



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На тему: Изменение биохимических характеристик серых лесных почв при
разных агроэкологических нагрузках

Исполнитель

Петров Антон Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Обзор литературы.....	6
1.1 Биологические показатели плодородия и биохимические процессы, протекающие в почве	6
1.2 Изменение направленности биохимических процессов при проведении ресурсосберегающих систем обработки	10
1.3 Влияние органических удобрений на биологические показатели плодородия почвы	13
2 Объекты и методы исследования	17
2.1 Условия и методика проведения исследований	17
2.1.1 Условия места проведения исследований	17
2.1.2 Климатические условия	23
2.1.3 Методика стационарного полевого опыта	26
2.1.4 Методика полевых и лабораторных исследований	30
3 Полученные результаты.....	36
3.1 Влияние обработок на изменение общего углерода в пахотном горизонте серых лесных почвах.....	36
3.2 Влияние обработок почв на ферментативную активность уреазы	41
3.3 Влияние обработок почв на ферментативную активность каталазы.....	44
3.4 Влияние обработок почв на ферментативную активность фосфатазы ...	46
3.5 Влияние обработок почв на ферментативную активность полифенолоксидазы	48
3.6 Влияние обработок почв на ферментативную активность пероксидазы	50
3.7 Коэффициент гумификации по отношению активности полифенолоксидазы (ПФО) к активности пероксидазы (ПО) в вариантах эксперимента	52

3.8 Урожайность полевых культур при использовании разных технологий возделывания	53
Разработка практических рекомендаций по решению рассматриваемой экологической проблемы	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	58
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Для современной системы земледелия, развивающейся в условиях глобальных климатических перемен, большое значение имеют биологические факторы, служащие основой плодородия почв и поддерживающие уровень интенсивности синтеза и разложения гумуса, органических соединений азота и фосфора, необходимых для успешного функционирования растительного сообщества. Известно, что микробиологическая активность, совместно с комплексом ферментов, многогранно изменяется под действием различных технологий, применяемых для выращивания культур. Почвенные ферменты участвуют в биогеохимическом цикле почвенного углерода (C), азота (N) и фосфора (P), которые можно использовать в качестве ранних чувствительных индикаторов изменений питательных веществ в почве, вызванных изменением среды в результате применения различных технологий, применяемых человеком для выращивания различных культур. Реакция почвенных ферментов на антропогенные факторы происходит быстрее, чем в других почвенных переменных, например, биологической активности [64]. Следовательно, активность почвенных ферментов может рассматриваться как первейший и наиболее чувствительный индикатор при оценке качества почвы в случае их антропогенного использования. Кроме того, показатели ферментативной активности имеют ряд преимуществ по сравнению с другими биологическими характеристиками, заключающихся в большей стабильности ферментативных параметров за счет прочной связи с органическими и минеральными компонентами почвы [66, 67].

В современном сельском хозяйстве Российской Федерации наиболее активно используются серые лесные почвы, особенно для выращивания кормовых, зерновых и плодовоовощных культур. Серые лесные почвы занимают третье место в почвенном покрове после подзолистых и заболоченных почв в Нечерноземной зоне России. Серые лесные почвы обычно встречаются большими массами, что делает их наиболее перспективными для

сельскохозяйственного использования. Особенно это касается темно-серых лесных почв со вторым гумусовым горизонтом, почвы которых в настоящее время в целинном состоянии встречаются редко. Изучение серых лесных почв приобретает, в связи с этим актуальность, так как эти почвы являются отражением современного процесса лесостепного почвообразования и в связи с их высокой аграрной освоенностью [47].

Для изучения изменения биохимических характеристик серых лесных почв при разных агроэкологических нагрузках были исследованы нарушенные образцы серой лесной среднесуглинистой почвы с экспериментального полигона Владимирского НИИСХ (г. Суздаль) в апреле 2023 года. На данном полигоне с 1986 года проводится многолетний полевой эксперимент по оценке эффективности влияния различных основных обработок почвы на урожай сельскохозяйственных культур.

Цель исследований: сравнительная оценка ферментативной активности серой лесной среднесуглинистой почвы при разных агроэкологических нагрузках.

Задачи исследований:

1. Анализ литературных данных по влиянию различных агротехнологий на свойства почв и их ферментативную активность
2. Изучение влияния разных технологий обработки почв на содержание органического вещества и минерального азота в серой лесной почве
3. Оценка ферментативной активности серых лесных почв при различных антропогенных нагрузках.
4. Оценка урожайности культур при различных агроэкологических нагрузках
5. Практические рекомендации по использованию изученных агротехнологий на серых лесных почвах

1 Обзор литературы

1.1 Биологические показатели плодородия и биохимические процессы, протекающие в почве

С нынешним проявлением изменяющегося климата состояние деградации окружающей среды и разрушения различных агроэкосистем происходит в «катастрофически коротких временных рамках», которые, по различным оценкам, ускоряются от 1000 до 10 000 раз, чем нормальная скорость. Биологическое разнообразие имеет решающее значение для обеспечения лучшего будущего. Люди несут огромную ответственность за поддержание и расширение глобального биоразнообразия, которое обеспечивает человеческое общество пищей, топливом и древесиной.

Существует два способа обратить вспять эту тенденцию утраты среды обитания — это сохранение жизнеспособных в настоящее время мест обитания и восстановление деградированных экосистем.

Чтобы понять важность восстановления экосистемы, необходимо обратить внимание на причину деградации экосистемы и ее последствия. Деградация экосистемы является результатом долгосрочной деградации окружающей среды. По определению, деградация окружающей среды – это любое изменение или нарушение окружающей среды, которое воспринимается как вредное или нежелательное. Ухудшение состояния окружающей среды проявляется по-разному через истощение ресурсов, таких как воздух, вода и почва, что приводит к разрушению среды обитания, исчезновению дикой природы и загрязнению, приводящему к полному разрушению экосистем. Деградация окружающей среды в основном происходит из-за чрезмерной эксплуатации ресурсов для краткосрочных экономических целей, а именно. вырубка лесов для добычи полезных ископаемых, строительства дорог или эксплуатации флоры и фауны.

Некоторые природные явления, такие как действующие вулканы, ураганы, засухи и землетрясения, также могут быть причиной ущерба экосистеме. Многие экосистемы мира подверглись значительной деградации, что отрицательно сказалось на биологическом разнообразии. По сути, деградация экосистем — это экологическая проблема, которая снижает способность видов к выживанию. Восстановление экосистемы может быть единственным решением существующего кризиса.

Особое внимание уделяется связующему звену экосистем — почвам. Динамические свойства почвы могут использоваться для мониторинга и оценки последствий восстановительных работ для функционирования и услуг экосистем. В любом случае, поиск подходящих показателей состояния почвы для мониторинга мероприятий по экологическому восстановлению в различных масштабах требует полного понимания взаимоотношений почвы, растений и экосистем. Современные методы оценки состояния почв не дают полной картины состояния функционирующей почвенной системы. Несмотря на знание этих управленческих решений, им не хватает каких-либо указаний на динамические способы, которыми почвы должны реагировать на антропогенные стрессы и нарушения.

Плодородие почвы является одной из важнейших характеристик почвы для роста сельскохозяйственных культур. Для правильного роста и хорошего урожая сельскохозяйственным культурам необходимы азот, фосфор, калий и другие питательные вещества в нужном количестве. Плодородные почвы сохраняют от умеренного до высокого уровня питательных веществ, необходимых для роста растений и хорошего урожая. Как органическое вещество почвы, так и минеральный состав влияют на ее плодородие. Они влияют на присутствующие питательные вещества, на то, как они хранятся в почве, и, наряду с биологией почвы, на то, как питательные вещества становятся доступными для растений.

Органические материалы, такие как остатки покровных культур и навоз, играют важную роль в сохранении органического вещества почвы. Для покровных культур, помимо влажности и температуры, качество остатков определяет, насколько быстро эти материалы разрушаются и выделяют питательные вещества. На качество остатков влияет соотношение углерода и азота (отношение C:N), а также количество и тип присутствующих органических соединений. Азот в остатках либо выделяется для поглощения растениями, либо иммобилизуется в микробной массе, в зависимости от качества остатков. Как правило, остатки с соотношением C:N менее 20 разлагаются в течение недель или месяцев в зависимости от условий и снабжают азотом следующую культуру. Растения с более низким соотношением C:N также имеют тенденцию содержать большее количество углеводов. Остатки с соотношением C:N 40 или выше разлагаются медленно, поэтому азот становится менее доступным для следующей культуры.

На данный момент можно наблюдать, что человек оказывает огромное влияние на совокупность природных факторов, которые влияют на плодородие почв. Деятельность человека в различных ситуациях оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на почву. С одной стороны, общества разработали системы классификации почв, методы тестирования качества почв и меры по поддержанию плодородия почв, которые повысили полезность и плодородие почв. С другой стороны, антропогенная деятельность, такая как обработка почвы, внесение удобрений, осушение, орошение, мелиорация солонцов, промывка солей, создание лесозащитных полос и др., привела к снижению плодородия почвы. Кроме того, загрязнение почвы в результате антропогенной деятельности, такой как добыча полезных ископаемых, производство и использование пестицидов, стало серьезной проблемой, отрицательно влияющей на характеристики почвы и баланс питательных веществ. Это негативное воздействие на почву может иметь пагубные последствия для здоровья человека, поскольку почва является важным источником питательных веществ в наших продуктах

питания и может содержать вредные элементы или химические соединения. Поэтому крайне важно понимать сложные взаимодействия между деятельностью человека и почвой, чтобы решить проблему деградации почвы и ее воздействия на здоровье человека [22].

Для того, чтобы оценить положительные и отрицательные последствия от применения тех или иных технологий, требуется четкое знание экологической ситуации при использовании системы земледелия. Экологизация земледелия является приоритетом как фермеров, так и экологов. Соблюдение принципов устойчивости почвы и других компонентов окружающей среды является основной предпосылкой устойчивости жизни. Необходимо отметить, что взаимосвязь и взаимодействие компонентов почвенного состава и его свойств происходит в условиях гидротермической атмосферы, которая является важным фактором для формирования почвенных режимов [31].

При увеличении антропогенного воздействия возникла необходимость в разработке методов, которые позволяли бы вовремя обнаруживать и устранять последствия антропогенного влияния на природные экосистемы, а также определять долгосрочные тенденции и способность биологической системы к нейтрализации разнообразных и часто одновременно действующих факторов. В настоящее время, в связи с быстрым реагированием организмов на любые отклонения окружающей среды от нормы, стало актуальным использование биологических методов для диагностики антропогенных нарушений [14, 41, 43].

Биодиагностика и индикация почв призвана определять свойства среды обитания с помощью отдельных видов организмов или их сообществ, а также биологически активных метаболитов, которые используются для характеристики почвы. При диагностике состояния почвенного покрова и его функционирования важно иметь представление о том, какова актуальная биологическая активность почвы. Она может быть определена через какой-то всеобщий процесс, который осуществляется всеми микроорганизмами или же

всей почвенной биотой, при этом интенсивность этого процесса можно измерить непосредственно в естественных условиях [12, 16].

Основополагающими для биохимических процессов в почве являются агрохимические и биологические показатели плодородия. Однако изменчивость почвы и специфические условия окружающей среды могут контролировать изменения почвенных процессов и, следовательно, микробную изменчивость почвы. Быстрая реакция почвенных микробных популяций на изменения свойств почвы и землепользования, например, заставила научное сообщество сосредоточиться на микробной биомассе и активности как точных и чувствительных индикаторах пригодности почвы к выполняющим экологические функции, а именно: содержание гумуса и биоактивность [29, 38, 41, 55].

Анализ изменения баланса питательных веществ (N, P, K) позволяет сделать вывод о том, что в некоторых хозяйствах наблюдается отрицательный баланс по гумусу и основным элементам питания (N, P, K). Иногда даже наблюдается постепенное истощение почв и в результате этого - понижение общего плодородия. Большинство ученых считает, что для увеличения плодородия почвы следует использовать биологический фактор [33, 35].

1.2 Изменение направленности биохимических процессов при проведении ресурсосберегающих систем обработки

Ресурсосберегающие, экономически и экологически эффективные системы земледелия являются основой для сбережения плодородия почв [6]. На данный момент большую роль в развитии сельского хозяйства играют современные сельскохозяйственные методы, которые способствуют улучшению качества почв и обеспечивают их устойчивое развитие. Во время разработки новой системы земледелия важно учесть ее влияние на биологические свойства почвы, которые могут характеризовать уровень почвенного плодородия [27, 44].

Обработка почвы – важный процесс для любого вида сельского хозяйства. Он включает в себя подготовку почвы в вашем саду или на ферме путем ее рыхления и разделения на более мелкие куски, чтобы обеспечить поглощение воды, минералов и кислорода. Он также способствует росту полезных микроорганизмов и предотвращает потерю воды, поскольку более крупные куски не могут ее так легко хранить, а также уменьшает уплотнение от дождя и других природных сил, которые могут затруднить работу с почвой. Короче говоря, обработка почвы — это процесс, с помощью которого мы превращаем бугристый участок земли в пахотную, здоровую почву, на которой можно устойчиво производить продукты питания. Влияние ее на агрохимические и биологические свойства почвы является значимым, она играет важную роль в регулировании содержания воды, воздуха и питательных веществ в пахотном слое [21, 37].

Операции по обработке почвы обычно используются для подготовки желаемого посевного поля, уменьшения роста сорняков, внесения удобрений или улучшения состояния почвы. Именно при обработке почвы наблюдается около 20-40% трудовых и 25% энергетических затрат, что сопряжено с определенными затратами. В определенных погодных и полевых условиях для подготовки поля может потребоваться дополнительная обработка почвы. Часто фермеры рассматривают обработку почвы, тщательно взвешивая затраты и потенциальные выгоды [4, 10, 45, 46].

Отмечается, что многократные обработки приводят к отрицательному результату, особенно это отмечается при частых рыхлениях полей, что приводит к активизации процессов биологической минерализации органического вещества и значительному уменьшению количества азота.

В современном мире все более актуальными становятся ресурсосберегающие технологии в обработке почвы, которые должны быть экологически, экономически и социально ответственным и способствовать наличию, доступу, использованию и стабильности продовольственной безопасности. Устойчивые сельскохозяйственные системы будущего должны

быть технически целесообразными, продуктивными, экономически жизнеспособными и эффективными, социально справедливыми и приемлемыми, экологически чистыми, а также защищать генетические ресурсы почвы, воды, растений и животных [22]. В число ресурсосберегающих технологий включены безотвальное рыхление, чизелевание, а также плоскорезная, минимальная, нулевая и их комбинации. При этом данные виды обработки являются менее затратными, по сравнению с общедоступными основными способами обработки, так как энергия не расходуется на оборачивание почвы [9, 25, 36].

Условия, при которых производится обработка почвы, определяют выбор приемов обработки и почвообрабатывающих орудий. При этом учитывают предшественника, гранулометрический состав почвы, степень засоренности и видовой состав сорняков, а также погоду. Среди всех способов основной обработки почв под зерновые культуры, зяблевая вспашка является наиболее распространенным. Она может быть проведена с предварительным лущением или без него [38].

