность и поэтому очень неустойчивы. В результате и связь с урожайностью непостоянна. Фермент

фосфатаза имеет наоборот очень высокую активность, что также ведёт к неустойчивому влиянию на урожайность. На наш взгляд, только при средней активности ферментов связь с урожайностью может носить постоянный характер.

Корреляционная зависимость урожайности от эмиссии CO_2 имела среднюю обратную связь в начальные фазы развития пшеницы. Так в фазе выхода в трубку коэффициент корреляции колебался от минус 0,455 в 2013 г. до минус 0,688 в 2012 г. В фазе колошения пшеницы в 2011 г. наблюдалась уже прямая сильная корреляционная связь урожайности пшеницы с эмиссией CO_2 ($r=0,876$) (таблица 22).

В фазе восковой спелости корреляционная зависимость урожайности пшеницы от эмиссии CO_2 сохранила прямую связь только в 2012 и 2013 гг., но степень связи была уже средняя ($r=0,439$ и $r=0,423$).

Обратная связь урожайности пшеницы с целлюлозоразлагающей способностью почвы наблюдалась как в начале, так и в конце вегетации культуры во все годы наблюдений. В ранние сроки развития растения в 2012 г. отмечена сильная и статистически значимая связь (рисунок 24), а в более поздние сроки развития пшеницы урожайность коррелировала с целлюлозоразлагающей способностью почвы уже в средней степени ($r= -0,574$ в 2011 и $r= -0,530$ в 2013 гг.).

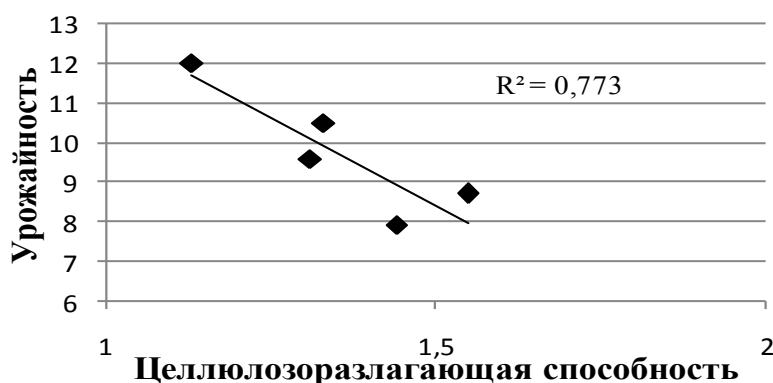


Рисунок 24 – Корреляционная связь урожайности с целлюлозоразлагающей способностью почвы в ранние фазы развития пшеницы, 2012 г.

Корреляционные отношения урожайности с биомассой микроорганизмов черноземовидной почвы проявили тесную связь ($r=0,794$) только в 2012 г. на фоне низкой урожайности пшеницы.

В условиях Амурской области лимитирующим фактором формирования урожая является содержание не только подвижных форм фосфора, но и азота. Поэтому важнейшим показателем биологической активности почвы является нитрификационная способность.

В 2012 г. в фазы кущения, выхода в трубку и колошения, а в 2013 г. только в фазы выхода в трубку и колошения наблюдалась прямая средняя и высокая связь урожайности с нитрификационной способностью почвы. Причем, статистически достоверная – в фазы кущения (2012 г.) и колошения пшеницы (2013 г.) (рисунок 25).

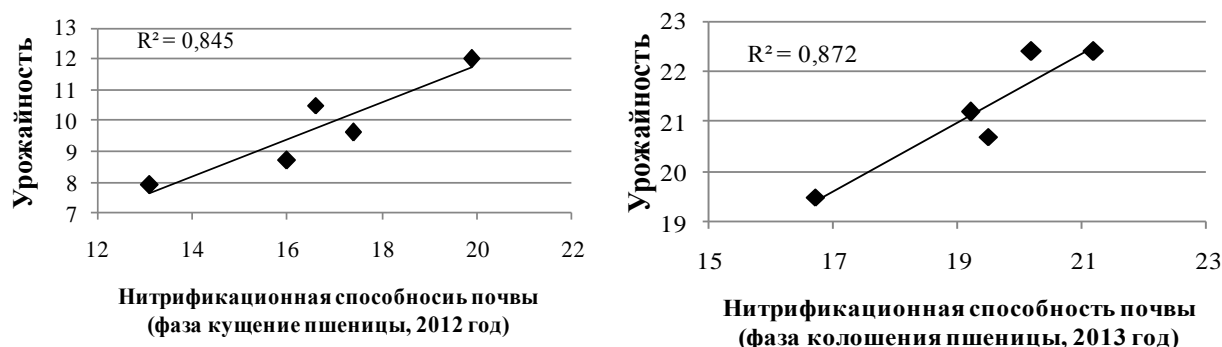


Рисунок 25 – Корреляционная связь урожайности пшеницы с нитрификационной способностью почвы

Обратная степень связи урожайности пшеницы с нитрификационной способностью почвы была установлена в 2011 г. в фазы выхода в трубку ($r = -0,368$) и колошения пшеницы ($r = -0,815$). Азотное питание в поздние фазы развития пшеницы не оказывало влияния на уровень урожайности, тем не менее, в наших исследованиях прослеживается средняя прямая связь урожайности пшеницы с нитрификационной способностью почвы в 2011 и 2012 гг. ($r = 0,336$ и $r = 0,378$) в фазе восковой спелости пшеницы.

Прямая корреляционная связь урожайности с минерализационной способностью почвы носила характер средней силы только в 2012 г. ($r = 0,485$).

Таким образом, зависимость урожая 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. Д.Г. Звягинцев (1976) указывает на присутствие в почве более

1000 ферментов, поэтому необходима осторожность в переходе от активности одного фермента к характеристике всей ферментативной активности почвы и работы, в которых устанавливается очень высокий коэффициент корреляции между активностью определенного, произвольно выхваченного фермента и урожаем растений, представляются недостаточно достоверными.

Для оценки биологической активности почвы необходимы также знания о взаимосвязях и закономерностях, проявляющихся между самими биологическими и биохимическими показателями почвы. В исследованиях Л.А. Карягиной (1983) показана тесная взаимосвязь большинства биологических показателей друг с другом. Некоторые авторы указывают и на слабую связь между показателями биологической активности почвы. Так, А.М. Самохвалов (1973) в своих исследованиях отмечает слабую прямую и обратную корреляцию между биомассой микроорганизмов и активностью инвертазы, уреазы, фосфатазы, каталазы.

В наших исследованиях для оценки взаимосвязи биологических показателей черноземовидной почвы был проведен линейный корреляционный анализ (таблицы 24, 25). Выборка составлена по средним значениям показателей за три года исследований, поэтому количество пар равно количеству вариантов, то есть $n=5$.

В фазе колошения пшеницы (2011-2013 гг. исследований) выявлена тесная обратная связь эмиссии CO_2 с целлюлозоразлагающей способностью почвы ($r = -0,702$) и средняя прямая связь с нитрификационной способностью почвы ($r=0,696$). Средняя корреляционная связь биомассы микроорганизмов наблюдалась с целлюлозоразлагающей способностью почвы ($r=0,536$) и нитрификационной способностью в фазе колошения пшеницы ($r=0,310$).

При разложении органического вещества в почве потребляется азот, что приводит к иммобилизации минеральных форм азота, в результате чего происходит снижение содержания исходного материала для нитрификации. По данным В.Ф. Прокопчук (1996), при внесении в почву соломы установлено снижение урожайности зерновых культур, из-за недостатка минеральных форм азота в почве.

Таблица 24 – 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 25 – 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)					

Поэтому в наших исследованиях высокая обратная корреляционная зависимость наблюдалась 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%-м уровне значимости в фазе выхода в трубку пшеницы (рисунок 26).

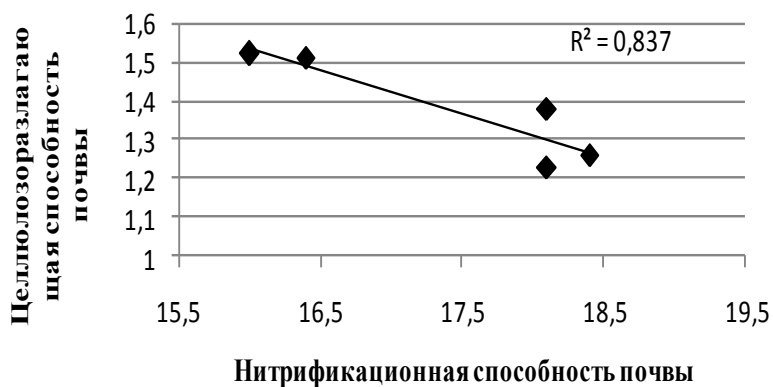


Рисунок 26 – Корреляционная связь целлюлозоразлагающей с нитрификационной способностью черноземовидной почвы

Методы определения минерализационной и нитрификационной способностей почвы схожи, разница только во времени экспозиции. И в том, и в другом случае определяли исходное содержание минеральных форм азота в конце экспозиции в оптимальных гидротермических условиях. Тем не менее, в наших исследованиях корреляционная зависимость между этими показателями недостоверная ($r=0,476$), что свидетельствует о значительном вкладе в состав минерального азота аммонийной формы.