Вспашка является самым дорогостоящим и энергоемким приёмом в агротехнике возделывания полевых культур. В процессе ее проведения необходимо использование большого количества техники, нефтепродуктов, трудовых ресурсов и времени. При этом, в агротехнике выращивания зерновых культур большее распространение получают технологии, которые направлены на снижение затрат на энергию и труд. Это может быть нулевая обработка почвы (плоскорезная), поверхностная обработка (или мелкая), а также технология, направленная на уменьшение площади обработки.

Однако, при уменьшении интенсивности обработки почвенной поверхности с отвальной до минимально-нулевой происходит увеличение засорённости агрофитоценоза. На борьбу с сорняками, которые являются причиной засорения полей, необходимо тратить больше топлива и денежных средств, что ведет к увеличению затрат на содержание и обслуживание техники, в результате чего возрастает стоимость продукции [13, 23, 42].

В случае применения классической системы обработки, которая предполагает оборот пласта почвы, происходит не только агрофизическая деградация, но и снижение содержания органического вещества в почве. Это приводит к снижению почвенного плодородия и урожайности выращиваемых культур [51, 56].

1.3 Влияние органических удобрений на биологические показатели плодородия почвы

При использовании в севообороте органические удобрения следует вносить в первую очередь под те культуры, которые обеспечивают наиболее высокие урожаи. Это могут быть овощи, озимые зерновые и кормовые корнеплоды. Осенью органические удобрения лучше всего вносить на тяжелых и средних суглинках, которые нуждаются в зяблевой вспашке. Весной под плуг на песчаных и супесчаных почвах нужно будет копать землю на глубину, превышающую пахотный слой. Удобрения лучше всего вносить на глубину 25-27 см. При этом рациональные дозы органических удобрений составляют: для пропашных культур - 30-60, для зерновых и корнеплодов - 25-30, а для овощных и корнеплода - 40-60 т/га.

Солома является одним из видов органических удобрений, которые играют важную роль в качестве источника питательных веществ. При заделке соломы в почву образуется больше гумуса. Это связано с тем, что известно, что она содержит более 80% сухого органического целлюлозного материала и практически лишена влаги. Каждая тонна соломы по содержанию органики способна заменить 4–5 тонн полуперепревшего навоза, положительно влияя на количество и качество образования гумуса. Новообразованные гуминовые вещества характеризуются адгезивными свойствами и оказывают наибольшее влияние на создание агрономически ценной, связанной, водостойкой структуры. Без участия гуминовых веществ структура почвы не будет

характеризуется водостойкостью, так как это свойство обеспечивается органическими коллоидами, в первую очередь гуматами кальция. Кроме того, вместе с соломой в почву поступают такие химические элементы, как бор и медь, сера, молибден, цинк, кобальт [17].

Практически во всех исследованиях, проведенных в различных почвенно-климатических условиях и имеющих отношение к различным типам почв, отмечается положительное влияние соломы на свойства почвы, не уступающие по своим характеристикам воздействию других органических удобрений [3, 30, 49]. Возведение соломы в почве способствует усилению жизнедеятельности микроорганизмов, так как она является сравнительно доступным источником углерода и активизирует биологическую активность почвы [24, 30, 39, 48].

Использование в качестве органического удобрения соломы имеет свои особенности: степень ее измельчения влияет на скорость разложения. Менее тонкая резка соломы способствует более быстрому разложению и минерализации. В настоящий момент практически все современные зерноуборочные комбайны оснащены измельчителями соломы, которые обеспечивают высокую степень измельчения и распределения соломы на площади, которая была убрана. В зерноуборочных комбайнах с копнителями возможно использование измельчителей соломы ПУН-5 и ПУН-6. Измельчённая солома укладывается в землю с помощью дисковых борон, дискового культиватора или дискатора на глубину 8-10 см. Это необходимо для того, чтобы обеспечить её разложение в аэробных условиях и минерализацию органического вещества. Введение азотных удобрений значительно увеличивает эффективность соломы как органического удобрения. В первый год после внесения соломы, азот способствует снятию депрессивного воздействия. На 1 тонну соломы рекомендуется вносить 10-12 кг азотных удобрений. Используя измельченную и оставленную после уборки на поле соломенную массу, можно внести бесподстилочный навоз (60-80 т/га) или навозные стоки (200-300 т/га), а затем обработать их дисковыми

почвообрабатывающими машинами. В первую очередь, на полях, которые удобрены соломой, следует выращивать пропашные или бобовые культуры. Для того чтобы получить хороший урожай, необходимо проводить посев по соломе. Однако стоит помнить о том, что солома может стать причиной развития болезней и вредителей у зерновых культур [15, 21, 22, 54].

После того, как будет внесена солома в почву, происходит уменьшение ее объемного веса и увеличение количества водопрочных агрегатов, так как перегнойные вещества обладают высокой способностью к цементации, что способствует формированию водопрочной структуры почвы.

При внесении соломы в землю происходит процесс иммобилизации азота, а также выделение токсичных веществ при разложении растительных остатков. Это может привести к увеличению засоренности почвы. Помимо этого, солома способствует развитию отдельных видов почвенных микроорганизмов, которые выделяют токсины. Это может негативно сказаться на плодородии почв и культуре [59].

С точки зрения эффективности использования соломы, как органического удобрения, она практически не уступает подстилочному навозу.

Сидеральные культуры являются важнейшим биологическим фактором, который способствует воспроизводству плодородия почв.

Химические преимущества: сидераты увеличивают содержание органических веществ и, следовательно, доступность органических питательных веществ. При использовании в качестве покровной культуры снижает выщелачивание нитратов в зимний и дождливый сезоны. Кроме того, сидерат бобовых культур при правильном использовании может дать десятки, если не сотни килограммов органического азота.

Физические преимущества: благодаря аллелопатии и затенению сидераты удерживают под контролем спонтанные сорняки и могут предотвратить их развитие и, следовательно, их размножение. Кроме того, сидераты борются с эрозией почвы: растительный ярус затрудняет размывание

почвы ветром и дождем. Кроме того, органика в сидератах стабилизирует структуру почвы.

Биологические преимущества: Корневые выделения и вспаханные сидераты служат пищей для живых организмов в почве, таких как дождевые черви, а также для всей макро- и микробиотической составляющей. И они являются ключевым элементом, когда речь идет о плодородии почвы [24].

Для того, чтобы повысить эффективность использования этих культур, необходимо принять во внимание концепцию биологизации земледелия, которая основана на принципах максимальной сбалансированности синтеза и процесса разложения органики в агроэкосистемах. Для того чтобы получить высокие урожаи и качество продукции растениеводства, необходимо обеспечить сохранение плодородия почвенного покрова. Для этого следует проводить научно обоснованные внесение минеральных удобрений, органических или сидеральных культур в почву [1, 2, 31, 34].

2 Объекты и методы исследования

2.1 Условия и методика проведения исследований

2.1.1 Условия места проведения исследований

Основной объект исследования – серые лесные почвы, которые подвергались длительному периоду обработки. Образцы нарушенной серой лесной среднесуглинистой почвы отбирались на экспериментальном полигоне Владимирского НИИСХ. На данном полигоне с 1986 года заложен стационар, на котором проводятся полевые исследования, направленные на оценку эффективности различных методов обработки почвы для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.



Рисунок 1 – Вид на экспериментальную площадку Владимирского НИИСХ

Исследовались следующие методы:

- (1) ежегодная поверхностная безотвальная обработка почвы на глубину 6-8 см,

- (2) ежегодная глубокая безотвальная обработка на глубину 20-22 см,
- (3) ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см,
- (4) чизельная обработка на глубину 28-32 см и комбинированная обработка почвы, которая включает поверхностную безотвальную обработку на глубину 6-8 см в течение 4-х лет и чизельную вспашку на глубину 28-32 см, проводимую каждые 5 лет.



Рисунок 2 – Вид на город Суздаль с экспериментальной площадки

Экспериментальная площадка расположена в пределах Владимирского Ополя, в так называемой лесостепи, которая представляет из себя равнину, расчлененную эрозионной сетью. Она активно используется в сельскохозяйственном использовании, на ее территории отсутствует древесная растительность. Территория дренирована, здесь практически нет болотных массивов.

Почвенный покров представлен сочетанием серых лесных остаточно-карбонатных почв и серых лесных почв со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ).

Контролем служила залежная почва, на которой с 1986 года обработки не проводились.

Описание разреза, заложенного на серой лесной почве «Контроль» представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Описание профиля почвы, расположенной на залежи

Ad	0 - 13	Дерновый горизонт, черно-бурый, рыхлый, много корней растений, переход заметный по плотности и количеству корней.
A1	13 - 31	Старопахотный горизонт, черно-бурый, корней заметно меньше, чем выше, граница ровная, переход резкий по цвету.
AB	31 - 46	Бурый горизонт с черными прожилками по порам, переход постепенный.
B1(g)	46 - 94	Бурый горизонт с белесой присыпкой по граням структурных отдельностей, столбчатая структура.

Описание морфологического профиля серой лесной среднесуглинистой почвы на покровном карбонатном суглинке представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Описание профиля серой-лесной почвы

Апах	0 – 33 см.	Серо-бурый, с редкими мелкими желтовато-бурыми пятнами от припаханного нижележащего суглинка, влажный, среднесуглинистый, комковато-глыбистый,
------	------------	--

		уплотненный, с трубчатыми щелевидными порами, пронизан корнями, граница ровная, переход резкий.
B1t	33 – 55 см.	Темный желтовато-бурый, влажный, легкоглинистый, мелкоореховатый, рыхлый, с трубчатыми и щелевидными порами, с длинными узкими трещинами диаметром 0,5 см с засыпанным в них черным гумусированным материалом, с редкими прерывистыми серо-коричневыми кутанами и черными глянцевыми гумусовыми «лаками» на гранях педов, содержит тонкие корни, граница ровная, переход постепенный.
B2t	55 – 83 см.	Темный желтовато-бурый, влажный, тяжелосуглинистый, крупнопризматически-плитчато-ореховатый, рыхлый, с трубчатыми внутрипедными и щелевидными межпедными порами, с прерывистыми серо-коричневыми кутанами и гумусовыми «лаками», с точечной белесой скелетаной, с тонкими корнями, граница ровная, переход ясный по вскипанию.
B3tca	83 – 105 см.	Желтовато-бурый, сырой, тяжелосуглинистый, вязкий, крупнопризматически-ореховатый, уплотненный, с трубчатыми и щелевидными порами, с черными глянцевыми гумусовыми «лаками» по граням крупных призм, с плотными желтовато-белыми карбонатными журавчиками до 6 см в длину и 3 см в диаметре, с тонкими корнями, сильно вскипает от 10% HCl, граница ровная, переход постепенный.

B4tca	105 – 135 см.	Буровато-желтый, сырой, тяжелосуглинистый, вязкий, призматически-ореховатый, уплотненный, пористый, с засыпками черного гумусированного мелкозернистого материала в узких трещинах, с прерывистыми черными гумусовыми «лаками», локально встречающимися по граням педов, с карбонатными журавчиками, с редкими тонкими корнями, вскипает от 10% HCl, граница ровная, переход постепенный.
B5tca	135 – 155 см.	Светлый, желтовато-бурый, сырой, тяжелосуглинистый, вязкий, неясноореховатый, уплотненный, пористый, с редкими гумусовыми «лаками», с редкими карбонатными журавчиками, с единичными тонкими корнями, вскипает от 10% HCl, граница ровная, переход постепенный.
BtCca	155 – 200 см.	Светлый, желтовато-бурый, сырой, тяжелосуглинистый, вязкий, с вертикальными крупными отдельностями, уплотненный, с трубчатыми порами и редкими порами-трещинами, со сплошными черными глянцевыми гумусовыми «лаками» по магистральным трещинам, с карбонатными журавчиками, с единичными тонкими корнями, вскипает от 10% HCl.

Описание почвенного разреза серой лесной почвы со вторым гумусовым горизонтом представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Описание профиля серой лесной почвы со вторым гумусовым горизонтом

Апах	0 – 23 см.	Буровато-серый, плотный, увлажненный, структура от крупной до мелко-комковатой, корни, средний суглинок, граница ровная, переход в следующий горизонт постепенный.
А1	23 – 35 см.	Буровато-серый, плотный, комковато-плитчатый, увлажнен, средний суглинок, переход в следующий горизонт четкий по плотности и цвету.
А1'	35 - 53 см.	Темно-серый-черноватый, менее плотный, мелкокомковатая, легкий суглинок, увлажнен, переход в следующий горизонт четкий, неровный по цвету.
А1''са	53 – 70 см.	Черный с белесоватым оттенком (грибные гифы, остатки карбонатов), мелко-среднекомковатая, увлажнен, легкий суглинок, переход в следующий горизонт четкий по цвету, неровный из-за мелких ржавых пятен Fe-Mn.
В1gCa	70 – 83 см.	Буровато-коричневый с черными затемнениями и белесыми новообразованиями, как выщелоченный (карбонаты), комковато-плитчатый, среднесуглинистый, Fe-Mn мелкие ржавый пятна.
В2gCa	83 – 105 см.	Серовато-бурый с языками белесоватых новообразований из вышележащего горизонта, увлажнен, средний суглинок, крупно-комковатая-глыбистая, ржавые пятна, прееход постепенный по влажности и количеству белесых языков.

BCg	150 – 200 см.	Желтовато-бурый с новообразованиями по редким трещинам, увлажнен, более влажен, чем выщелочен, плитчато-глыбистая, переход постепенный по отсутствию белесых новообразований, влажная, крупноглыбистая с Fe-Mn примазками.
-----	---------------	--



Серая лесная почва



Серая лесная почва со вторым гумусовым горизонтом

Рисунок 3 – Профили разновидностей серой лесной почвы

2.1.2 Климатические условия

Владимирская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины и граничит с Московской, Ивановской, Нижегородской, Рязанской и Ярославской областями. Город Владимир расположен в 154 километрах к северо-востоку от Москвы. Река Клязьма прорезает Владимирскую область, разделяя ее на две почти равные части. К северу от реки простираются более возвышенные территории, занимающие более трети территории области, а к югу от нее — раскинувшаяся северная часть Мещерской низменности.

Климат города Суздаль представляет собой умеренно-континентальный. Из-за этого резкого перепада от зимних сильно низких температур до знойной летней жары нет. Зима в Суздале умеренно-холодная, преобладающая средняя температура воздуха которой бывает около 11-12°C. Длится она на протяжении не стандартных 3 месяцев, а немногим больше – 4-5. Начинается зимний период с ноября и продолжается до марта. Приносят морозный циклон и холодный сухой зимний ветер воздушные массы Арктики, дующие со стороны Северно-Ледовитого океана. Самым суровым месяцем является февраль.

Лето, в отличие от зимы, придерживается установленных стандартов и составляет 3 месяца. Погода в этот период также умеренно-теплая. В этом районе нет аномальной жары. Среднемесячная температура лета составляет около 18-20°C. В зависимости от нахождения определенных циклонов над территорией Суздаля, летний период может быть либо сухим и теплым, либо пасмурным и дождливым. Наиболее теплым летним месяцем принято считать июль. Он же обладает наибольшей вероятностью наличия дождей. Очень теплую и сухую погоду в этот регион поставляют тропические воздушные массы, идущие со стороны Средней Азии, Казахстана, Средиземного или Черного морей.

Осеннюю и весеннюю прохладу или небольшое тепло приносят на Суздальские земли умеренные воздушные массы. Они могут быть континентальными или морскими. Соответственно первые несут солнечную и теплую погоду, а вторые – пасмурную и дождливую. Поэтому сезонные периоды на территории Суздаля ярко выражены своими общепринятыми погодными условиями.

Самыми дождливыми считаются последний месяц весны – май и первые два месяца лета – июнь и июль. Если в такой период на протяжении пяти дней идут дожди, то количество осадков, выпавших за это время, может достигать 50-55 мм. Остальные месяцы не могут похвастаться таким насыщенным влагой воздухом.

Осадки:

В целом, период с апреля 2022 года по апрель 2023 года был более влажным, чем обычно. Особенно много осадков выпало в летние месяцы (июнь, июль, август). Зима 2022-2023 года была снежной, с обильным снегопадом.

Вегетационный период начинается на 1-2 недели раньше обычного срока, характерного для Нечерноземной зоны. Благоприятные погодные условия в апреле и мае способствуют быстрому развитию растений.

Лето характеризуется как теплое и влажное, что также благоприятно сказывается на росте и развитии сельскохозяйственных культур [68].

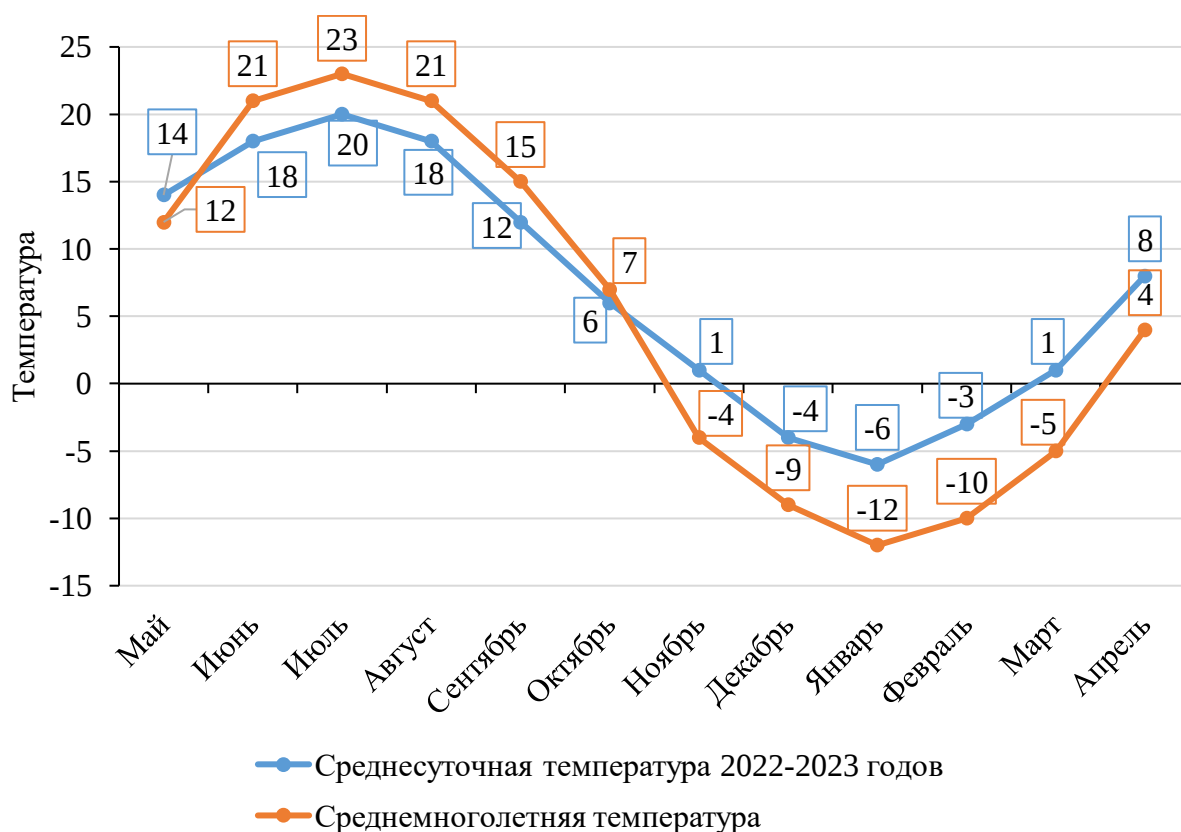


Рисунок 4 – Средняя месячная температура воздуха с мая 2022 по апрель 2023

На рисунке 4 представлена динамика температуры, которая наблюдалась в течение 2022-2023 года, к моменту отбора почвенных образцов.

Максимальные температуры наблюдаются в июле, а минимальные – в январе и феврале.

2.1.3 Методика стационарного полевого опыта

Все обработки на полигоне проводятся неизменно на одних и тех же участках, пятикратно повторяясь в пределах полигона.

В качестве контрольного варианта используется целина – участок поля, на котором никогда не проводились обработки (К).

Схема опыта представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Схема расположения полей и проводимые виды основной обработки

№ поля	Культура	Виды основной обработки				
1	Ячмень	целина	ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см	ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	комбинированная обработка на глубину 28-30 см
2	Овес + мн. травы					
3	Мн. травы 1 г.п.					
4	Мн. травы 2 г.п.					
5	Яр. пшеница					

Обработка почвы.

В сельском хозяйстве обработка почвы означает механическое воздействие на почву с целью достижения определённого результата, например измельчения, разрезания или перемещения. Эта процедура проводится для изменения структуры почвы, уничтожения сорняков и удаления растительных остатков. Изменение структуры почвы часто необходимо для улучшения впитывания, удержания и распределения воды, а также создания благоприятных условий для роста семян и развития корней.

В эксперименте изучались следующие виды обработки почвы, представленные в рисунке 5.

	ЕМБО - ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см;
	ЕГБО - ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см;
	ЕОВ - ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см;

	КО - комбинированная обработка на глубину 28-30 см, включающая безотвальную обработку на 6-8 см (в течение 4-х лет) и ярусную вспашку, проводимую 1 раз в 5 лет.
---	---

Рисунок 5 – Виды обработки почвы

Отбор образцов почвы проводился только из поля с ячменем с разных глубин пахотного горизонта: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 см. из первой повторности вида обработок.



Рисунок 6 – Отбор почвенных образцов из вариантов эксперимента

Отбор проб проводился по экспериментальной схеме рандомизированной квадратной выборки. Для каждого землепользования для сбора почвы было выбрано три квадрата размером 10 × 10 м. Точки отбора

проб должны были быть однородными по высоте и уклону. Из каждого квадрата образцы почвы были собраны после удаления подстилки из пяти разных точек на глубине 0–10, 10-20 и 20-30 см, и объединены для получения составного образца. Таким образом, для каждого типа землепользования было отобрано по три пробы почвы, всего 15 проб. Видимую корневую массу удаляли из образцов почвы вручную.

В таблице 5 представлена агрохимическая характеристика верхних слоев изучаемых разновидностей серой-лесной почвы.

Таблица 5 - Агрохимические свойства исследуемых серых лесных почв Владимирского ополья

Горизонт, см	Гумус , %	pH KCl	P ₂ O ₅	K ₂ O	Нг	S (Ca+Mg)	Ил	Физ. глина
			мг/кг		ммоль-экв/100 г почвы		(<0,00 1 мм)	(<0,01 мм)
Контроль (залежь)								
Ad+A1, 0-30 см	3,68	6,9	43	51	3,2	26,2	23	46
Серая лесная								
A пах, 0-23	3,52	6,94	142	206	2,6	24,4	21	43
Серая лесная с ВГГ								
A пах +A1 (0-35)	3,55	6,6	182	183	1,6	24,1	18	43

Как видно из представленной таблицы, изучаемые почвы отличались высоким содержанием органического вещества, при этом существенных различий по содержанию Собщ между исследуемыми вариантами не установлено, с тенденцией снижения в пахотных почвах по сравнению с залежью. В то же время, применение минеральных удобрений увеличило количество подвижных форм калия и фосфора, с существенно большим их содержанием в серой лесной почве со вторым гумусовым горизонтом.

Почвы имеют нейтральную реакцию среды, по гранулометрическому составу – среднесуглинистые.

2.1.4 Методика полевых и лабораторных исследований

Химические свойства почв:

Определение содержания гумуса в почве: при мокром озолении гумуса раствором дихромата калия углерод - титриметрический вариант метода И.В. Тюрина (рисунки 7,8).



Рисунок 7 – Процесс измельчения почвенного образца в фарфоровой ступке

Определение подвижных фосфатов и обменного калия по методу Кирсанова включало отправку высушенных образцов почвы в лабораторию

для анализа и ожидание результатов в течение нескольких недель. В ходе анализа соединения фосфора извлекаются из почвы раствором соляной кислоты, при отношении почвы к раствору 1:5 с последующим определением фосфора в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на фотоэлектроколориметре.



Рисунок 8 – Процесс сушки почвенного образца в сушильном шкафу

Гидролитическая кислотность (Нг) определяется как общая кислотность, включающая актуальную, обменную и гидролитическую. Она больше обменной и выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Сумма поглощённых оснований (S) определяется как общая сумма обменных катионов (мг/100 г), которые почва может поглощать или удерживать. По сути, это мера отрицательного заряда почвы.

Биологические показатели почв:

В почве существует сорбционная конкурентность веществ, особенно с компонентами почвенного раствора в различных условиях увлажнения, метаболическими компонентами биологического происхождения (продукты трансформации органических веществ и субстанций, корневых выделений, продуктов микробиологической деятельности и др.). Ферменты — это молекулы, которые ускоряют реакции за счет снижения уровней энергии активации этих реакций. В живых организмах ферменты представляют собой белки, которые действуют как биологические катализаторы. Часть фермента, которая содержит только белок и не содержит каких-либо неорганических и неорганических других молекул, называется «апоферментом», каталитическая структура фермента, основанного на белке и содержащего другие органические или неорганические молекулы, называется «галоферментом». Ионы металлов, которые не являются белком и необходимы для активности ферментов, называются «кофакторами», тогда как другие органические молекулы, необходимые для активности ферментов, называются «коферментами». Молекулы, которые преобразуются путем вступления в реакцию ферментов, называются «субстратом». Молекулы ферментов содержат каталитический центр в определенной области и катализируют субстраты с помощью этого сайта. Этот сайт называется «активный сайт». Для подтверждения данного положения изучали некоторые ферменты в почве с помощью общепринятых методов.

В экспериментах исследовался эффект уреазы (уреоамидогидролаза, КФ (код фермента) 3.5.3.1), каталазы (H_2O_2 : H_2O_2 -оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6), фосфотазы (фосфомоноэстераза, КФ 3.1.3.2), пероксидазы (1,2,3-пирогаллол: H_2O_2 -оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.7) и полифенолоксидазы (О-дифенол:кислород-оксидоредуктаза, КФ 1.10.3.1). Пероксидаза (ПД) и

полифенолоксидаза (ПФО) представляют собой ферменты, которые, как известно, участвуют в ферментативной реакции потемнения фруктов и овощей с различными каталитическими механизмами. Оба фермента имеют некоторые общие субстраты, но у каждого есть и свои специфические субстраты. ПД катализирует превращение фенольных соединений в хиноны и способствует полимеризации их продуктов. Его катализ в присутствии кислорода приводит к образованию нежелательных коричневых пигментов и продуктов с неприятным вкусом.

Выбор данных ферментов обусловлен их высокой чувствительностью к различным воздействиям и значимостью в трансформации органического вещества, от которой зависит цикл азота. Являясь активными участниками почвенных биохимических процессов, данные ферменты эффективно способствуют метаболическим процессам почвы и играют важную роль в круговороте веществ (в том числе углерода, азота, фосфора, серы и т. д.) и процессе потока энергии почвенной экосистемы. Внеклеточные ферменты расщепляют органическое вещество почвы на более мелкие соединения, и их измерение оказалось мощным инструментом для оценки функциональности почвы.

К числу важных почвенных ферментов относится уреаза, которая обнаруживается у многих бактерий, грибов, водорослей, растений и некоторых беспозвоночных, а также в почвах в качестве почвенного фермента. В процессе превращения азота почвы, он играет важную роль. Уреаза — это фермент, который разлагает мочевины и широко считается хорошим показателем минерализации азота (N).

Прямой контакт с почвенными коллоидами предотвращает разложение фермента в случае его разрушения микроорганизмами и способствует его накоплению в почве. Для каждой почвы существует своя собственная устойчивая степень уреазной активности, определяемая способностью почвенных коллоидов, которые в основном состоят из органических веществ, проявлять защитные свойства [58, 60].



Рисунок 9 – Окрашивание почвенных вытяжек на содержание ферментов в почве

Каталаза, наряду с пероксидазой, служит эффективным поглотителем активных форм кислорода. Активность почвенной каталазы демонстрирует значительную корреляцию с содержанием органического углерода, микробной биомассой почвы, потреблением O_2 , выделением CO_2 , а также активностью дегидрогеназы, амидазы, глюкозидазы и эстеразы [19]. С помощью параметров активности фермента каталазы можно исследовать различные типы почв [60, 61], в том числе для того, чтобы определить их биологические свойства и оценить влияние различных антропогенных факторов на состояние почвенных систем [40, 57].

Пероксидазы – это ферменты, использующие H_2O_2 в качестве акцептора электронов. В почвах грибы продуцируют пероксидазу марганца, лигнинпероксидазу и другие пероксидазы широкого спектра действия,

которые известны своей ролью в деполимеризации лигнина. При определении активности полифенолоксидазы и пероксидазы, участвующих в процессе гумусообразования, происходит дополнительная характеристика синтеза и распада гумусовых веществ.

Почвенные полифенолоксидазы (ПФО) – ферменты, выделяемые преимущественно микроорганизмами. Они катализируют окисление неподатливых ароматических соединений, таких как лигнин, в более доступные субстраты, используя кислород в качестве конечного акцептора электронов. Под действием ПФО также высвобождаются свободные радикалы или хиноны, которые могут участвовать в синтезе гуминовых полимеров. Многочисленные исследования показали, что очищенный ПФО из растений или грибов участвует в процессах биоразложения и детоксикации некоторых ароматических загрязнителей, более того, различные ксенобиотические соединения, такие как тяжелые металлы, оказывают ингибирующее или индукторное действие на эту ферментативную активность [18, 20, 26, 52].

Определения ферментативной активности проводились по стандартным методикам.

3 Полученные результаты

3.1 Влияние обработок на изменение общего углерода в пахотном горизонте серых лесных почвах

Почвенный углерод встречается как в неорганической, так и в органической форме. Органическая форма углерода образуется в результате деятельности и последующего разложения растительного и животного материала при помощи микроорганизмов. Общеизвестно, что на динамику общего углерода в почве влияют различные методы управления, агротехнологии, в том числе обработку, непосредственно сам тип почвы и климат. Эти факторы оказывают воздействие на физические, химические и биологические характеристики, а также на доступность органического углерода для микробного сообщества в почве, его потерю результате минерализации и эрозии [65]. Динамика почвенного углерода также играет важную роль в плодородии и продуктивности почвы [63] и функциях почвы. Секвестрация углерода в почве зависит исключительно от баланса между поступлением и выходом углерода в почву. Положительный баланс указывает на секвестрацию С, тогда как отрицательный баланс С предполагает деградацию С. Есть два основных процесса, влияющих на секвестрацию углерода в почве: (а) поступление биомассы в почву и (б) разложение добавленных органических материалов.