Корреляционная связь ферментативной активности почвы с показателями биологической активности также носит непостоянный характер (таблица 25). Активность фермента уреазы, катализирующего разложение амидных форм азота, проявила обратную высокую статистически значимую связь с минерализационной (рисунок 27) и среднюю связь ($r = -0,322$) с нитрификационной способностью почвы.

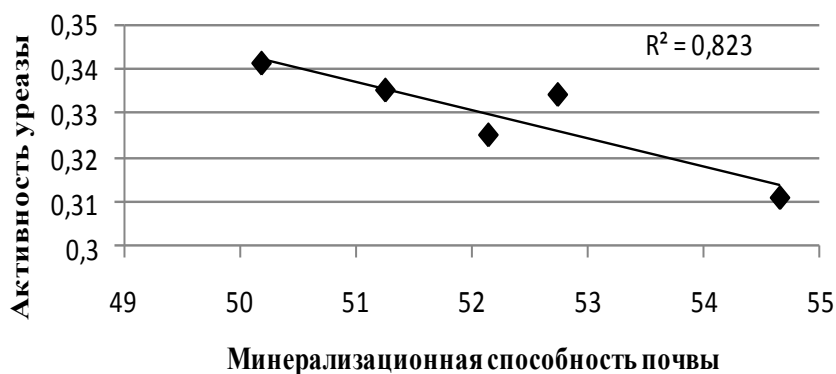


Рисунок 27 – Корреляционная связь активности уреазы с минерализационной способностью черноземовидной почвы

Также наблюдается средняя прямая зависимость активности уреазы с биомассой микроорганизмов в почве ($r=0,574$) и целлюлозоразлагающей способностью ($r=0,357$).

Статистически значимая тесная связь наблюдалась между активностью фосфатазы и целлюлозоразлагающей способностью почвы (рисунок 28). Также активность фосфатазы проявила обратную тесную связь с нитрификационной (рисунок 28) и среднюю связь с минерализационной способностью почвы ($r=-0,691$).

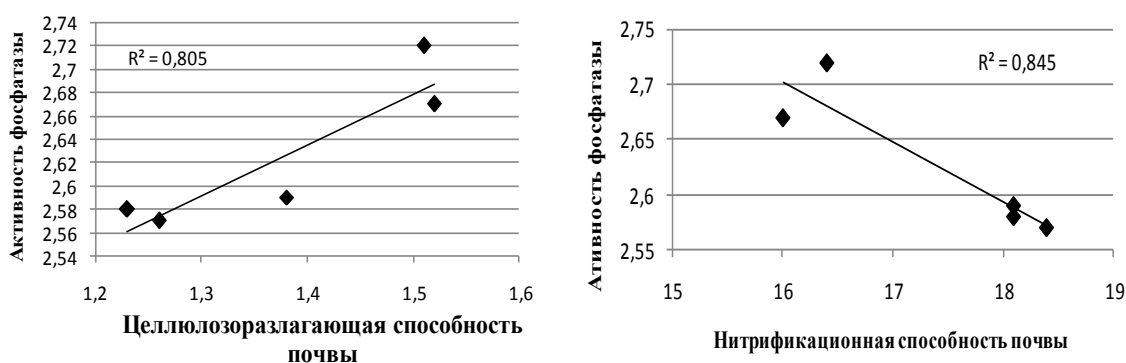


Рисунок 28 – Корреляционная связь активности фосфатазы с целлюлозоразлагающей и нитрификационной способностью черноземовидной почвы

Активность каталазы проявила высокую статистически достоверную обратную связь с биомассой микроорганизмов в почве ($r=-0,907$) и среднюю связь с эмиссией CO_2 ($r=0,320$).

Активность пероксидазы, катализирующей окисление органических веществ в почве, проявила высокую статистически значимую зависимость только от эмиссии CO_2 , но такая зависимость носит обратный характер (рисунок 29).

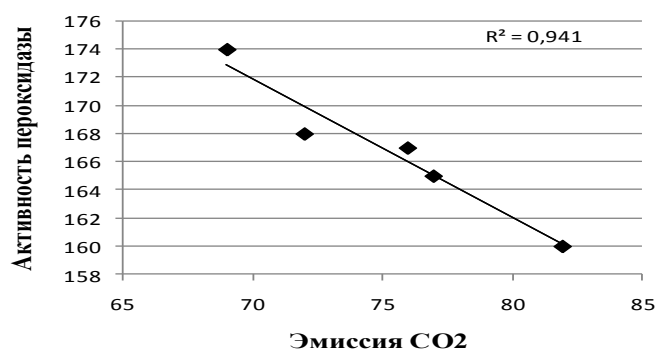


Рисунок 29 – Корреляционная связь активности пероксидазы с эмиссией CO₂ черноземовидной почвы

Активность полифенолоксидазы, катализирующей превращение более сложных соединений ароматического ряда в компоненты гумуса, имеет прямую высокую корреляционную связь с интенсивностью дыхания почвы ($r=0,997$), нитрификационной способностью почвы ($r= 0,963$) и средней связью с минерализационной способностью почвы ($r= 0,614$). Обратную высокую степень связи активность полифенолоксидазы проявила только с целлюлозоразлагающей способностью ($r= -0,807$).

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 – почвы, а также неуправляемостью гидротермического режима. Методы почвенной биологии и энзимологии позволяют достаточно точно определить интенсивность и направленность происходящих в почве процессов, обеспечивающих её плодородие. Однако при их очевидной информативности эти методы сложно использовать для оценки изменения плодородия почвы под влиянием различных доз удобрений (Девятова Т.А. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений. С. 14).

Данные, полученные в результате исследований биологической активности черноземовидной почвы, свидетельствуют, что уровень продуктивного потенциала этих почв может определяться суммарной активностью и интенсивно-

стью биохимических процессов, обусловленной содержанием в почве определенного пула ферментов.

Выводы по разделу:

1. В среднем за 2011–2013 гг. при последствии удобрений в дозе N42P48 и при совместном применении азотно-фосфорных удобрений с навозом урожайность пшеницы была статистически значимо выше, чем в варианте без применения удобрений на 8...12%.

2. Статистически значимую высокую прямую корреляционную связь урожайность имеет с нитрификационной способностью почвы и высокую обратную связь с активностью пероксидазы и полифенолоксидазы почвы, а также с целлюлозоразлагающей способностью почвы.

3. Высокая статистически значимая прямая корреляционная зависимость наблюдается у активности фосфатазы с целлюлозоразлагающей способностью, активности полифенолоксидазы с эмиссией CO₂ и с нитрификационной способностью почвы. Высокая статистически значимая обратная корреляционная зависимость наблюдается между активностью уреазы и минерализационной способностью почвы, активностью фосфатазы и нитрификационной способностью почвы, активностью каталазы и биомассой микроорганизмов, активностью пероксидазы и эмиссией CO₂.

4. Данные, полученные в результате исследований биологической активности черноземовидной почвы, сложно использовать для оценки изменения плодородия почвы под влиянием различных доз удобрений, но они позволяют достаточно точно определить интенсивность и направленность происходящих в почве процессов, обеспечивающих их плодородие.

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МП – метеопост

МС – метеостанция

МСП – минерализационная способность почвы

НСП – нитрификационная способность почвы

САТ – сумма активных температур

СМ, °С – средняя многолетняя температура воздуха, °С

СМ, мм – средняя многолетняя сумма осадков, мм

с.о. – севооборот

СО – сумма осадков

ЦСП – целлюлозоразлагающая способность почвы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимова, Т.Е. Фотосинтетическая деятельность и формирование урожая пшеницы при длительном применении различных систем удобрений в севообороте: дис... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Абросимова Татьяна Евгеньевна. – Благовещенск, 2003. – 136 с.
2. Агрометеорологический обзор за 2011, 2012, 2013 годы по Амурской области. - Благовещенск, 2011, 2012, 2013.
3. Агрохимические методы исследований почв. – М.: «Наука», 1975. – 656 с.
4. Андросов, И.С. О микробиологической активности почв Приамурья / И.С. Андросов // Вопросы развития сельского хозяйства Приамурья. – Благовещенск: Амур.кн.изд., 1955. – С. 56-60.
5. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1983. – 248 с.
6. Башкин, В.Н. Определение азот-минерализующей способности почв для экологически оптимального использования азотных удобрений / В.Н. Башкин, В.Н. Кудеяров // Фундаментальные науки – народному хозяйству. – М., 1990. – С. 271-272.
7. Безкоровайная, И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв / И.Н. Безкоровайная. Краткий курс лекций: Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2001. – 40 с.
8. Безкоровайная, И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи / И.Н. Безкоровайная, Г.И. Антонов, В.В. Иванов, Д.А. Семенякин // Хвойные бореальные зоны. – 2010. – XXVII, № 3. – С. 238-242.
9. Беккер, З.Э. Физиология грибов и их практическое использование / З.Э. Беккер. – М.: изд-во МГУ, 1963. – 268 с.
10. Березняков, К.П. Агроклиматические ресурсы Амурской Области / Под ред. К. П. Березнякова. – Гидрометеиздат, Ленинград, 1973. – 104 с.

11. Биомасса микроорганизмов в почве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog>.

12. Бугаев, В.П. Свойства почвы и химический состав растений при длительном применении навоза и минеральных удобрений / В.П. Бугаев, З.М. Осипова // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – 1968. – № 3. – С. 43-62.

13. Вавуло, Ф.П. Взаимосвязь нитрификации с плодородием дерново-подзолистой почвы / Ф.П. Вавуло, Л.А. Карягина // Физиология и биохимия микроорганизмов. – Минск, 1970. – С. 205-212.

14. Вальков, В.Ф. Системно-биологический подход при изучении почв / В.Ф. Вальков // Научная мысль Кавказа. – 1995. – № 4. – С. 6-10.

15. Вальков, В.Ф. Экология почв / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2004. – 54 с.

16. Вальков, В.Ф. Почвоведение / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 527 с.

17. Ваулин, А.В. Определение достоверных средних многолетних показателей краткосрочных полевых опытов при обработке результатов исследований методом дисперсионного анализа / А.В. Ваулин // Агрохимия. – 1998. – № 12. – С. 71-75.

18. Войнова-Райкова, Ж. Микроорганизмы и плодородие / Ж. Войнова-Райкова, В. Ранков, Г. Ампова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 120 с.

19. Волынкин, В.И. Влияние удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы при разных погодных условиях / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина // Агрохимия. – 1999. – № 5. – С. 48-54.

20. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / С.Г. Малахов. – Москва: Московское отделение гидрометеоиздата, 1984.

21. Галстян, А.Ш. К оценке биологической активности почвы / А.Ш. Галстян // Сб. тезисов докл. V съезда ВОП. – Минск, 1977. – Вып. 2. – С. 201-202.

22. Ганжара, Н.Ф. Практикум по почвоведению / Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.

23. Глазовская, М. А. Геохимические функции микроорганизмов / М.А. Глазовская, Н.Г. Добровольская. – М., Изд-во МГУ, 1984 г. – 152 с.
24. Голов, Г.В. Подвижный фосфор в почвах Зейско-Буреинской равнины и эффективность удобрений / Г.В. Голов, И.Г. Ковшик // Агрохимия. – 1974. – № 11. – С. 28-34.
25. Голов, Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины / Г.В. Голов. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 162 с.
26. Девятова, Т.А. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном систематическом применении удобрений / Т.А. Девятова // Агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 12-15.
27. Духанин, А.А. О методах интенсивного окультуривания песчаных дерново-подзолистых почв // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – 1968. – № 3. – С. 80-90.
28. Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы / Н.Е. Завьялова, Е.М. Митрофанова // Агрохимия. – 2008. – № 12. – С. 29-34.
29. Зайцева, О.В. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активности почвенной микрофлоры Самарской области / О.В. Зайцева, Е.В. Максимова, О.Н. Макурина // Вестник СамГУ. – 2006. – № 9. – С. 138-144.
30. Звягинцев, Д.Г. Биология почв и их диагностика / Д.Г. Звягинцев. – М.: Наука, 1976. – С. 175-189.
31. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых её показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение, 1978. – № 6. – С. 46-55.
32. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
33. Зимовец, Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов / Б.А. Зимовец. – М.: Наука, 1967. – 166 с.
34. Иванов, Н.С. Возможность прогноза величины урожая культурных растений по биопоказателям их ризосферы / Н.С. Иванов / Тезисы докл. III Всесоюз. конф. «Микроорганизмы в сельском хозяйстве». – М.: МГУ, 1986. С. 85.

35. Казеев, К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. – 216 с.

36. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л.А. Карягина. – Минск: Наука и техника, 1983. – 181 с.

37. Ковшик, И.Г. Фосфор в почвах Амурской области и эффективность фосфорных удобрений под сою: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: / Ковшик Иван Григорьевич. – М., 1977. – 24 с.

38. Крючков, А.Г. Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном под посевом яровой твердой пшеницы в длительном стационарном опыте / А.Г. Крючков, В.И. Елисеев, Р.Р. Абдрашитов // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 32-35.

39. Кудеяров, В.Н. Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка / В.Н. Кудеяров, И.Н. Курганова // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1112–1121.

40. Кудзин, Ю.К. Влияние длительного применения удобрений на некоторые свойства черноземов и продуктивность растений / Ю.К. Кудзин // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборота. – 1960. – С. 323-366.

41. Кузнецова, И.В. Изменение свойств залежных серых лесных почв / И.В. Кузнецова, П.И. Тихонравова, А.Г. Бондарев // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1142–1150.

42. Куликов, С.В. Влияние минеральных удобрений на биологическую активность лугово-черноземной почвы в условиях лесостепной зоны западной Сибири / С.В. Куликов, О.Ф. Хамова // «Вопросы естественных наук: биология, химия, физика»: матер. международ. заоч. науч-практ. конф. – Новосибирск, 2012. – С. 8-14.

43. Куликов, С.В. Влияние минеральных удобрений на биологическую активность лугово-черноземной почвы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири / С.В. Куликов, О.Ф. Хамова // Сибирская ассоциация консультантов. Заочные научно-практические конференции, 11.04.2012.

44. Кумскова, Н. Д. Агропроизводственная оценка климата территории: Методические указания к лабораторным занятиям и задания для контрольных работ / Н.Д. Кумскова, О.А. Селихова. – Благовещенск: изд-во ДальГАУ, 2009. – 70 с.
45. Ландина, М.М. Физические свойства и биологическая активность почв / М. М. Ландина. – Новосибирск: Наука, 1986. – 144 с.
46. Ларионова, А.А. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO₂ / А.А. Ларионова, Л.Н. Розонова // Дыхание почвы: сб. науч. трудов. – Пушкино, 1993. С. 68-76.
47. Лученок, Л.Н. Плодородие и продуктивность минерализованных агро-торфяных почв Белорусского полесья / Л.Н. Лученок // Теоритические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур: матер. междунаод. научно-практ. конф. – Москва: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. – С. 181-189.
48. Лыкова, Н.К. Влияние агротехнических мероприятий на азотфиксирующую активность почвы / Н.К. Лыкова // Тез. Докл. IV Всесоюзной научной конференции. – Пушкино, 1992. – С. 120-121.
49. Лыков, А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья / А.М. Лыков, А.Л. Еськов, М.П. Новиков. – М.: РАСХН, ВНИИТИОУ, 2004. – 630 с.
50. Макаров, В.Н. Влияние обработок почвы на рост корневой системы, биологическую активности почвы и урожай / В.Н. Макаров // Оптимизация условий возделывания сои в Приамурье: сб. науч. трудов Сибирское отделение ВАСХАНИЛ. – Новосибирск, 1981. – С. 14-19.
51. Марвис, Т.В. Микробиологическая трансформация азота в почве / Т.В. Марвис. – Биологические основы плодородия почвы. – М.: Колос, 1984. – С. 54-113.
52. Медведев, А.Г. Влияние азотных удобрений на продуктивность полевых севооборотов / А.Г. Медведев // Проблемы развития и научного обеспечения АПК Центрального Нечерноземья России: сб. матер. науч. сессии. – М., 1997. – С. 55-59.
53. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

54. Минакова, О.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза гумусовое и азотное состояние чернозёма выщелоченного в зерно-свекловичном севообороте лесостепи ЦЧЗ / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, А.И. Громовик // *Агрохимия*. – 2011. – № 5. – С. 18-25.