На втором и четвертом вариантах обработки почвы видно довольно стабильное распределение содержания общего углерода на всех уровнях в пахотном горизонте. Небольшое снижение можно заметить в целине и в третьем варианте. Первый же вариант (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см) выделяется снижением содержания общего углерода в среднем слое (10-20 см) и еще большим снижением в нижнем (20-30 см). Это можно объяснить самим видом обработки почвы: она проводится на

относительно небольшую глубину, и большая часть органического вещества остается в верхнем слое (рисунок 10).

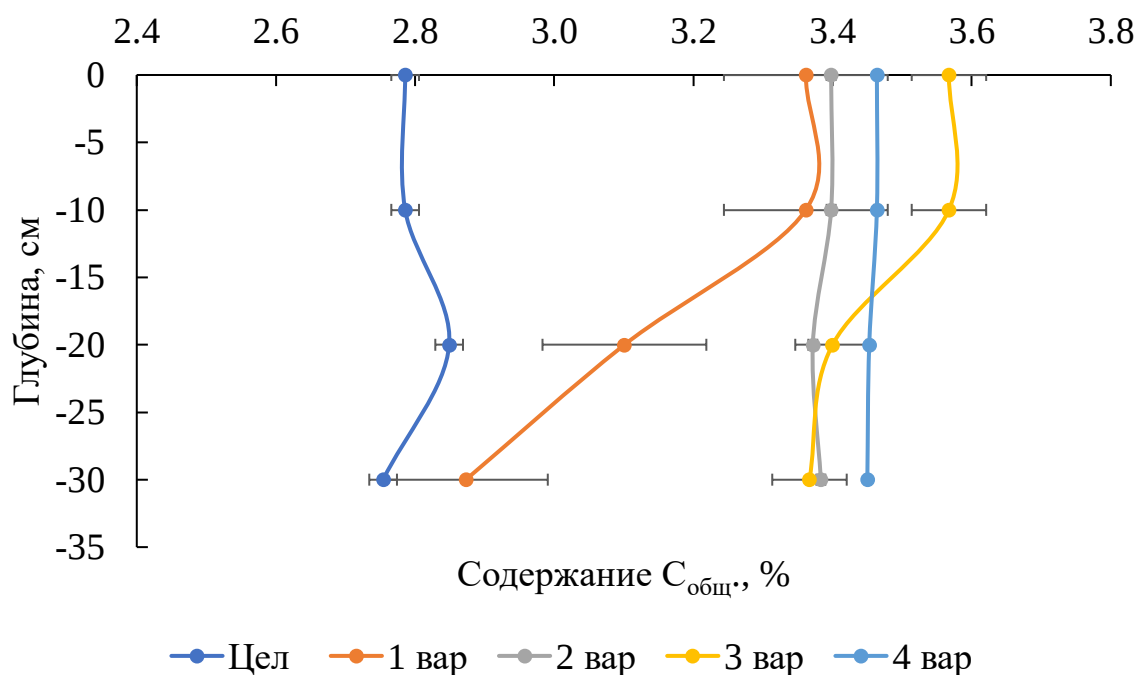


Рисунок 10 – Изменение содержания общего углерода в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Наиболее важным фактором, влияющим на функционирование и саморегулирование наземных экосистем, является взаимосвязь почвы и растительности [5].

Как видно из представленного рисунка 6, содержание общего углерода в изучаемых вариантах исследования существенно варьировало. Отсутствие обработки, характерное для целинных почв, отражает естественную концентрацию органического углерода – в среднем около 2,8%, значительно превышающую подзолистые почвы, расположенные севернее. При этом можно отметить некоторое возрастание содержания $C_{общ}$ в слое почвы около 20 см с дальнейшим снижением вниз по гумусовому профилю.

Применение обработок и внесение минеральных и органических удобрений увеличивает содержание органического углерода. Как видно из рисунка, среднее количество $C_{общ}$ увеличилось до 3,4 – 3,6%. При этом

большее содержание отмечалось при использовании отвальных обработок по сравнению с безотвальными вспашками. При этом мелкая безотвальная вспашка приводит к тому, что наибольшее количество органики накапливается именно в верхнем слое, где происходит рыхление слоя, в то время как в нижележащих слоях количество органического углерода резко снижается. Применение чизельной вспашки способствует равномерному распределению. Чизельный плуг — распространенный инструмент для глубокой обработки почвы (подготовленной земли) с ограниченным разрушением почвы. Основная функция этого плуга — рыхление и аэрация почвы, оставляя растительные остатки на поверхности почвы.

Доступность азота в почве ограничена распадом N-содержащих полимеров, таких как белки, на олигопептиды и аминокислоты, которые могут поглощаться растениями и микроорганизмами. Избыток N высвобождается из микробных клеток в виде аммония (минерализация N), который, в свою очередь, может служить субстратом для нитрификации.

На рисунке 11 представлено варьирование нитратного азота в изучаемых вариантах обработки серых лесных почв.

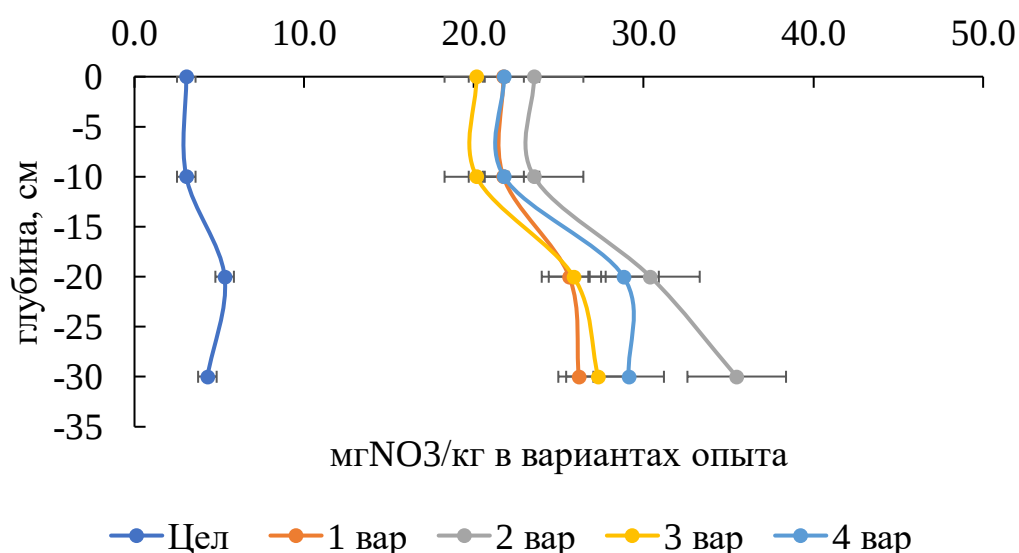


Рисунок 11 – Изменение содержания нитратов в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Как видно из рисунка, наименьшее количество нитратов в почве установлено в контрольном варианте почвы, которое варьировало от 3 до 5 мг/кг почвы. Наибольшее количество данной формы азота установлено в слое 10-20 см, что свидетельствует о потере и вымывании данной формы азота из верхнего слоя в нижележащие слои. Недаром экологи всегда беспокоятся о потере нитратов из пахотного слоя, доступного растениям, но теряющегося в виде газообразных потерь и вымывания в грунтовые воды.

При изучении содержания нитратов в пахотном горизонте обрабатываемых вариантов можно заметить, что их распределение стабильно и равномерно практически для всех исследуемых вариантов эксперимента: небольшое повышение в среднем слое (10-20 см), но на более низком уровне (20-30 см) содержание практически не изменяется. Исключение составил вариант 2 (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см). В нем можно заметить повышение как на среднем уровне, так и на более низком (рисунок 5). В данных вариантах разложение органического вещества сдерживается низким качеством подстилки и низкой активностью микробов-деструкторов. Низкая скорость разложения органического вещества вместе с высоким соотношением C/N считается ответственной за ограничение N роста растений и микробов в лесостепях. В нескольких более ранних исследованиях изучалось влияние сельскохозяйственной деятельности, такой как культивация и внесение удобрений, на химические свойства почв [5 – 7]. Было показано, что химические удобрения вносят значительные количества содержащегося в них азота. Установлено, что в почвах умеренных зон уровень общего азота до глубины 15 см колеблется от 0,08 % в окультуренных песчаных почвах до 0,5 % в глинистых почвах.

Другая важная форма, активно влияющая на рост и развитие растений – аммонийный азот. Варьирование данной формы азота представлено на рисунке 12.

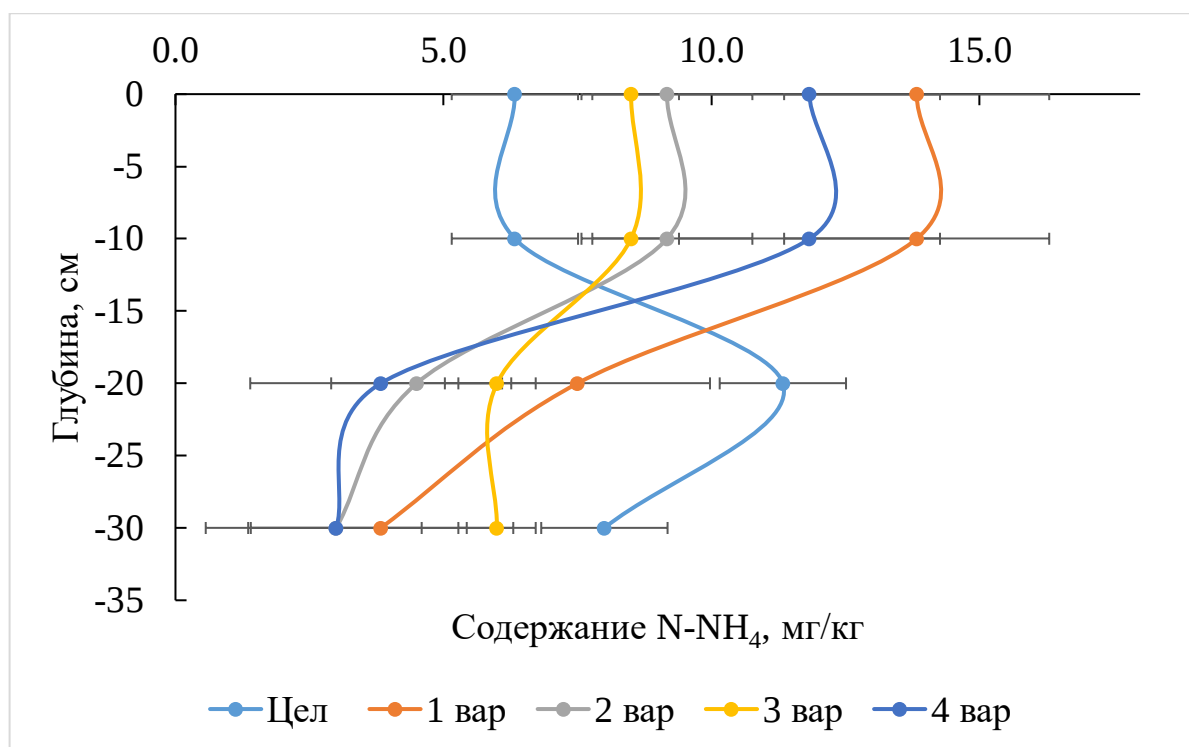


Рисунок 12 – Изменение содержания аммония в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

При изучении содержания аммония в пахотном горизонте можно заметить, что их распределение стабильно и равномерно практически для всех исследуемых вариантов эксперимента: наблюдается уменьшение содержания аммония с понижением глубины пахотного слоя для всех вариантов обработки почвы, кроме целины, на ней содержание аммония повышается в середине пахотного горизонта, затем снова уменьшается в нижних слоях. Наибольшее содержание в верхнем слое (0-10 см) наблюдается у 1 варианта (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см). Наименьшее содержание $N-NH_4$, мг/кг в нижнем слое (20-30 см) у вариантов 2 и 4 (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см и ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см, соответственно). Можно сделать вывод, что при выбранных вариантах обработки почвы содержание аммония повышается в верхних слоях, но снижается с углублением (рисунок 8).

Кроме того, внесение удобрений и применение обработок влияет на кислотность почвы. В таблице 6 представлено изменение данного показателя в вариантах эксперимента.

Таблица 6 – Значение pH в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Вариант	Целина			1 вар.			2 вар.			3 вар.			4 вар.		
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Значение pH	6,7	6,8	7,0	6,7	6,9	7,0	6,7	6,8	6,8	6,7	6,7	6,8	6,7	6,8	7,0

В верхних слоях (0-10 см) на всех вариантах эксперимента реакция среды близкая к нейтральной (pH = 6,7), что характерно для серых лесных почв. При перемещении вглубь пахотного горизонта до слоя 10-20 см реакция среды изменяется, кислотность снижается до pH = 6,8-7,0. На самом глубоком исследуемом уровне (20-30 см) реакция среды становится нейтральной во всех вариантах (pH = 7,0) (таблица 6).

Это означает, что почва обладает практически оптимальными условиями реакции среды для роста и развития большинства растений, так как обеспечивает доступ питательных средств и не создает отклонений в сторону щелочности. Небольшое отклонение в сторону кислотности в верхних слоях говорит о том, что может потребоваться дополнительное внесение удобрений для повышения плодородия.

3.2 Влияние обработок почв на ферментативную активность уреазы

Среди внеклеточных ферментов, связанных с азотом (N), уреазы отвечает за расщепление мочевины. В целом, амидогидролазы являются хорошими заменителями участвует в минерализации азота и преобразует

небольшие количества органических соединений, содержащих азот, в неорганические азотсодержащие соединения, такие как аммиак (NH_3). Уреаза расщепляет мочевины, в частности, на аммиак и углекислый газ (CO_2). Этот фермент широко распространен в почвах, и это один из почвенных ферментов, которые были впервые определены экспериментально в 1940-х годах. Уреаза играет важную роль в обеспечении доступности азота для роста растений в течение всего цикла азота и в широком использовании мочевины в качестве удобрения [62].

Данные, представленные на рисунке 9 показывают, что активность уреазы значительно варьирует вниз по профилю. При этом, активность уреазы в целине была соизмеримой с активностью в вариантах обработки безотвальных вспашек. По-видимому, данная картина связана с меньшим рыхлением почвы при обработке и наличием меньшего количества кислорода в пахотном слое по сравнению с отвальными видами вспашек. В поверхностных слоях 0-10 см она выше, чем в слое 10-20 и минимальные значения установлены в нижнем слое исследуемого пахотного горизонта серой лесной почвы.

Активность уреазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента показала достаточно стабильный результат для всех видов обработки почвы. Самая высокая активность фермента уреаза была зафиксирована на 4 варианте (комбинированная обработка на глубину 28-30 см) – 0,19 мг $\text{NH}_4/1\text{г}$ почвы за 4 часа в слое 0-10 см. Близкое значение 0,17 мг $\text{NH}_4/1\text{г}$ почвы за 4 часа в слое 0-10 см имели 1 и 3 варианты (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см и ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см, соответственно). Самое низкое значение активности фермента уреазы показал 3 вариант на (ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см) глубине 20-30 см – 0,03 мг $\text{NH}_4/1\text{г}$ почвы за 4 часа (рис. 13).

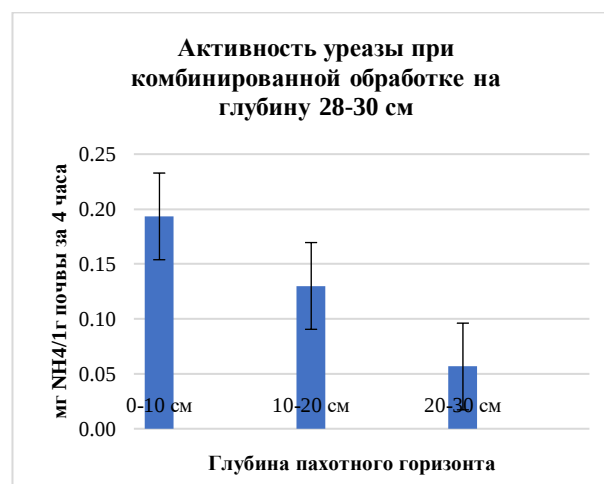
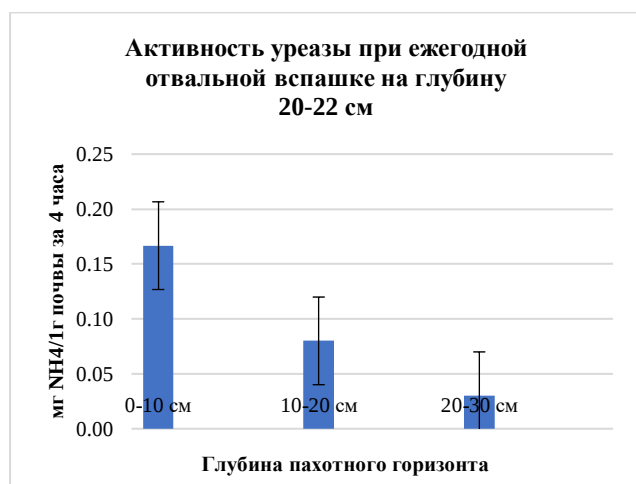
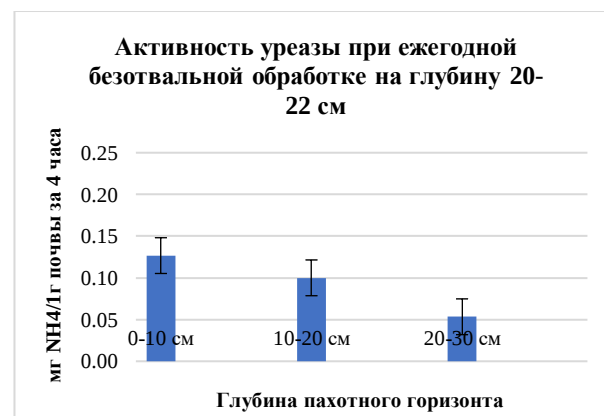
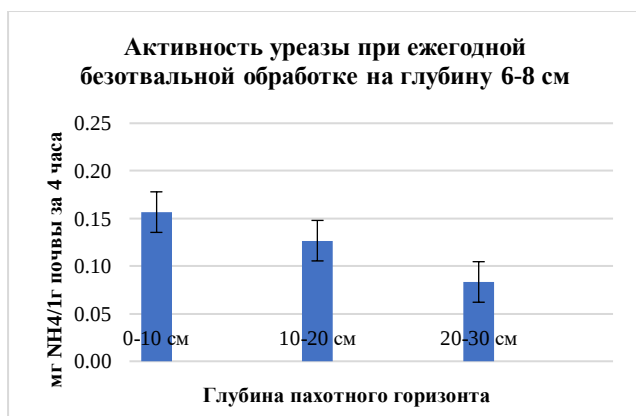
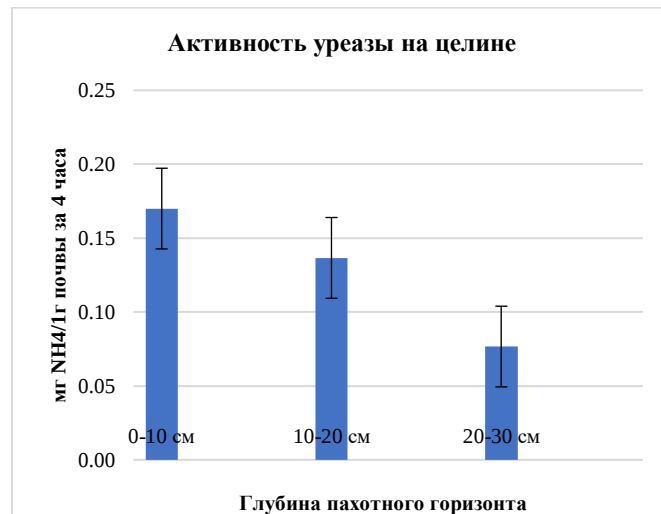


Рисунок 13 – Активность уреазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

По шкале Д.Г. Звягинцева для оценки степени обогащенности ферментами по активности уреазы пахотный горизонт исследованного

чернозема попадает в разряд среднеобогатенных (от 0,2 до 0,1 мг N-NH₄/1 г почвы за 1 сут), а подпахотный горизонт – в разряд бедных (от 0,03 до 0,1 мг N-NH₄/1 г почвы за 1 сут).

Таким образом, по влиянию исследуемых обработок почв по уреазной активности можно представить следующий убывающий ряд: Комбинированная обработка > отвальная обработка на 20-22 см > безотвальная вспашка на 6-8 см > безотвальная обработка на 20-22 см.

3.3 Влияние обработок почв на ферментативную активность каталазы

Изучаемые почвы характеризовались низкими значениями каталазной активности, которые достигали значений 0,7 – 2,8 мг O₂/1 г почвы в 1 минуту. Как известно, каталазную активность проявляют практически все почвы. Наличие в почвах фермента каталазы связано с жизнедеятельностью преимущественно аэробных микроорганизмов.

Как видно из представленного рисунка, каталазная активность в целине была выше, чем в вариантах с обработками почв.

Однако изучение активности каталазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента с обработкой показала достаточно стабильный результат для всех видов обработки почвы.

В верхних слоях получились самые высокие значения, и чем ниже был слой пахотного горизонта, тем меньше они становились. Наиболее высокая активность фермента каталаза в варианте целина в слое 0-10 см – 2,8 мг O₂/1 г почвы в 1 минуту. Самое низкое значение активности фермента каталаза показал 3 вариант (ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см) на глубине 20-30 см – 0,67 мг O₂/1 г почвы в 1 минуту (рисунок 14). Все виды обработки почвы показали меньшее значение активности фермента каталаза, чем вариант целины.

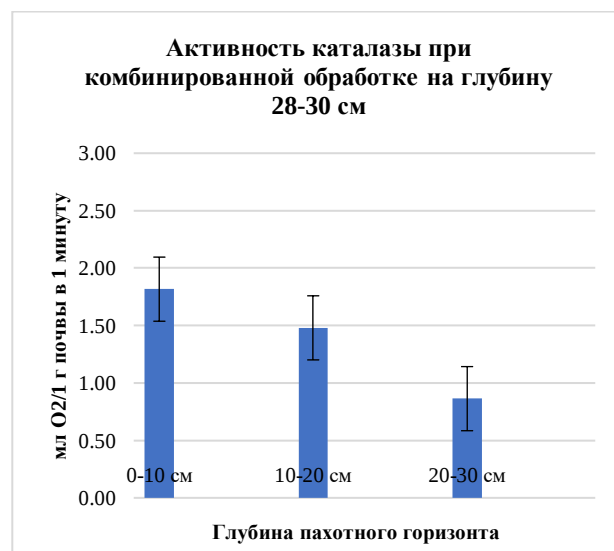
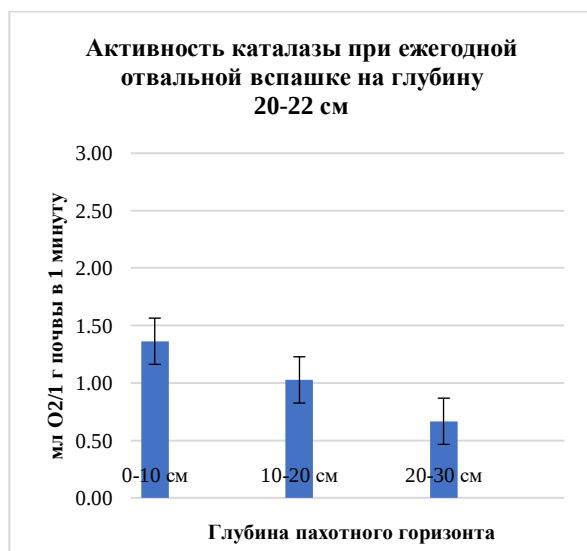
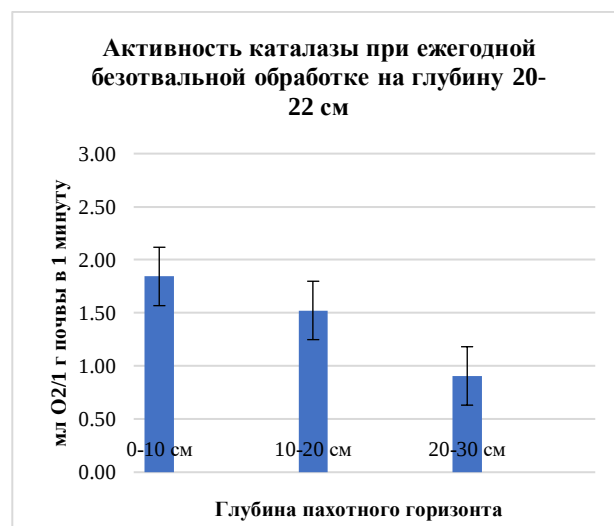
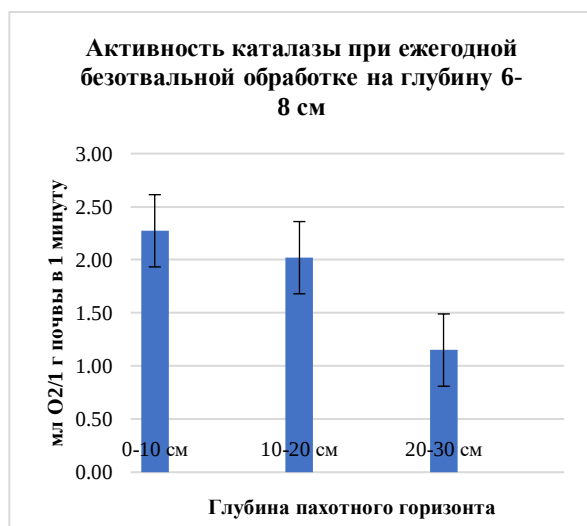
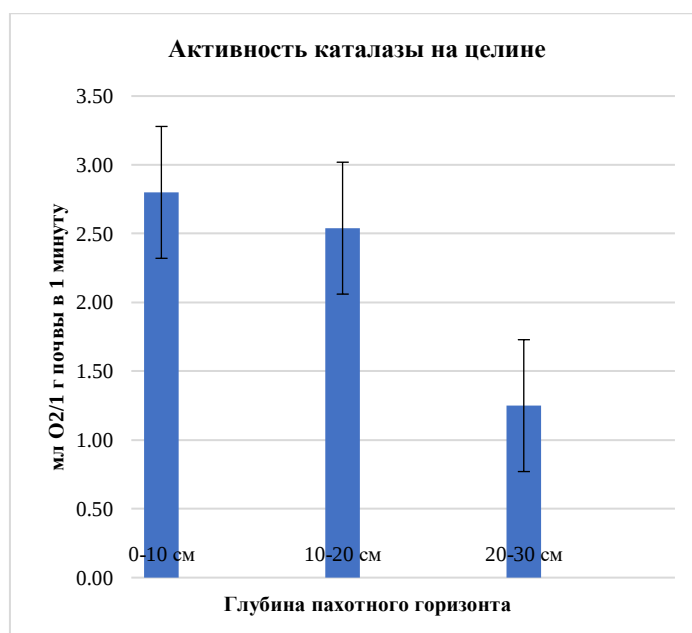


Рисунок 14 – Активность каталазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Изучаемые варианты обработки почвы свидетельствуют о том, что отвальная вспашка на 22 см и чизельная вспашка на глубину до 30 см, которые приводят к большому обогащению слоя доступным кислородом – снижают каталазную активность.

3.4 Влияние обработок почв на ферментативную активность фосфатазы

В качестве субстрата для определения фосфатазной активности почвы применяют натриевую соль п-нитрофенилфосфат. При её гидролизе в результате ферментативного гидролиза выделяется минеральный фосфор и органический радикал, который является аналогом п-нитрофилла.

Основываясь на этом методе, в расчет берётся количество органической части гидролизованного субстрата (п-нитрофенола), которая в щелочной среде имеет жёлтую окраску. Фосфаты почв имеют очень чувствительную к изменению рН среды реакцию, поэтому для измерения фосфатазной активности используют буферный раствор с рН=8,0 или буферный раствор с рН=5,4 для нейтральных и слабощелочных почв. Такие случаи предполагают определение соответственно фосфатазной активности кислых почв (или щелочной фосфатазы) и фосфатазную активность щелочных почв (или щелочную фосфатазу). При естественной рН почвы, при которой не добавляется буферный раствор, определяют общую активность фосфатов (общую фосфатазу) [53].

Активность фосфатазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента показала достаточно стабильный результат для всех видов обработки почвы. В верхних слоях получились самые высокие значения, и чем ниже был слой пахотного горизонта, тем меньше они становились. Самая высокая активность фермента фосфатаза была зафиксирована на 1 варианте обработки почвы (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см) в слое 0-10 см – 0,86 мг P_2O_5 /1 г почвы за 2 часа. Близкое значение 0,75 мг P_2O_5 /1

г почвы за 2 часа в слое 0-10 см имели 2 и 3 варианты (ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см и ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см, соответственно).