55. Минеев, В.Г. Влияние длительного применения средств химизации на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова, Г.М. Зенова, Н.Н. Скворцова // *Агрохимия*. – 1999. – № 5. – С. 5-12.

56. Минеев, В.Г. *Агрохимия* / В.Г. Минеев. – Изд-во МГУ, изд-во «КолосС», 2004. – 270 с.

57. Миненко, А.К. Несимбиотическая азотфиксация дерново-подзолистой почвы в зависимости от основных агротехнических приемов / А.К. Миненко, Т.О. Назарова // *Докл. ВАСХНИЛ*, 1986 – № 3. – С. 18-20.

58. Миненко, А.К. Микробиологический потенциал почв и растений как фактор интенсификации азотного питания растений / А.К. Миненко, Т.О. Назарова // «Основные итоги научных исследований (70 лет НИИСХ ЦРНЗ)». – М., 2001. – С. 354-359.

59. Миненко, А.К. Агрономические функции микробоценозов дерново-подзолистых почв / А.К. Миненко // *АгроЭкоИнфо*. – 2008. – № 2.

60. Миненко, А.К. Изменение биологической активности дерново-подзолистых почв при их окультуривании / А.К. Миненко // *АгроЭкоИнфо*. – 2009. – № 2.

61. Министерство сельского хозяйства Амурской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.agroamur.ru>. (Дата обращения: 16.08.2014).

62. Мишустин, Е.Н. Образование свободных аминокислот / Е.Н. Мишустин, А.Н. Петрова // *Микробиология*. – 1966. – Т. 35. – № 3. – С. 491-495.

63. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. М.:Наука, 1972. – 343 с.

64. Мишустин Е.Н. *Микробиология* / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев. – М.: «Колос», 1987. – 320 с.

65. Муромцев, Г. С. Агрономическая микробиология / Г.С. Муромцева. – М.: «Колос», 1976. – 232 с.

66. Муртазина, С.Г. Практикум по почвоведению / С.Г. Муртазина, И.А. Гайсин, М.Г. Муртазин. – Казанская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. – 225 с.

67. Муха, В.Д. Практикум по агрономическому почвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2013. – 480 с.

68. Наумова, Н.Б. Влияние удобрений на химические свойства дерново-подзолистой почвы в зернотравяном севообороте в длительном полевом опыте / Н.Б. Наумова, Р.П. Макарикова, О.А. Севенков // Агрехимия. – 2012. – № 3. – С. 3-11.

69. Наумченко, Е.Т. Эффективность минеральных удобрений под пшеницу на различных уровнях плодородия почв: сб. науч. тр. / Е.Т. Наумченко, И.Г. Ковшик, Т.Е. Абросимова // Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье. – Благовещенск, 2000. – Вып. 6. – С. 122-129.

70. Наумченко, Е.Т. Влияние длительного внесения удобрений на продуктивность севооборота и плодородие луговой черноземовидной почвы / Е.Т. Наумченко, И.Г. Ковшик // Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур Приамурья: сб. науч. тр.: ДальГАУ. – Благовещенск, 2002. – Вып. 8. – 256 с.

71. Науменко, А.В. Свойства луговой черноземовидной почвы и продуктивность культур зерно-соевого севооборота в зависимости от известкования и длительного применения удобрений в условиях Приамурья: дис...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Науменко Александр Валерьевич. – Благовещенск, 2011. – 232 с.

72. Науменко, А.В. Свойства почвы и урожайность культур в зависимости от системы удобрений и известкования / А.В. Науменко, И.Г. Ковшик, В.Ф. Прокочук.: монография. – Благовещенск: ДальГАУ, 2012. – 121 с.

73. Никитишен, В.И. Оценка эффективности фосфорного удобрения на серной лесной почве с учетом его последствий / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова, В.И. Личко // Агрехимия. – 2000. – № 9. – С. 41-47.

74. Никитишен, В.И. Эффективность и продолжительность последействия фосфорного удобрения в агроэкосистемах на серых лесных почвах ополья // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 4. – С.14-19.

75. Никитишен, В.И. Эффективность прямого действия и последействия длительного применения удобрений на серой лесной почве / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Агрохимия. – 2011. – № 1. – С.11-19.

76. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая) / А.А. Ничипорович. – М.: Академия Наук СССР, 1961. – 135 с.

77. Новоселов, С.И. Действие и последействие органических удобрений в севообороте / С.И. Новоселов, С.А. Горохов, М.Н. Иванов, Е.С. Новоселова // Агрохимия. – 2013. – № 8. – С. 30-37.

78. Огородникова, С.Ю. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» / С.Ю. Огородникова, С.Г. Скугорева, А.С. Олькова // Вестник ИБ. – 2008. – № 6. – С. 23-26.

79. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: изд-во МГУ, 1981. – 272 с.

80. 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.

81. Пилецкая, О.А. Фосфатный режим и фосфатазная активность черноземовидной почвы / О.А. Пилецкая, В.Ф. Прокопчук // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 47-50.

82. 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.

83. 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.

84. Пошон, Ж. Почвенная микробиология / Ж. Пошон, Г. де Баржак. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 560 с.

85. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – Агропромиздат, 1987. – С. 87-95.

86. Прокопчук, В.Ф. Влияние ингибиторов нитрификации на эффективность мочевины на бурых лесных глеевых почвах / В.Ф. Прокопчук // Науч. тех. бюл. / ВАСХНИЛ Сиб. отд-ние. ВНИИ сои. – Новосибирск, 1987. – Вып. 31. – С. 53-60.

87. Прокопчук, В.Ф. Влияние пшеничной и соевой соломы на содержание минерального азота в почве / В.Ф. Прокопчук // Сб.науч.тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 1996. – Вып. 2. – С. 35-39.

88. Прокопчук, В.Ф. Почвы Зейско-Буреинской равнины и их трансформация в процессе сельскохозяйственного использования / В.Ф. Прокопчук // Зейско-Буреинская равнина: проблемы устойчивого развития: материалы Амурской научно-практической конференции. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2001. – 260 с.

89. Пронько, В.В. Изменение плодородия орошаемых и богарных почв Поволжья при систематическом внесении органических и минеральных удобрений / В.В. Пронько // Тезисы докл. 8 Всес. съезда почвовед. Новосибирск, 14-18 авг. 1989. – Новосибирск, 1989. – кн. 3, комис. 4. – С. 60.

90. Пуртова, Л.Н. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга Приморья / Л.Н. Пуртова, Н.М. Костенков, В.А. Семаль, И.В. Комачкова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 585-589.

91. Пустовойтов, Н. Д. Сезонно-мерзлотные почвы и их мелиорация / Н.Д. Пустовойтов. – М.: Наука, 1971. – 232 с.

92. Раськова, Н.В. Активность гидролаз и оксидоредуктаз в дерново-подзолистой почве с разным уровнем окультуренности / Н.В. Раськова, Д.Г. Звягинцев, М.Г. Краснова // Почвоведение. – 1977. – № 12. – С. 124-129.

93. Ромейко, И.Н. Биологическая активность почвы как показатель ее плодородия / И.Н. Ромейко, Е.К. Дубовенко // Пути повышения плодородия почв. – Киев, 1969. – С. 67-72.

94. Самойленко, М.В. Влияние предшественников озимой пшеницы на целлюлозолитическую и ферментативную активность черноземов выщелоченных / М.В. Самойленко, В.М. Передериева, А.П. Шутко // Электронный научный журнал. – 2012. – № 5.

95. Самосова, С.М. К вопросу об оценке состояния почвы по ее ферментативной активности / С.М. Самосова, В.И. Фильченкова, Г.Х. Мусина и др. // Биологическая диагностика почв. – М., 1976. – С. 243-244.

96. Самохвалов, С.М. Микрофлора и биологическая активность дерново-подзолистой почвы в условиях нового агрокомплекса / С.М. Самохвалов // Автореф. канд. дисс. М.: МГУ, 1973. 25 с.

97. Сдобникова, О.В. Условия эффективного использования фосфорных удобрений / О.В. Сдобникова // Применение фосфорных удобрений. Труды ВИУА, 1979. – Вып. 57. – С. 3-20.

98. Сельскому хозяйству в Амурской области 140 лет / Госкомстат России, Амурская область комитет государственной статистики. – Благовещенск, 1998. – 14 с.

99. Семенов, А.М. Диагностика здоровья и качества почвы / А.М. Семенов, В.М. Семёнов, А.Х.К. Ван Бругген // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 4-20.

100. Семендяева, Н.В. Влияние длительного применения удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы таёжной зоны западной Сибири / Н.В. Семендяева // Агрохимия. – 2010. – № 3. – С. 3-11.

101. Серая, Т.М. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, Е.Т. Мезенцева, О.М. Бирюкова // Агрохимия. – 2011. – № 11.

102. Система земледелия Амурской области / под ред. В.А. Тильба. – Благовещенск: ИПК «Приамурье», 2003. – 304 с.

103. Стёпкина, Р.Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на лугово-черноземовидных почвах Приамурья / Р.Н. Стёпкина. – Благовещенск: ДальГАУ, 2001. – 146 с.

104. Стрельченко, Н.Е. Фосфатный режим переувлажненных почв юга Дальнего Востока / Н.Е. Стрельченко. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1982. – 20 с.

105. Татарова, Н.К. Влияние агрохимических приемов на биологическую активность лугово-черноземовидных почв / Н.К. Татарова, Р.Н. Степкина // Пути воспроизводства плодородия и повышение урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье. – Благовещенск, 1995. – Вып. 3. – С. 96-100.

106. Татарова, Н.К. Микрофлора сезонно-мерзлотных почв и перспективы развития сельскохозяйственной и промышленной биотехнологии / Н.К. Татарова. – Благовещенск, 2003. – 124 с.

107. Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов При тихоокеанской зоны / Тен Хак Мун. – М.: «Наука», 1977. – 180 с.

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

109. Терентьев, А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование / А.Т. Терентьев. – Владивосток, 1969. – 275 с.

110. Тейт, Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с.

111. Трипольская, Л.Н. Изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при различных системах удобрений в пропашном севообороте / Л.Н. Трипольская, Г.И. Греймас // Тез. Докл. 8 Всес. Съезда почвоведов, Новосибирск, 14-18 авг. 1989. – Новосибирск, 1989, кН. 3, Комис. 4. – С. 21.

112. Турусов, В.И., Ферментативная активность чернозема обыкновенного в различных севооборотах при разных способах обработки почвы // В.И. Турусов, В.М. Гармашов, Т.И. Дьячкова // Агрохимия. – 2012. – № 9. – С. 21-25.

113. Умаров, М.М. Свободные аминокислоты почв как возможный критерий биологической диагностики почв / М.М. Умаров, И.В. Асеева // Биологическая диагностика почв. – М., 1976. – С. 286-287.

114. Умаров, М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. – М.: ГЕОС, 2007. – 275 с.

115. Федорец, Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.

116. Федорова, Л.В. О микробиологическом разложении целлюлозы в почвах Сахалина // Изд-во: СО АН СССР. Сер. биолог. Наук. – 1972. – № 5. – Вып. 1.

117. Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1976. – 180 с.

118. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – Ин-т биологии Уфим. НЦ. – М.: Наука, 2005. – 252 с.

119. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова, Т.А. Соколова. М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.

120. Храмцов, И.Ф. Влияние длительного применения удобрений и приемов основной обработки на плодородие почвы и продуктивность севооборота / И.Ф. Храмцов, Н.Ф. Кочегарова // Матер. науч. чтений. – Новосибирск, 1997. – С. 209-211.

121. Целлюлозоразлагающая способность почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neznaniya.net/agronomija/biologicheskij-azot/421-cellyulozoliticheskaya-sposobnost-pochvy.html>. (Дата обращения: 24.07.2014).

122. Чагина, Е.Г. Изменение плодородия почв при интенсивном земледелии / Е.Г. Чагина, Ю.И. Берхин, Н.В. Хацевич. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. – 56 с.

123. Чундерова, А.И. Влияние севооборота и бессменных посевов на активность биохимических процессов на дерново-подзолистой почве / А.И. Чундерова // Микробиология земледелия. – 1970. – С. 59-65.

124. Шапиро, В.А. Отчет по теме «Разработка агроэкологии переработки органических отходов с применением высокоэффективного комплекса живых организмов – «почвообразователей» с целью повышения производительности тепличных грунтов / В.А. Шапиро. Департамент науки и промышленной политики. – Москва, 2004. – 20 с.

125. Шевцова, Л.К. Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // Л.К. Шевцова, И.В. Володарская // *Агрохимия*. – 2000. – № 9. – С. 5-10.

126. Шелевой, Г.К. Удобрения полевых культур в Амурской области / Г.К. Шелевой, В.Т. Куркаев. – Благовещенск, 1971. – 92 с.

127. Шелевой, Г.К. Влияние предшественников, удобрений и способов обработки на биологическую активность почвы под соей / Г.К. Шелевой, С.В. Рафальский, В.Ф. Ключева // *Интенсификация возделывания сои на Дальнем Востоке: сб. науч. трудов Сибирское отделение ВАСХАНИЛ*, 1984. – С. 36-45.

128. Шелевой, Г.К. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность культур зерно-соевого севооборота / Г.К. Шелевой, Р.Н. Степкина // *Агротехника возделывания полевых культур в Приамурье: науч.-техн. бюл.* – Новосибирск, 1986 – Вып. 25. – С. 29-37.

129. Шульман, Н.К. К вопросу о физико-географическом районировании Амурской области / Н.К. Шульман // *Вопросы географии верхнего Приамурья*. – Благовещенск, 1968. – Т. 12. – С. 3-10.

130. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных и искусственных фитоценозах) / Т.А. Щербакова. – Минск, 1983. – 222 с.

131. Acosta-Martínez, V. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils / V. Acosta-Martínez, D. Acosta-Mercado, D. Sotomayor-Ramírez, L. Cruz-Rodríguez // *Applied Soil Ecology*. – 2008. – Vol. 38, № 3. – P. 249-260.

132. Akiyama, H. N₂O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers / H. Akiyama, H. Tsuruta, T. Watanabe // *Chemosphere - Global Change Science*. – 2000. – Vol. 2. – P. 313–320.

133. Bandick, A.K. Field management effects on soil enzyme activities / A.K. Bandick, R. Dick // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1999. – Vol. 31. – P. 1471–1479.

134. Blair, N. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility Part I: Broadbalk experiment / N. Blair, R.D. Faulkner, A.R. Till et al. // *Soil Tillage Research*. – 2006. – Vol. 91. – P. 30–38.

135. Blum W.E.H. The Challenge of soil protection in Europe / W.E.H. Blum // *Environmental Conservation*. – 1990. – Vol. 17. – P. 72 – 74.

136. Böhme, Livia. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments / Livia Böhme, Uwe Langer, Frank Böhme // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2005. – Vol. 109, № 1-2. – P. 141-152.

137. Bowdena, R.D. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest / R.D. Bowdena, E. Davidson, K. Savage et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2004. – Vol. 196. – P. 43-56.

138. Bowden, R.D. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions / R.D. Bowden, K.M. Newkirk, G. Rullo // *Soil Biology & Biochemistry*. – 1998. – Vol. 30. – P. 1591–1597.

139. Brookes, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals / P.C. Brookes // *Biology & Fertility of Soils*. – 1995. – Vol. 19. – P. 269–279.

140. Brzezinska, M. Significance of soil enzymes in nutrient transformations / M. Brzezinska // *Acta Agrophys*. – 2002. – Vol. 63. – P. 5-23.

141. Buckley, D.H. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation / D.H. Buckley, T.M. Schmidt // *Microbial Ecology*. – 2001. – Vol. 42. – P. 11–21.

142. Camberdella, C.A. Particulate soil organic matter across grassland cultivation sequence / C.A. Camberdella, E.T. Elliott // *Soil Science Society of America Journal*. – 1992. – Vol. 56. – P. 777–783.

143. Cao, H. A review: soil enzyme activity and its indication for soil quality / H. Cao, H. Sun, H. Yang // *Chinese Journal of Applied Ecology*. – 2003. – Vol. 9, № 1. – P. 105–109.

144. Dick, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R.P. Dick // In: Doran, J.W. (Ed.), *Defining Soil Quality for Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Special Publication. – 1994. – Vol. 35. SSSA-ASA, Madison, WI, pp. 107–124.

145. Ding, W. CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer / W. Ding, L. Meng, Y. Yin, Z. Cai et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – P. 669-679.

146. Dong, Jiang. Long-Term Effects of Manure and Inorganic Fertilizers on Yield and Soil Fertility for a Winter Wheat-Maize System in Jiangsu, China / Jiang Dong, H. Hengsdijk, Dai Ting-Bo // Elsevier Limited and Science Press. – 2006. – Vol. 16, №30030090. – P. 25-32.

147. Ebhin Masto, R. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol / R. Ebhin Masto, P.K. Chhonkar, Dhyhan Singh, A.K. Patra // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2006. – Vol. 38, № 7. – P. 1577-1582.