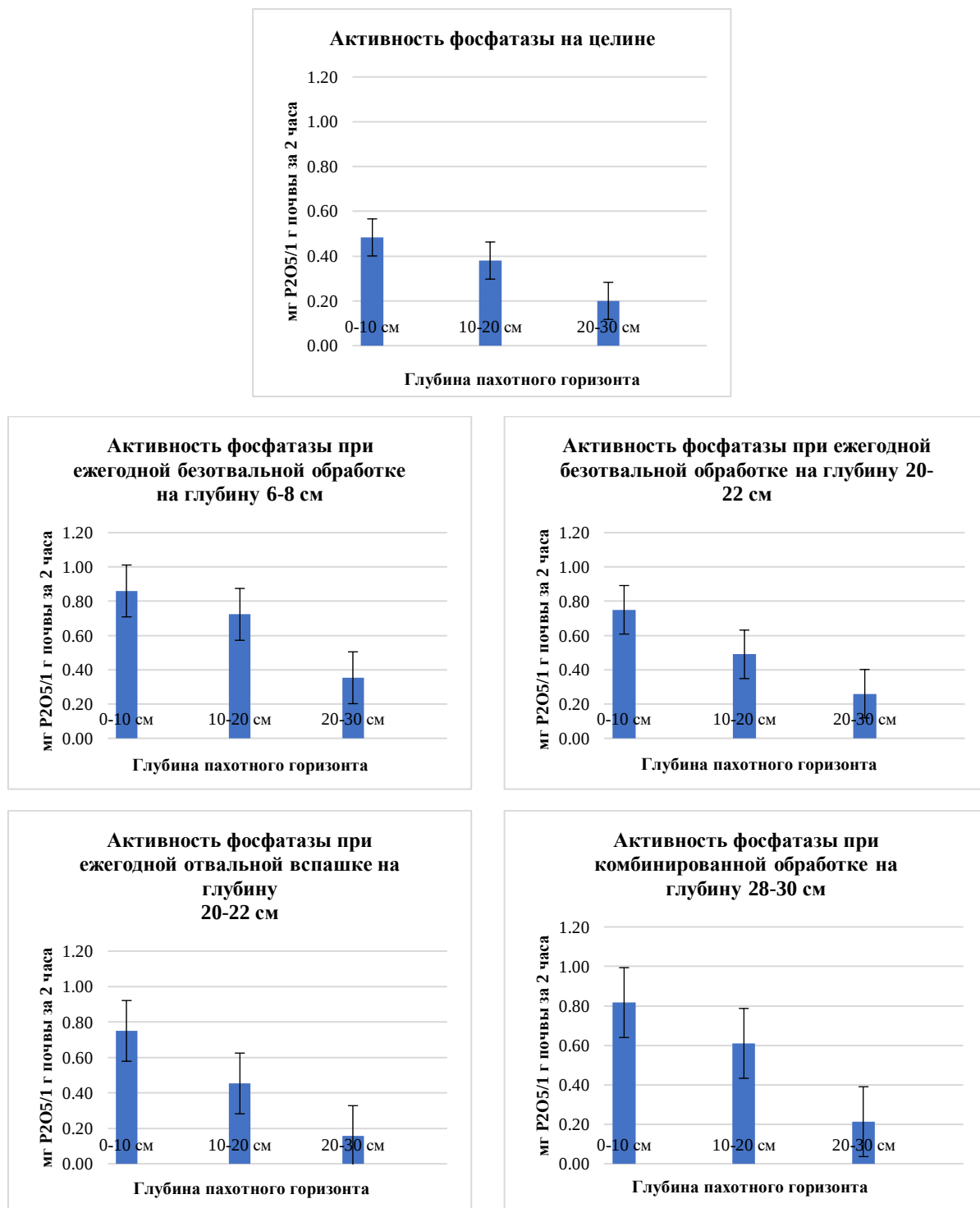


Рисунок 15 – Активность фосфатазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Самое низкое значение активности фермента фосфатаза показал 3 вариант на (ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см) глубине 20-30 см – 0,16 мг $P_2O_5/1$ г почвы за 2 часа (рисунок 15).

3.5 Влияние обработок почв на ферментативную активность полифенолоксидазы

В ходе деятельности полифенолоксидаз происходит преобразование органических соединений ароматического ряда в составляющие гумуса. С помощью них происходит процесс катализирования окисления фенолов (моно-, ди- и три-) до хинонов в присутствии кислорода воздуха. В соответствии с условиями, при взаимодействии хинонов с аминокислотами и пептидами образуются первичные молекулы гуминовой кислоты [28].

В основе методов, позволяющих определить полифенолоксидазную активность почвы лежит измерение скорости окисления полифенолов, которые были внесены в почву. В наибольшей степени пирогаллол подвергается окислению в период его активного использования [32].

Активность полифенолоксидазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента показала достаточно стабильный результат для всех видов обработки почвы. В верхних слоях получились самые высокие значения, и чем ниже был слой пахотного горизонта, тем меньше они становились. Самая высокая активность фермента полифенолоксидаза была зафиксирована на 3 варианте обработки почвы (ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см, соответственно) в слое 0-10 см – 5,97 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час. Близкие значения 4,99 и 5,00 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час в слое 0-10 см имели 2 и 4 варианты (ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см и комбинированная обработка на глубину 28-30 см, соответственно).

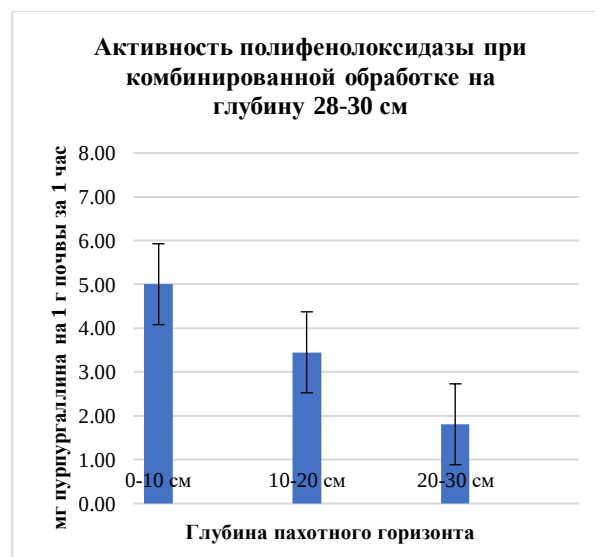
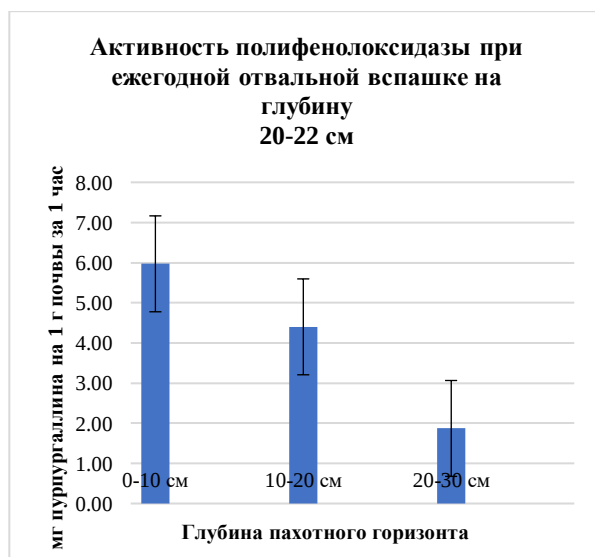
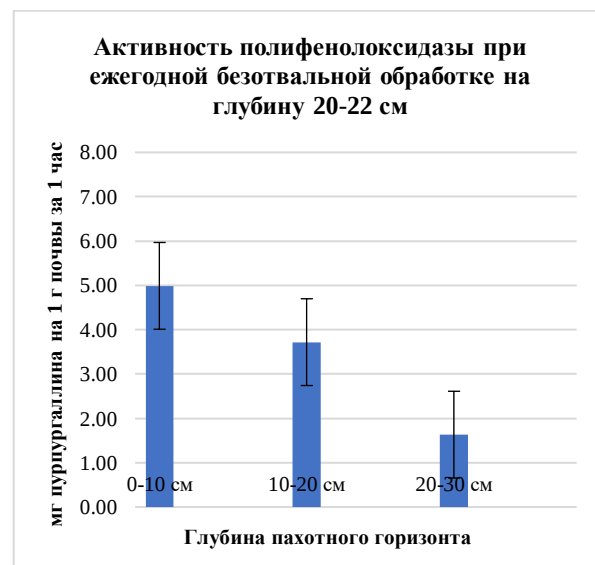
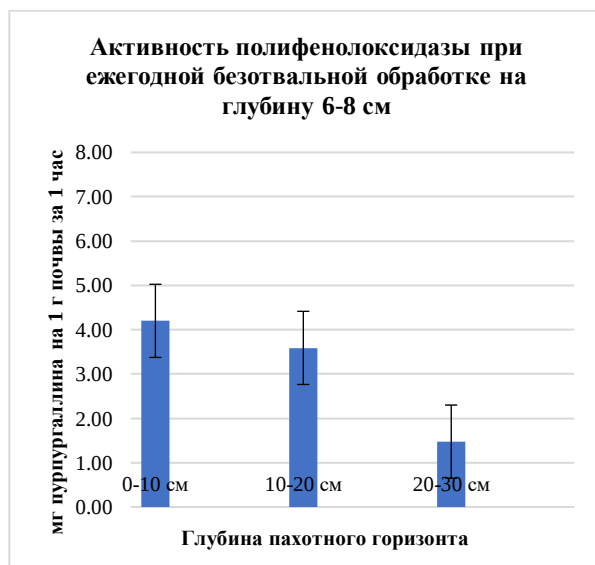
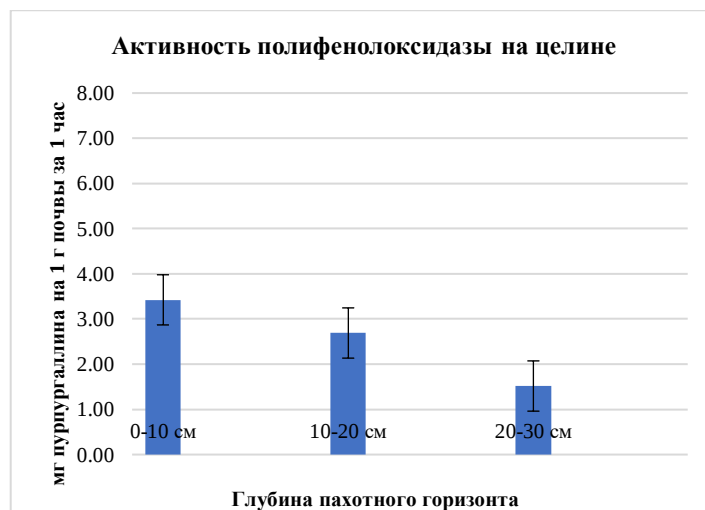


Рисунок 16 - Активность полифенолоксидазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Самое низкое значение активности фермента полифенолоксидаза показали целина и 1 вариант (ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см) на глубине 20-30 см – 1,52 и 1,48 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час, соответственно (рисунок 16).

3.6 Влияние обработок почв на ферментативную активность пероксидазы

Пероксидазы – это химические вещества, которые способны окислять органические вещества почв (фенолы, амины, некоторые гетероциклические соединения) с помощью кислорода перекиси водорода и других органических соединений. Эти вещества образуются в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и действия некоторых оксидаз (например, уратоксидазы). В процессе образования гумуса важную роль играют эти ферменты [28].

Результаты исследования показали, что активность пероксидазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента снижалась от верхнего слоя пахотного горизонта к подпахотному. В верхних слоях получились самые высокие значения, и чем ниже был слой пахотного горизонта, тем меньше они становились.

Максимальная активность фермента была зафиксирована на 3 варианте обработки почвы (ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см, соответственно) в слое 0-10 см, которая составляла 6,37 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час.

Минимальное значение активности фермента было определено во втором варианте, где изучалась ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см, и она была отмечена на глубине 20-30 см (1,73 мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час).

При этом различия на глубине 10-20 см между вариантами эксперимента были незначительными и варьировали от 3,6 до 5 мг пурпургаллина на 1 г

почвы за 1 час, с тенденцией увеличения активности в варианте с отвальной обработкой почв на глубину 20-22 см (рисунок 17).

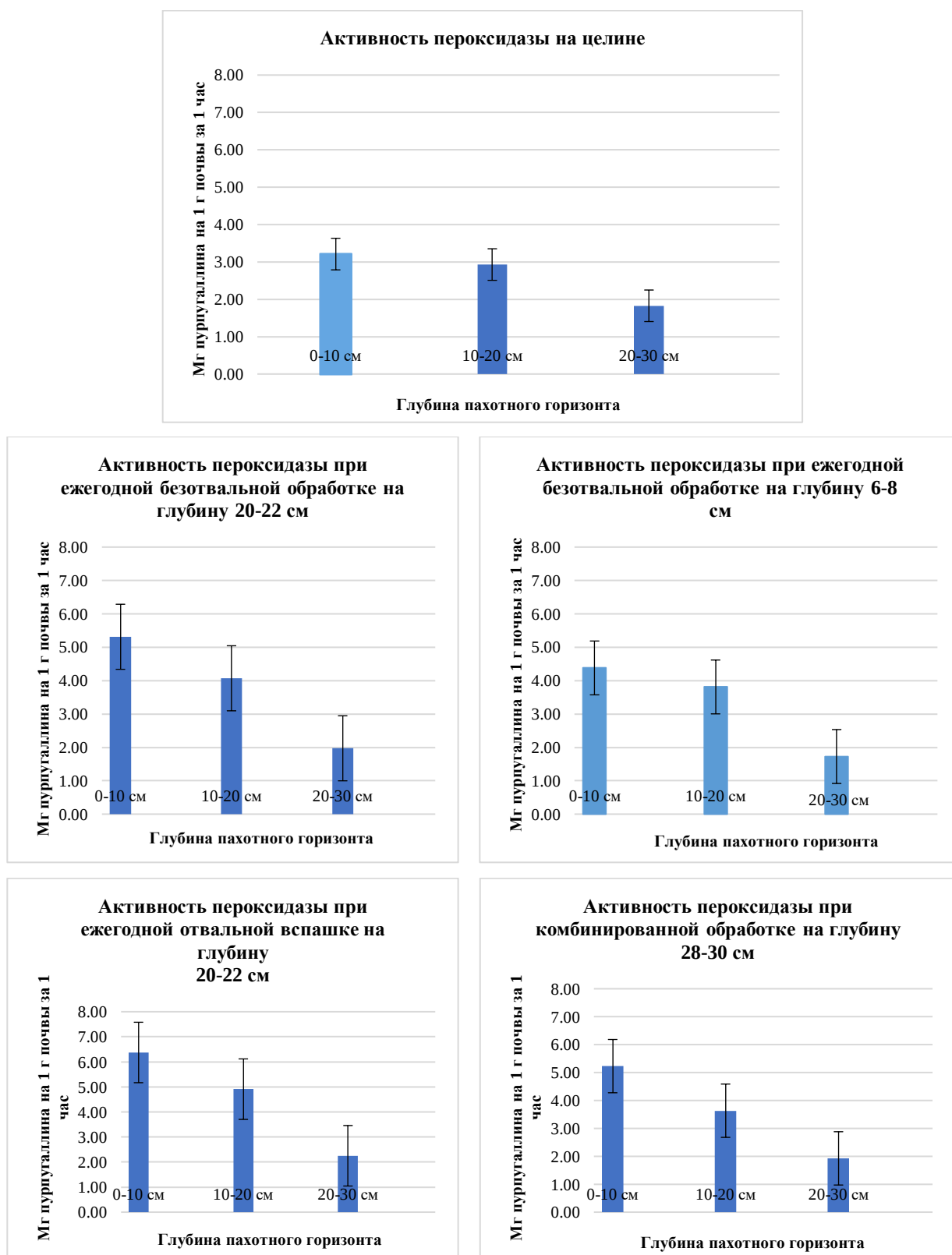


Рисунок 17 – Активность пероксидазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

3.7 Коэффициент гумификации по отношению активности полифенолоксидазы (ПФО) к активности пероксидазы (ПО) в вариантах эксперимента

В одно и то же время происходят процессы синтеза и распада гумусовых веществ. Определить скорость накопления гумуса предложили при помощи оценки отношения активности ПФО к активному ПО. Показатель $K_{\text{гум}}$, или отношение активности полифенолоксидазы к активности пероксидазы, может быть определена как степень направленности (минерализации-иммобилизации) процесса образования специфического гумусового вещества в почве.