148. Edmeades, D.C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review / D. C. Edmeades // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2003. – Vol. 66. – P. 165-180.

149. Eivazi, F. Selected soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long term cropping systems / F. Eivazi, M.R. Bayan, K. Schmidt // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2003. – Vol. 34, № 15-16. – P. 2259–2275.

150. Fan, Fenliang. Mineral fertilizer alters cellulolytic community structure and suppresses soil cellobiohydrolase activity in a long-term fertilization / F. Fan, Zh. Li, S. Wakelin et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2012. – Vol. 55. – P. 70-77.

151. Fansler, S.J. Distribution of two C cycle enzymes in soil aggregates of a prairie chronosequence / S.J. Fansler, J.L. Smith, H. Bolton et al. // *Biology and Fertility of Soils*. – 2005. – Vol. 42. – P. 17–23.

152. Fernandes, Cruvinel. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil / Êrika B. Fernandes Cruvinela, Mercedes M. da C.

Bustamante, Alessandra R. Kozovitsc, Richard G. Zeppd // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2011. – Vol. 144, № 1 – P. 29–40.

153. Ferreras, L. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil / L. Ferreras, E. Gomez, S. Toresani et al. // *Bioresource Technology*. – 2006. – Vol. 97, № 4 – P. 635–640.

154. Filip, Z. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters / Z. Filip // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2002. – Vol. 88. – P. 164–174.

155. Fisk, M.C. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests / M.C. Fisk, T.J. Fahey // *Biogeochemistry*. – 2001. – Vol. 53. – P. 201–223.

156. García-Ruiz, Roberto. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems / Roberto García-Ruiz, Victoria Ochoa, M. Belén Hinojosa, Jose Antonio Carreira // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2008. – Vol. 40, № 9. – P. 2137-2145.

157. Gil-Sotres, F. Different approaches to evaluate soil quality using biochemical properties / F. Gil-Sotres, C. Trasar-Cepeda, M.C. Leiro's, S. Seoane // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2005. – Vol. 37. – P. 877–887.

158. Gong, Wei. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China / Wei Gong , Xiaoyuan Yan, Jingyan Wang et al // *Geoderma*. – 2009. – Vol. 149, № 3-4. – P. 318-324.

159. Gu, Yunfu. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping / Yunfu Gu, Xiaoping Zhang, Shihua Tu et al. // *European Journal of Soil Biology*. – 2009. – Vol. 45, № 3 – P. 239-246.

160. Gua, Yunfu. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping / Y. Gua, X. Zhanga, Sh. Tub, K. Lindstro // *European Journal of Soil Biology*. – 2009. – Vol. 45, № 3. – P. 239–246.

161. Hall, S.J. NO₂ emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions / S.J. Hall, P.A. Matson, P.M. Roth // *Annual Review of Energy and the Environment*. – 1996. – Vol. 21. – P. 311–346.

162. Iqbal, Javed. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China / J. Iqbal, R. Hua, S. Lin et al. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2009. – Vol. 131, № 3-4. – P. 292-302.

163. Janzen, H. H. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies / H. H. Janzen, C. A. Campbell, R. C. Campbell et al. // *Soil & Tillage Research*. – 1998. – Vol. 47. – P. 181-195.

164. Jia, J.W. Study on the relationship between the soil physical–chemical properties and soil enzymatic activities of plastic greenhouse / J.W. Jia, J.H. Nie, X.H Li et al. // *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*. – 2001. – Vol. 32, № 4. – P. 427–432.

165. Jimenez, M.P. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameter / M.P. Jimenez, A.M. Horra, L. Pruzzo et al. // *Biology and Fertility of Soils*. – 2002. – Vol. 35. – P. 302–306.

166. Juan, Li. Effects of Long-Term Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on Microbial Biomass, Soil Enzyme Activities and Soil Fertility / LI Juan, ZHAO Bing-qiang, LI Xiu-ying et al. // *Agricultural Sciences in China*. – 2008. – Vol. 7, № 3. – P. 336-343.

167. Kanazawa, S. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil / S. Kanazawa, Z. Filip // *Microbial Ecology*. – 1986. – Vol. 12. – P. 205–215.

168. Kanchikerimath, Manjaiah. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India / Manjaiah Kanchikerimath, Dhyhan Singh // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2001. – Vol. 86, № 2. – P. 155-162.

169. Kandeler, E. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management / E. Kandeler, M. Stemmer, E.M. Klimanek // *Soil Biology & Biochemistry*. – 1999. – Vol. 31. – P. 261–273.

170. Karlen, D.L. Soil and crop management effects on soil quality indicators / D.L. Karlen, N.S. Eash, P.W. Unger // *American Journal of Alternative Agriculture*. – 1992. – Vol. 7. – P. 48–55.

171. Kunc, F. Compounds appearing in the biosphere through human activity / F. Kunc, V. Vancura. – *Soil Microbial Associations—Control of Structures and Functions*. Academia, Praha, 1988. – pp. 145–157.

172. Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security / R. Lal // *Science*. – 2004. – Vol. 304. – P. 1623–1627.

173. Ley, R.E. Fungal and bacterial responses to phenolic compounds and amino acids in high altitude barren soils / R.E. Ley, S.K. Schmidt // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2002. – Vol. 34. – P. 989–995.

174. Liang, Yongchao. Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil / Yongchao Liang, Yanfang Yang, Chaoguang Yang et al. // *Geoderma*. – 2003. – Vol. 115, № 1–2. – P. 149–160.

175. Linn, D.M. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils / D.M. Linn, J. W. Doran // *Soil Science Society of America Journal*. – 1984. – Vol. 48 – P. 1267–1272.

176. Lin, S. N₂O emissions from different land uses in mid-subtropical China / S. Lin, J. Iqbal, R.G. Hu, M.L. Feng // *Agriculture Ecosystems and Environment*. – 2010. – Vol. 136. – P. 40–48.

177. Liu, J.X. Correlative research on the activity of enzyme and soil nutrient in the different types of farmland / J.X. Liu // *Chinese Journal of Applied Ecology*. – 2004. – Vol. 35, № 4. – P. 20–23.

178. Liu, Enke. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China / Enke Liu, Changrong Yan, Xurong Mei // *Geoderma*. – 2010. – Vol. 158, № 3–4. – P. 173–180.

179. Liu, Yi-Ren. Enzyme Activity in Water-Stable Soil Aggregates as Affected by Long-Term Application of Organic Manure and Chemical Fertiliser / Yi-Ren Liu, Xiang Li, Qi-Rong Shen, Yang-Chun Xu // *Pedosphere*. – 2013. – Vol. 23, № 1. – P. 111-119.
180. Livia, B. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments / B. Livia, L. Uwe, B. Frank // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2005. – Vol. 109. – P. 141–152.
181. Lucas, R.W. Soil microbial communities and extracellular enzyme activity in the New Jersey Pinelands / R.W. Lucas, B.B. Casper, J.K. Jackson et al. // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – P. 2508–2519.
182. Lynch, J.M. Cultivation and the soil biomass / J.M. Lynch, L.M. Panting // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1980. – Vol. 12. – P. 29–33.
183. Mader, P. Soil fertility and biodiversity in organic farming / P. Mader, A. Fließbach, D. Dubois et al. // *Science*. – 2002. – Vol. 296. – P. 1694–1697.
184. Mandal, Asit. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages / Asit Mandal, Ashok K. Patra, Dhyani Singh et al. // *Bioresource technology*. – 2007. – Vol. 98, № 18. – P. 3585-3592.
185. Manna, M.C. Soil organic matter in a West Bengal Inceptisol after 30 years of multiple cropping and fertilization / M.C. Manna, A. Swarup, R.H. Wanjari et al. // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006. – Vol. 70. – P. 121–129.
186. Marinari, S. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties / S. Marinari, G. Masciandaro, B. Ceccanti, S. Grego // *European Journal of Agronomy*. – 2000. – Vol. 72. – P.9-17.
187. Marinari, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy / S. Marinari, R. Mancinelli, E. Campiglia et al. // *Ecological Indicators*. – 2006. – Vol. 6. – P. 701–711.
188. Marschner, P. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment / P. Marschner, E. Kandeler, B. Marschner // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2003. – Vol. 35. – P. 453–461.

189. Martens, D.A. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues / D.A. Martens, J.B. Johnson, W.T. Frankenberger Jr. // *Soil Science*. – 1992. – Vol. 153. – P. 53–61.

190. Marx, M.C. Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions / M.C. Marx, E. Kandeler, M. Wood // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2005. – Vol. 37, № 1. – P. 35-48.

191. Mosier, A.R. Soil processes and global change / A.R. Mosier // *Biology and Fertility of Soils*. – 1998. – Vol. 24. – P. 221–229.

192. Nannipieri, P. Enzyme activities and microbial and biochemical processes in soil / P. Nannipieri, E. Kandeler, P. Ruggiero. In Burns, R. G. and Dick, R. P. (eds.) *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Marcel Dekker. – New York, 2002. – pp. 1–33.

193. Nannipieri, P. Microbial diversity and soil functions / P. Nannipieri, J. Ascher, M.T. Ceccherini et al. // *European Journal of Soil Science*. – 2003. – Vol. 54, № 3. – P. 665-670.

194. Nayak, D.R. Long- term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aerobic Endoaquept planted to rice under flooded condition / D.R. Nayak, Y. Babub Jagadeesh, T.K. Adhya // *Soil Biology&Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – P. 1897–1906.

195. Olander, L.P. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability / L.P. Olander, P.M. Vitousek // *Biogeochemistry*. – 2000. – Vol. 49. – P. 175–190.

196. Patra, A.K. Effect of grazing on microbial functional groups involved in soil N dynamics / A.K. Patra, L. Abbadie, A. Clays-Josserand et al. // *Ecol. Monographs*. – 2005. – Vol. 75. – P. 65–80.

197. Purakayastha, T.J. Long-term impact of fertilizers on soil organic carbon pools and sequestration rates in maize–wheat–cowpea cropping system // T.J. Purakayastha, L. Rudrappa, D. Singh et al. // *Geoderma*. – 2008. – Vol. 144, № 1-2. – P. 370-378.

198. Qin, S.P. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management / S.P. Qin, C.H. Hu, X.H. He et al. // *Applied Soil Ecology*. – 2010. – Vol. 45. – P. 152–159.
199. Qiu, L.P. Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility / L.P. Qiu, J. Liu, Y.Q. Wang et al. // *Plant Nutrition and Fertilizer Science*. – 2004. – Vol. 10, № 3. – P. 277–280.
200. Raich, J.W. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils / J.W. Raich, C.S. Potter // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1995. – Vol. 9. – P. 23–36.
201. Rudrappa, L. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India / L. Rudrappa, T.J. Purakayastha, D. Singh, S. Bhadraray // *Soil Tillage Research*. – 2006. – Vol. 88. – P.180–192.
202. Saha, Supradip. Soil enzymatic activity as affected by long term application of farm yard manure and mineral fertilizer under a rainfed soybean–wheat system in N-W Himalaya // Supradip Saha, Ved Prakash, Samaresh Kundu et ai. // *European Journal of Soil Biology*. – 2008. – Vol. 44, № 3. – P. 309-315.
203. Saviozzi, A. Selected enzyme activities in particle-size fractions from an organically and conventionally managed soil / A. Saviozzi, R. Cardelli, L. Labbaci et al. // *Fresen. Environ. Bull.* – 2007. – Vol. 16. – P. 1195–1200.
204. Schlesinger, W.H. Soil respiration and the global carbon cycle / W.H. Schlesinger, J.W. Andrews // *Biogeochemistry*. – 2000. – Vol. 48. – P. 7–20.
205. Schipper, L.A. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses / L.A. Schipper, G.P. Sparling // *Soil Science Society of America Journal*. – 2000. – Vol. 64. – P. 300–311.
206. Schloter, M. Indicators for evaluating soil quality / M. Schloter, O. Dilly, J.K.Munch // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2003. – Vol. 98. – P. 255–262.
207. Singh, J.S. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems / J.S. Singh, S. R. Gupta // *Botanical Review*. – 1977. – Vol. 43, № 4. – P. 449–528.
208. Sitaula, B.K. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil / B.K. Sitaula, S. Hansen, J.I.B Sitaula et al. // *Chemosphere - Global Change Science*. – 2000. – Vol. 2. – P. 367–371.

209. Trasar-Cepeda, C. Thermodynamic parameters of enzymes in grassland soils of Galicia, NW Spain / C. Trasar-Cepeda, F. Gil-Sotres, M.C. Leiro's // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – P. 311–319.

210. Trasar-Cepeda, C. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality / C. Trasar-Cepeda, M.C. Leiro's, F. Gil-Sotres // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2008. – Vol. 40, № 9. – P. 2146-2155.

211. Tripathia, Sudipta Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India / Sudipta Tripathia, Ashis Chakraborty, Kalyan Chakrabartia, Bimal Kumar Bandyopadhyay // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39, № 11 – P. 2840–2848.

212. Waldrop, M.P. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity / M.P. Waldrop, D.R. Zak, R.L. Sinsabaugh et al. // *Ecological Applications*. – 2004. – Vol. 14. – P. 1172-1177.

213. Wang, Q.J. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China / Q.J. Wang, Y.H. Bai, H.W. Gao et al. // *Geoderma*. – 2008. – Vol. 144. – P. 502–508.

214. Weitz, A.M. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability / A.M. Weitz, E. Linder, S. Frohling et al. // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2001. – Vol. 33. – P. 1077-1093.

215. Wu, T.Y. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China / T.Y. Wu, J.J. Schoenau, F.M. Li et al. // *Soil Tillage Research*. – 2004. – Vol. 77. – P. 59–68.

216. Yang, C.M. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes / C.M. Yang, L.Z. Yang, Z. Ouyang // *Geoderma*. – 2005. – Vol. 124. – P. 133–142.

217. Yang, Lijuan. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field / Lijuan Yang, Tianlai Li, Fusheng Li et al. // *Scientia Horticulturae*. – 2008. – Vol. 116, № 1. – P. 21-26.

218. Yusuf, A.A. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna / A.A.

Yusuf, R.C. Abaidoo, E.N.O. Iwuafor et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2009. – Vol. 129. – P. 325–331.

219. Zeller, V. Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: a study of land abandonment along a north–south gradient in the European Alps / V. Zeller, R.D. Bardgett, U. Tappeiner // Soil Biology & Biochemistry. – 2001. – Vol. 33. – P. 639–649.

220. Zhai, Li-mei. Long-Term Application of Organic Manure and Mineral Fertilizer on N₂O and CO₂ Emissions in a Red Soil from Cultivated Maize-Wheat Rotation in China // Li-mei Zhai, Hong-bin Liu, Ji-zong Zhang et al. // Agricultural Sciences in China. – 2010. – Vol. 10, № 11. – P. 1748-1757.

221. ГОСТ 26951-91 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. Принят Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 июня 1986 г., № 1950.

222. ГОСТ 26489-90 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Принят Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1985 г., № 821.

223. ГОСТ 26207-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Принят Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29 декабря 1991 г., № 2389.

224. ГОСТ 26487-90 Почвы. Определение обменного кальция и обменного магния методами ЦИНАО. Принят Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1985 г., № 820.

225. ГОСТ 26483-90 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Принят Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1985 г., № 820, 821.

226. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Принят постановлением комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1991 г., № 2389.

Приложение А

Таблица А.1 – Среднемесячные и среднемноголетние температуры воздуха, МС г. Благовещенска, 2010-2013 гг.

Годы	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	САТ за период	САТ за вегетацию
СМ, °С	-11,0	-21,1	-23,3	-18,1	-8,5	3,2	11,9	18,5	21,6	19,3	12,3	2,5	2414	2173
2010, °С											13,4	3,6		
2011, °С	-7,8	-21,1	-20,6	-15,9	-6,4	4,9	13,2	19,3	23,8	21,3	12,2	6,2	2658	2365
2012, °С	-8,6	-19,0	-25,2	-18,4	-9,4	4,2	14,2	21,4	22,6	20,0	13,4	2,4	2809	2409
2013, °С	-9,3	-21,1	-24,2	-19,8	-10,3	2,7	14,5	19,7	21,7	19,8	13,2	3,4	2719	2317

Таблица А.2 – Среднемесячная и среднемноголетняя сумма осадков, МП с. Садовое, 2010-2013 гг.