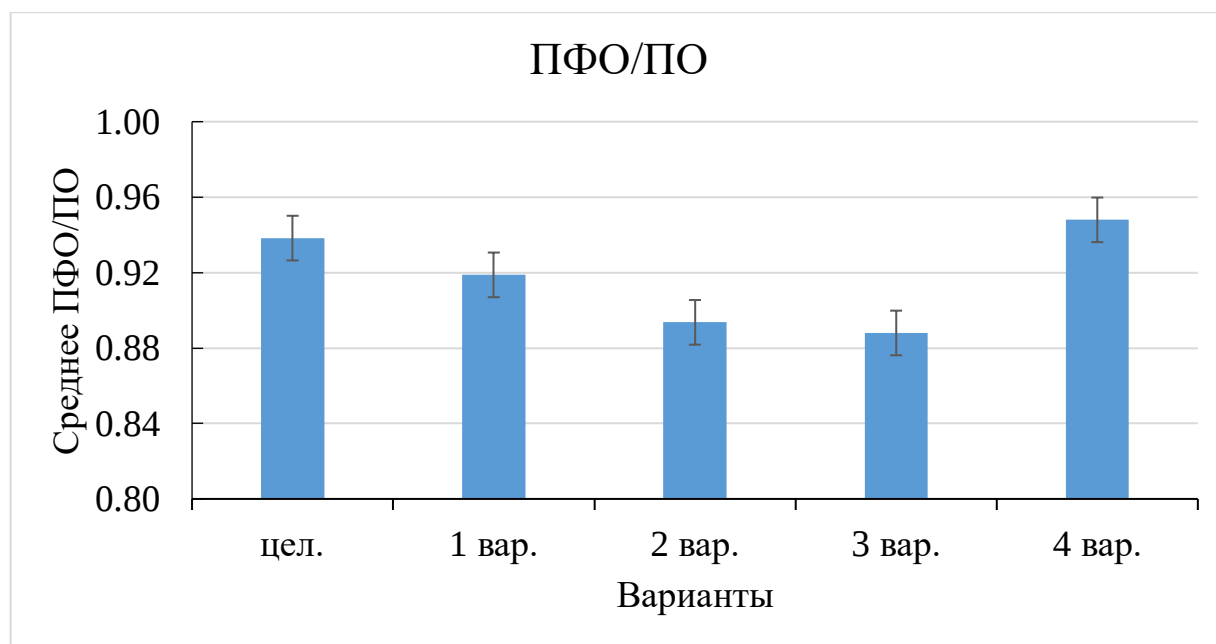


Рисунок 18 – Коэффициент гумификации по отношению активности полифенолоксидазы (ПФО) к активности пероксидазы (ПО) в вариантах эксперимента

В результате анализа $K_{\text{гум}}$ (отношение к ПФО/ПО) было установлено, что во всех вариантах эксперимента он был меньше 1, что свидетельствует о

преобладании процессов минерализации гумусовых веществ над их синтезом. Максимальные показатели $K_{гум}$ в почвах с разной обработкой были зафиксированы в начале вегетационного периода в вариантах целины и использования комбинированной обработки (рисунок 18).

3.8 Урожайность полевых культур при использовании разных технологий возделывания

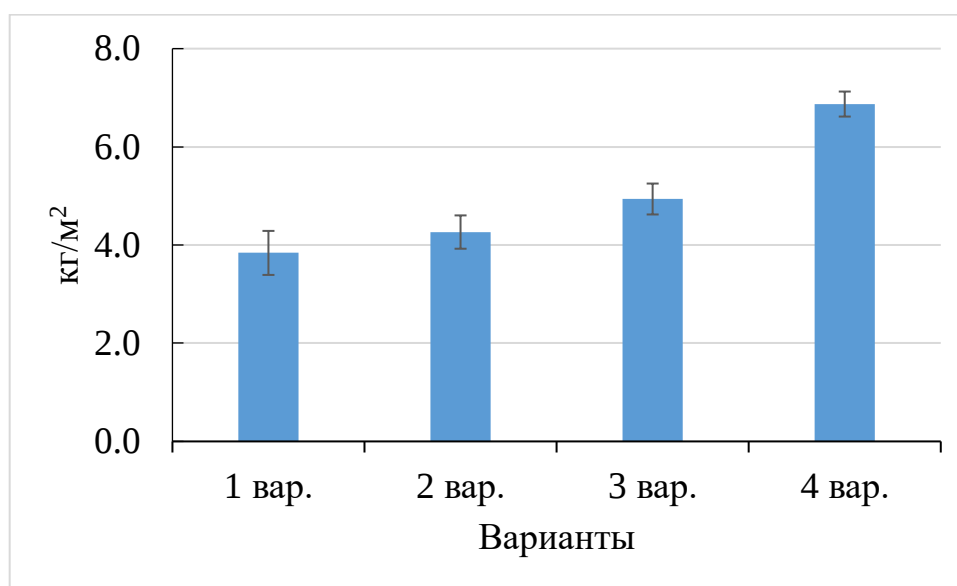


Рисунок 19 – Урожайность полевых культур при использовании разных технологий возделывания

На рисунке 19 представлена урожайность яровой пшеницы в вариантах эксперимента. Максимальный урожай пшеницы был установлен варианте использования комбинированной обработки почв с глубокой вспашкой раз в 4 года (4 вариант), которая составляла 6,9 кг/м². Урожайность данной культуры в варианте использования отвальной обработки на глубину 20-22 см была в 1,6 раз меньше, чем в 4 варианте. Минимальная урожайность пшеницы была установлена в варианте 1, которая достигала величины 3,8 кг/м² (рисунок 19).

4 Разработка практических рекомендаций по решению рассматриваемой экологической проблемы

Серая лесная среднесуглинистая почва - это плодородный тип почвы, который распространен в лесной зоне России. Однако, при неправильном использовании, эта почва может истощиться и стать менее плодородной.

Чтобы улучшить состояние серой лесной среднесуглинистой почвы, необходимо соблюдать определенные рекомендации. Конкретные мероприятия по улучшению состояния серой лесной среднесуглинистой почвы будут зависеть от ее состояния и целей использования.

Избегание уплотнения почвы. Уплотнение почвы приводит к снижению ее воздухопроницаемости и плодородия. Чтобы избежать уплотнения почвы, необходимо проводить правильную обработку почвы, а также избегать чрезмерного использования тяжелой техники. Для повышения содержания гумуса в почве необходимо вносить органические удобрения в количестве 3-5 тонн на 1 гектар в год. Органические удобрения можно вносить в почву в виде навоза, компоста, сидератов или торфа. Серая лесная почва имеет достаточно высокую водопроницаемость, поэтому она быстро пересыхает. Чтобы сохранить почвенную влагу, необходимо проводить мульчирование почвы слоем 5-10 см. В качестве мульчи можно использовать солому, опилки, торф или другие материалы, а также использовать капельный полив. Для предотвращения уплотнения почвы необходимо проводить ее рыхление на глубину 10-15 см. Рыхление можно проводить вручную или с помощью садовых инструментов. Для борьбы с сорняками необходимо проводить своевременную прополку, а также использовать гербициды. Прополку можно проводить вручную или с помощью садовых инструментов. Гербициды необходимо использовать в соответствии с инструкцией производителя.

Удаление сухого материала из почвы. Это можно сделать разными способами, например, механической обработкой, химическим регулированием или биологической очисткой. Удаление сухого материала

поможет повысить влажность и плодородность почвы, а также уменьшить риск засоления и эрозии.

Приготовление биоугля из древесной коры. Биоуголь - это продукт перегонки древесной коры под высоким давлением и температурой без добавления воздуха или других газов. Биоуголь имеет высокую твердость и способность хранить большое количество кислорода и минералов в своей структуре. Биоуголь можно использовать для улучшения состояния серой лесной почвы на разных этапах ее жизненного цикла: как основной компонент для формирования новых слоев почвы (приготовление биоугля), как добавка для повышения плодородия и стабилизации почвы (приготовление биоугля), как инструмент для очистки и очистки почвы от загрязнений (приготовление биоугля). Биоуголь может быть получен из разных видов древесной коры: березы, лиственника, ясеня и других.

Приемка и переработка органических отходов, таких как сточные воды, солома, древесина, камни и т.д., которые могут быть использованы как засоление или увлажнение почвы.

Приемка и использование микроорганизмов, таких как бактерии, грибы и насекомые, которые могут улучшать структуру и плодородие почвы за счет разложения органикулов и образования полезных соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ литературных источников по влиянию различных технологий на ферментативную активность почв. Все исследования свидетельствуют о существенной значимости ферментов как индикаторов качества почв. Почвенные ферменты увеличивают скорость реакции, с которой разлагаются растительные остатки и высвобождаются доступные для растений питательные вещества. Наиболее важными ферментами почв являются уреазы, каталазы, протеазы, фосфатазы, полифенолоксидазы и пероксидазы.

2. Установлено, что изменение биохимических характеристик серых лесных почв под влиянием различных агроэкологических нагрузок является сложным и многофакторным процессом.

3. В рамках проведенного исследования были изучены изменения биохимических характеристик серых лесных почв под влиянием различных агроэкологических нагрузок. Повышение активности ферментов, таких как фосфатаза в варианте ежегодной безотвальной обработки на глубину 6-8 см, уреазы в варианте комбинированной обработки на глубину 28-30 см, каталазы в варианте целины и ежегодной безотвальной обработки на глубину 6-8 см, полифенолоксидазы в варианте ежегодной отвальной вспашки на глубину 20-22 см и пероксидазы в варианте ежегодной отвальной вспашки на глубину 20-22 см свидетельствует о положительном влиянии агроэкологических нагрузок на микробиологические процессы в почве и улучшение её плодородия.

4. Расчёт Кгум (по отношению ПФО/ПО) показал, что во всех вариантах эксперимента он был меньше 1, что свидетельствовало о преобладании процессов минерализации гумусовых веществ над их синтезом. Минерализация органического материала более активно протекает в условиях отвальной и безотвальной вспашки на 20-22 см. В то время как применение комбинированной обработки и безотвальной вспашки на 6-8 см – незначительной иммобилизации органического вещества.

5. Определена большая продуктивность яровой пшеницы при применении 4 варианта - комбинированной обработки на глубину 28-30 см.

6. Комплексный подход к управлению агроэкологическими нагрузками, включающий разумное использование удобрений, минимальную обработку почвы, регулирование кислотности и использование покровных культур, является ключом к поддержанию и улучшению биохимических характеристик серых лесных почв. Это способствует повышению их экологической устойчивости и агрономической эффективности.

Таким образом, результаты данного исследования подчеркивают важность интегрированных агроэкологических практик для улучшения биохимических характеристик серых лесных почв. Рекомендуется продолжать исследования в этом направлении, с акцентом на долгосрочные изменения и адаптацию агротехнических приемов к специфическим условиям различных регионов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айтемиров А. А., Халилов М. Б., Бабаев Т. Т., Амиралиев З. Г. Роль биогенных средств в повышении продуктивности кукурузы и сорго в условиях орошения Терско-Сулакской подпровинции / А. А. Айтемиров, М. Б. Халилов, Т. Т. Бабаев, З. Г. Амиралиев. – Текст : электронный // Юг России: экология, развитие. – 2017. – С. 180-189. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-biogennyh-sredstv-v-povyshenii-produktivnosti-kukuruzu-i-sorgo-v-usloviyah-orosheniya-tersko-sulakskoy-podprovintsii/viewer> (дата обращения: 10.05.2024).
2. Айтемиров А. А., Бабаев Т. Т., Абдулгалимов М. М. Биологизация земледелия – вклад в будущее / А. А. Айтемиров, Т. Т. Бабаев, М. М. Абдулгалимов. – Текст : электронный // Горное сельское хозяйство. – 2016. – С. 95-101. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sideratov-na-urozhaynost-yarovyh-zernovyh-kultur-v-usloviyah-orosheniya-tersko-sulakskoy-podprovintsii/viewer> (дата обращения: 10.05.2024).
3. Алиева Е. И. Использование соломы в качестве удобрения на дерново-подзолистой почве / Е. И. Алиева. – Текст : непосредственный // Эффективность удобрений и других средств химизации на дерново-подзолистых почвах НЗ РСФСР. – 1988. – С. 101-106.
4. Ахтырцев, Б.П. К истории формирования серых лесных почв Среднерусской лесостепи / Б.П. Ахтырцев // Почвоведение. 1992. №3. С.5-18.
5. Базилевич Н.И., Шитикова Т.Е. Особенности биогеохимии некоторых лесных ландшафтов различных термических поясов // Почвоведение. 1989. № 7.
6. Банкин М. П. Агрофизические и биологические основы повышения урожайности и плодородия дерново-подзолистых почв : тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 06.01.03, доктор сельскохозяйственных наук – Текст : непосредственный / Банкин Михаил Петрович. – Санкт-Петербург. – 2005. – 48 с.

7. Басевич В.Ф. Изменение агрохимических показателей подзолистой почвы на начальной стадии сельскохозяйственного освоения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвовед. 1990. № 2.
8. Башкин В.Н., Алифанов В.М. Варьирование агрохимических показателей в серой лесной почве // Почвоведение. 1981. № 10.
9. Беленков А. И., Шевченко В. А., Трофимова Т. А., Шачнев В. П. Научно-практические основы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия: монография. / А. И. Беленков, В. А. Шевченко, Т. А. Трофимова, В. П. Шачнев. – Текст : непосредственный // РГАУ–МСХА. – 2015. – 500 с.
10. Беленков А. И. Принципы ресурсосбережения в почвозащитном земледелии России / А. И. Беленков. – Текст : непосредственный // Почвозащитное земледелие в России. — Курск: Изд-во ФГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ. – 2015. – С. 77-81.
11. Берестецкий, О.А. Биологические основы плодородия почвы / О. А. Берестецкий, Ю. М. Возняковская, Л. М. Доросинский // М.: Колос – 1984. – 287 с. Текст : непосредственный
12. Бобренко И. А. Биоиндикация и биотестирование в исследованиях экосистем: учеб. Пособие / И. А. Бобренко, О. П. Баженова, Е. Г. Бобренко. – Текст: непосредственный// Омск: изд-во ОмГАУ. – 2004. – 116 с.
13. Борин А. А., Лощина А. Э. Влияние агротехнологий на засоренность посевов и урожайность культур севооборота /А. А. Борин, А. Э. Лощина. – Текст : электронный //Защита и карантин растений. – 2019. – С. 15-18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37640738> (дата обращения: 17.04.2024).
14. Борин А. А., Лощина А. Э. Агротехнологии и урожайность культур севооборота на дерново-подзолистых почвах Верхневолжья/А. А. Борин, А. Э. Лощина. – Текст : электронный // Современные наукоемкие технологии. — Иваново. – 2020. – С. 136-143. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agrotehnologii-i-urozhaynost-kultur-sevooborota->

na-dernovo-podzolistyh-pochvah-verhnevolzhya/viewer (дата обращения: 17.04.2024).