Годы	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	СО за период	СО за вегетацию
СМ, мм	12	7	8	5	12	22	39	85	106	103	66	20	485	355
2010, мм											16	13		
2011, мм	28	48	2	2	1	6	72	63	149	50	21	22	464	340
2012, мм	14	3	1	18	0	31	21	61	208	43	131	59	590	364
2013, мм	28	20	10	19	23	20	79	61	192	243	55	16	766	595

Примечание – СМ – средняя многолетняя, САТ – сумма активных температур, СО – сумма осадков

Приложение Б

Таблица Б.1 – Динамика эмиссии CO₂ из почвы, мг*кг/ч

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	56	97	82
3	N24	70	118	75
4	N24P30	72	102	96
6	N42P48	76	105	91
9	N24P30+навоз	61	103	69
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	80	89	72
3	N24	60	81	66
4	N24P30	84	73	57
6	N42P48	90	83	54
9	N24P30+навоз	82	73	71
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	68	60	68
3	N24	65	67	61
4	N24P30	57	72	75
6	N42P48	59	62	74
9	N24P30+навоз	70	55	70
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	63	69	65
3	N24	48	55	51
4	N24P30	56	69	63
6	N42P48	65	72	68
9	N24P30+навоз	60	70	68
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	65	83	74
3	N24	64	90	65
4	N24P30	69	84	78
6	N42P48	74	86	76
9	N24P30+навоз	67	80	70
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	74		
3	N24	73		
4	N24P30	77		
6	N42P48	79		
9	N24P30+навоз	72		

Приложение В

Таблица В.1 – Нитрификационная способность почвы, мг N-NO₃ на 1 кг
ПОЧВЫ

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	13,3	13,1	17,3
3	N24	14,1	16,0	17,3
4	N24P30	13,1	17,4	19,7
6	N42P48	13,3	16,6	19,1
9	N24P30+навоз	14,6	19,9	17,0
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	14,4	13,3	21,4
3	N24	14,9	12,5	20,6
4	N24P30	16,2	14,6	23,5
6	N42P48	15,1	16,5	22,7
9	N24P30+навоз	16,7	14,9	23,5
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	15,2	15,4	16,7
3	N24	15,1	14,9	19,5
4	N24P30	18,7	17,7	19,2
6	N42P48	16,3	15,7	20,2
9	N24P30+навоз	15,2	17,3	21,2
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	14,2	15,2	22,3
3	N24	16,2	12,4	25,4
4	N24P30	14,7	12,9	21,6
6	N42P48	14,4	15,9	21,6
9	N24P30+навоз	18,0	15,2	24,6

Приложение Г

Таблица Г.1 – Динамика активности уреазы в почве, мг NH₃ на 1 г почвы за 24 часа

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	-	0,239	0,608
3	N24	-	0,229	0,608
4	N24P30	-	0,198	0,594
6	N42P48	-	0,196	0,603
9	N24P30+навоз	-	0,256	0,613
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	0,297	0,449	0,276
3	N24	0,277	0,443	0,256
4	N24P30	0,269	0,458	0,279
6	N42P48	0,272	0,419	0,312
9	N24P30+навоз	0,239	0,442	0,251
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	0,136	0,499	0,422
3	N24	0,081	0,420	0,437
4	N24P30	0,128	0,298	0,426
6	N42P48	0,125	0,345	0,444
9	N24P30+навоз	0,085	0,430	0,375
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	0,082	0,331	0,573
3	N24	0,071	0,408	0,587
4	N24P30	0,086	0,366	0,592
6	N42P48	0,099	0,346	0,605
9	N24P30+навоз	0,055	0,403	0,550
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	0,203	0,355	0,501
3	N24	0,173	0,349	0,505
4	N24P30	0,188	0,308	0,502
6	N42P48	0,191	0,306	0,518
9	N24P30+навоз	0,153	0,361	0,482
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	0,353		
3	N24	0,342		
4	N24P30	0,333		
6	N42P48	0,338		
9	N24P30+навоз	0,332		

Приложение Д

Таблица Д.1 – Динамика активности фосфатазы в почве, мг P₂O₅ на 1 г почвы за 24 часа

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	2,66	2,93	5,86
3	N24	2,66	2,74	5,90
4	N24P30	2,76	2,93	6,10
6	N42P48	2,81	2,98	6,89
9	N24P30+навоз	2,74	2,90	5,86
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	3,02	2,59	2,64
3	N24	2,62	2,52	2,88
4	N24P30	2,53	2,76	2,45
6	N42P48	2,81	2,62	2,35
9	N24P30+навоз	2,76	2,18	2,78
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	3,40	2,76	1,58
3	N24	3,25	2,88	1,97
4	N24P30	3,38	2,93	1,73
6	N42P48	3,12	2,69	2,06
9	N24P30+навоз	3,16	3,17	2,38
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	3,06	2,18	3,36
3	N24	3,45	2,29	3,12
4	N24P30	3,48	2,06	3,43
6	N42P48	3,21	2,06	3,46
9	N24P30+навоз	3,15	2,11	3,10
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	2,95	2,72	3,73
3	N24	2,88	2,67	3,83
4	N24P30	2,93	2,81	3,84
6	N42P48	2,93	2,73	4,21
9	N24P30+навоз	2,89	2,69	3,90
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	3,13		
3	N24	3,13		
4	N24P30	3,19		
6	N42P48	3,29		
9	N24P30+навоз	3,16		

Приложение Е

Таблица Е.1 – Динамика активности каталазы в почве, см³ О₂ на 1 г почвы за 1 минуту

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	-	0,241	0,243
3	N24	-	0,224	0,240
4	N24P30	-	0,216	0,228
6	N42P48	-	0,213	0,246
9	N24P30+навоз	-	0,231	0,265
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	0,250	0,250	0,291
3	N24	0,238	0,254	0,290
4	N24P30	0,235	0,238	0,284
6	N42P48	0,238	0,235	0,271
9	N24P30+навоз	0,250	0,250	0,299
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	0,250	0,241	0,198
3	N24	0,258	0,227	0,207
4	N24P30	0,254	0,232	0,178
6	N42P48	0,238	0,216	0,224
9	N24P30+навоз	0,269	0,241	0,212
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	0,199	0,292	0,259
3	N24	0,202	0,298	0,279
4	N24P30	0,187	0,291	0,269
6	N42P48	0,187	0,290	0,274
9	N24P30+навоз	0,205	0,292	0,250
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	0,242	0,249	0,243
3	N24	0,240	0,240	0,247
4	N24P30	0,235	0,233	0,233
6	N42P48	0,232	0,226	0,251
9	N24P30+навоз	0,246	0,245	0,253
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	0,244		
3	N24	0,242		
4	N24P30	0,234		
6	N42P48	0,236		
9	N24P30+навоз	0,247		

Приложение Ж

Таблица Ж.1 – Динамика активности пероксидазы в почве, мг пурпургал-лина на 100 г почвы за 30 минут

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	193	215	130
3	N24	207	188	113
4	N24P30	184	167	157
6	N42P48	190	143	145
9	N24P30+навоз	165	167	139
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	131	186	162
3	N24	130	216	177
4	N24P30	154	194	156
6	N42P48	149	202	149
9	N24P30+навоз	133	200	162
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	157	228	129
3	N24	129	226	135
4	N24P30	122	242	132
6	N42P48	166	258	100
9	N24P30+навоз	153	226	126
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	238	267	116
3	N24	249	262	119
4	N24P30	230	252	104
6	N42P48	236	250	115
9	N24P30+навоз	258	244	107
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	177	215	132
3	N24	178	211	130
4	N24P30	169	200	139
6	N42P48	181	196	128
9	N24P30+навоз	166	197	132
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	175		
3	N24	173		
4	N24P30	169		
6	N42P48	168		
9	N24P30+навоз	165		

Приложение И

Таблица И.1 – Динамика активности полифенолоксидазы в почве, мг пурпургаллина на 100 г почвы за 30 минут

№ вар.	Наименование варианта	2011 г.	2012 г.	2013 г.
		Фаза – кущение пшеницы		
1	контроль	44	24	45
3	N24	43	28	32
4	N24P30	42	26	36
6	N42P48	39	23	39
9	N24P30+навоз	39	28	38
Фаза – выход в трубку пшеницы				
1	контроль	29	26	41
3	N24	26	27	43
4	N24P30	30	30	51
6	N42P48	31	25	62
9	N24P30+навоз	29	30	54
Фаза – колошение пшеницы				
1	контроль	38	17	40
3	N24	34	13	46
4	N24P30	37	18	42
6	N42P48	39	17	39
9	N24P30+навоз	38	18	43
Фаза – восковая спелость пшеницы				
1	контроль	37	31	41
3	N24	43	24	48
4	N24P30	48	32	36
6	N42P48	43	31	43
9	N24P30+навоз	35	29	42
Средневзвешенная величина за вегетацию				
1	контроль	39	23	42
3	N24	37	24	41
4	N24P30	39	26	40
6	N42P48	38	23	43
9	N24P30+навоз	36	26	43
Средневзвешенная величина за 2011-2013 гг.				
1	контроль	35		
3	N24			
4	N24P30			
6	N42P48			
9	N24P30+навоз			