15. Бутырин М. В. Удобрения в органическом земледелии. /М. В. Бутырин. – Текст : непосредственный // Иркутск. – 2016. – 7-8 С.

16. Ганжара Н. Ф. Почвоведение / Н. Ф. Ганжара. // М. Агроконсалт. – 2001. – 392 с. – Текст: непосредственный

17. Гармашов В. М. Минимизация обработки почвы в Центрально-Черноземной зоне / В. М. Гармашов, А. И. Качанин. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2007. – С. 8-10

18. Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. 1992. № 11.

19. Даденко Е.В. Изменение ферментативной активности при хранении почвенных образцов / Е.В. Даденко, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков // Почвоведение. 2009. №2. С. 1481-1486.

20. Даденко Е.В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв: дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2004, 158 с.

21. Дридигер В. К., Кащев Е. А., Стукалов Р. С., Паньков Ю. И., Войцеховская С. С. Влияние технологии возделывания сельскохозяйственных культур на их урожайность и экономическую эффективность в севообороте / В. К. Дридигер, Е. А. Кащев, Р. С. Стукалов, Ю. И. Паньков, С. С. Войцеховская. – Текст : электронный // Земледелие. – 2015. – С. 20-23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urozhaynost-i-ekonomicheskaya-effektivnost-selskohozyaystvennyh-kultur-v-sevooborote-v-zavisimosti-ot-tehnologii-vozdelvaniya-i/viewer> (дата обращения: 03.05.2024).

22. Дышко В. Н. Управление плодородием почв / В. Н. Дышко // Смоленск. – 2014. – С. 6. – Текст: непосредственный.

23. Епифанцев В. В., Панасюк А. Н., Осипов Я. А. и др. Влияние гербицидов на видовой состав сорняков и продуктивность посевов сои / В. В. Епифанцев, А. Н. Панасюк, Я. А. Осипов. – Текст : электронный // Земледелие.

– 2020. – С. 22-26. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gerbitsidov-na-vidovoy-sostav-sornyakov-i-produktivnost-posevov-soi/viewer> (дата обращения: 07.05.2024).

24. Еськов А. И., Новиков М. Н., Тужилин В. М. Основные направления биологической интенсификации земледелия в Нечерноземной зоне / А. И. Еськов, М. Н. Новиков, В. М. Тужилин. Агрохимические проблемы биологической интенсификации земледелия. – Владимир. – 2005. – С. 5-21.

25. Еськов А. И., Русакова И. В. Повышение эффективности использования растительных остатков в ресурсосберегающих технологиях // А. И. Еськов, И. В. Русакова. – Текст: непосредственный // Совершенствование научных основ, технологий производства и применения органических удобрений. – Владимир. – 2013. – С. 506-512.

26. Зенова Г.М., Степанов А.Л., Лихачева А.А., Манучарова Н.А. Практикум по биологии почв: Учебное пособие. М.: МГУ, 2002.

27. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований: / К.Ш. Казеев, С. И. Колесников. Издательство Южного федерального университета // Ростов-на-Дону. – 2012. – 260 с. Текст: непосредственный.

28. Казеев К. Ш. [и др.]; ответственные редакторы К. Ш. Казеев, С. И. Колесников Почвоведение : учебник для вузов / — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 427 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06058-4. — Текст : электронный //

29. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – М.: Колос. – 1996. – 367 с. Текст: непосредственный.

30. Кольбе Г. Солома как удобрение / Г. Кольбе, Г. Штумпе пер. с нем. А. Н. Кулюкина // М.: Колос. – 1972. – 88 с. Текст: непосредственный.

31. Ковриго В. П., Кауричев И. С., Бурлакова Л. М. Почвоведение с основами геологии / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова // М.: Колос. – 2000. – 416 с.

32. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология / АН БССР. Лаборатория физиологии и систематики низших растений. - Минск : Наука и техника, 1966. - 275 с.

33. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение в Нечерноземной зоне // В. Г. Лошаков. – Текст : электронный // Владимирский земледелец. – 2013. – С. 13-18. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenoe-udobrenie-v-zemledelii-nechernozemnoy-zony/viewer> (дата обращения: 22.04.2024).

34. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как биологический фактор сохранения и повышения плодородия почвы // В. Г. Лошаков Международная научно-практическая конференция «Проблемы развития земледелия в Нечерноземье». – Текст : электронный// Белгород. – 2016. – С. 119–125. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenoe-udobrenie-kak-faktor-povysheniya-plodorodiya-pochvy-biologizatsii-i-ekologizatsii-zemledeliya/viewer> (дата обращения: 22.04.2024).

35. Лошаков В. Г. Экологические функции зеленого удобрения / В. Г. Лошаков. – Текст : электронный // Курск. – 2017. – С. 79-84. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-i-fitosanitarnye-funktsii-zelenogo-udobreniya/viewer> (дата обращения: 22.04.2024).

36. Лукин С. М. Экологические проблемы производства и применения органических удобрений в земледелии России / С. М. Лукин Экономические проблемы использования органических удобрений в земледелии. – Текст : непосредственный // Владимир. – 2015. – С. 19-28.

37. Матюк Н. С., Полин В. Д., Николаев В. А. Изменение агрофизических свойств почвы под действием приемов обработки и удобрений // Н. С. Матюк, В. Д. Полин, В. А. Николаев Владимирский земледелец. – Текст : электронный // 2015. – С. 12-14. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-agrofizicheskikh-svoystv-pochvy-pod-deystviem-priemov-obrabotki-i-udobreniy/viewer> (дата обращения: 21.04.2024).

38. Митрофанов Ю. И., Петрова Л. И., Гуляев М. В., Первушина Н. К. Предпосевная обработка почвы при разных способах посева зерновых культур

/ Ю. И. Митрофанов, Л. И. Петрова, М. В. Гуляев, Н. К. Первушина. – Текст : электронный // Земледелие. – 2020. – С. 29-33. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predposevnaya-obrabotka-pochvy-pri-raznyh-sposobah-poseva-zernovyh-kultur/viewer> (дата обращения: 06.04.2024).

39. Мишустин, Е. Н. Использование соломы в качестве удобрения / Е.Н. Мишустин // Агрохимия. – 1971. – С.49-54. Текст: непосредственный.

40. Наплекова Н.Н. Ферментативная активность почв, загрязненных соединениями свинца/Н.Н.Наплекова, Г.И. Булавко // Почвоведение. 1983. №7. С. 35-40

41. Новиков М. Н. Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне / М. Н. Новиков, В. М. Тужилин, О. А. Самохина и др. - М.: ФГНУ «Росинфрмагротех». – 2007. – 296 с. Текст: непосредственный.

42. Пахотина И. В. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от технологии возделывания в лесостепи Западной Сибири // И. В. Пахотина. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2019. – С. 32-34.

43. Петрова С. Н. Ресурсосберегающие технологии в растениеводстве на основе полезных микробиологических сообществ / С. Н. Петрова, Н. В. Парахин, Н. А. Пилепская, В. И. Толубеева, Ю. В. Кузмичева, Ю. В. Моисеенко, И. И. Кузнецов, А. В. Амелин. – Текст: непосредственный // Всероссийский молодежный инновационный конвент (100 инноваций: идеи, изобретения, проекты). – Москва. – 2008. – С. 162-163.

44. Пилецкая О. А. Биологическая активность черноземовидной почвы при использовании различных систем удобрения / Текст: непосредственный // Дис. канд. биол. наук. Благовещенск. – 2015. – 152 С.

45. Пылыпив А. М., Нестерова В. А. Необходимость применения ресурсосберегающих технологий в растениеводстве / А. М. Пылыпив, В. А. Нестерова. – Текст : электронный // Интернет журнал «Мир науки». – 2015. – С. 1-5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodimost-primeneniya-resursosberegayuschih-tehnologiy-v-rastenievodstve/viewer> (дата обращения: 12.04.2024).

46. Романенко А. А. Ресурсосбережение технологий – основа успешной реализации приоритетного научного проекта «Развитие АПК» / А. А. Романенко материалы научно-практической конференции. – Текст : непосредственный // М.: ФГБНУ «Росинформагротек». – 2007. – С. 34-36.

47. Рубилин Е.В., Долотов В.А. Генезис и география лесных почв Европейской лесостепи СССР. Ленинград: Изд-во Ленинградского университета, 1970. 71с.

48. Русакова И. В. Солома важный фактор биологизации земледелия / И. В. Русакова, Н. А. Кулинский, А. А. Мосалева. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2003. – С. 9.

49. Русакова И. В. Легко разлагаемое органическое вещество дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы / И. В. Русакова Теоретические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур. – Текст : электронный // 2012. – С. 157-166. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-legkorazlagaemogo-organicheskogo-veschestva-dernovo-podzolistoy-pochvy-pri-dlitelnom-vnesenii-solomy/viewer> (дата обращения: 10.04.2024).

50. Саакян В.Г., Горшкова Е.И. Оценка кислотности почв Нечерноземья по данным полевых и лабораторных измерений // Почвовед. 1986. № 9.

51. Смирнов Б. А. Влияние систем минимальной обработки, удобрений и защиты растений на биологические показатели плодородия дерново-подзолистой глееватой почвы / Б. А. Смирнов, П. А. Котьяк, А. М. Труфанов. – Текст : электронный // Известия ТСХА. – 2013. – С. 85-96. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sistem-minimalnoy-obrabotki-udobreniy-i-zaschity-rasteniy-na-biologicheskie-pokazateli-plodorodiya-dernovo-podzolistoy/viewer>

52. Сулейманов Р.Р., Шорина Т.С. Влияние нефтяного загрязнения на динамику биохимических процессов чернозема обыкновенного

(Оренбургская область) // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 240-243

53. Титова В.И. Дабахова Е.В. Дабахов М.В. АГРО- И БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ с. 106-107 Н. Новгород – 2011

54. Чебыкина Е. В. Влияние способов заделки соломы на биологические показатели плодородия почвы / Е. В. Чебыкина, С. С. Сивкова, Е. С. Трифанова, Н. В. Лупанова. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2011. – №4. – С. 36-41.

55. Чебыкина Е. В., Котьяк П. А., Труфанов А. М., Громов Н. Б. Направленность биохимических процессов при применении ресурсосберегающих агроприемов / Е. В. Чебыкина, П. А. Котьяк, А. М. Труфанов, Н. Б. Громов. – Текст: непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2015. – С. 29-34.

56. Чурилов Г. И. Биологическое действие наноразмерных металлов на различные группы растений / Г. И. Чурилов. – Текст: непосредственный // – Рязань. 2010. – 148 С.

57. Щемелинина Т.Н. Диагностирование степени загрязненности почв нефтью по показателям ферментативной активности // Т.Н. Щемелинина, Е.И. Новоселова, Н.А. Киреева, М.Ю. Маркарова //Вестник ОГУ. 2007. №75. С. 432-434

58. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск, 1983.

59. Щукин С. В., Труфанов А. М. Экологизация сельского хозяйства / С. В. Щукин, А. М. Труфанов. – Текст: непосредственный // 2012. – С. 83-84.

60. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. М.: Наука, 1982. 204с.

61. Хазиев Ф.Х. Физико-географические аспекты и ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев, И.К. Кабиров // Почвоведение. 1983. №11. С.57-65.

62. Burak Koçak IMPORTANCE OF UREASE ACTIVITY IN SOIL V. International Scientific and Vocational Studies Congress – Science and Health (BILMES SH 2020), 12-15 December 2020, TURKEY
63. Chen H., He X., Rong X., Chen W., Cai P., Liang W., Li S., Huang Q. Adsorption and biodegradation of carbaryl on montmorillonite, kaolinite and goethite. *Applied Clay Science*. V. 46, Issue 1. 2009. P.102-108.
64. Currey P. M., Johnson D., Sheppard L. J., Leith I. D., Toberman H., Van Der Wal R. Turnover of Labile and Recalcitrant Soil Carbon Differ in Response to Nitrate and Ammonium Deposition in an Ombrotrophic Peatland. *Glob. Change Biol* 2010. V.16 (8). P.2307–2321.
65. Feller C., Beare M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*. Volume 79, Issues 1–4. 1997. P. 69-116.
66. Gaffarova L.G., Murtazina S.G., Murtazin M.G. Dynamics of the humus state of gray forest soils of the Predkamye of the Republic of Tatarstan and the productivity of crop rotation with long-term fertilizer. *Grain econ. of Russ.* 2017. V. 2(50). P. 57–60.
67. Song Y., Liu C., Wang X., Ma X., Jiang L., Zhu J. Microbial Abundance as an Indicator of Soil Carbon and Nitrogen Nutrient in Permafrost Peatlands. *Ecol. Indicators*. 2020. V.115, 106362. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106362
68. Климат Владимирской области. – Текст : электронный // Природа России национальный портал [сайт] – 2023. – URL: <https://suzdal-go.ru/klimat-suzdalya/>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Активность уреазы в пахотном горизонте исследуемых вариантов эксперимента

Вариант		мг NH_4 / 1 г почвы	Среднее	Ошибка
Целина	0-10 см	0,18	0,17	0,01
		0,16		
		0,17		
	10-20 см	0,14	0,14	0,01
		0,11		
		0,16		
	20-30 см	0,09	0,08	0,01
		0,06		
		0,08		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	0-10 см	0,16	0,16	0,00
		0,15		
		0,16		
	10-20 см	0,11	0,13	0,01
		0,12		
		0,15		
	20-30 см	0,10	0,08	0,01
		0,07		
		0,08		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см	0-10 см	0,14	0,13	0,01
		0,12		
		0,12		
	10-20 см	0,11	0,10	0,01
		0,10		
		0,09		
	20-30 см	0,08	0,05	0,01
		0,05		
		0,03		
Ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	0-10 см	0,19	0,17	0,01
		0,16		
		0,15		
	10-20 см	0,11	0,08	0,02
		0,04		
		0,09		
	20-30 см	0,03	0,03	0,01
		0,04		
		0,02		
Комбинированная обработка на глубину 28-30 см	0-10 см	0,21	0,19	0,01
		0,19		
		0,18		
	10-20 см	0,14	0,13	0,01
		0,13		
		0,12		
	20-30 см	0,05	0,06	0,00
		0,06		
		0,06		

Приложение Б – Активность каталазы в пахотном горизонте исследуемых
вариантов эксперимент

Вариант		мл O ₂ /1 г почвы в 1 минуту	Среднее	Ошибка
Целина	0-10 см	2,90	2,80	0,06
		2,80		
		2,70		
	10-20 см	2,64	2,54	0,07
		2,57		
		2,41		
	20-30 см	1,41	1,25	0,09
		1,25		
		1,09		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	0-10 см	2,22	2,27	0,04
		2,34		
		2,26		
	10-20 см	2,08	2,02	0,03
		2,01		
		1,97		
	20-30 см	0,99	1,15	0,09
		1,15		
		1,31		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см	0-10 см	1,83	1,84	0,07
		1,97		
		1,73		
	10-20 см	1,54	1,52	0,06
		1,42		
		1,61		
	20-30 см	0,94	0,91	0,02
		0,87		
		0,91		
Ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	0-10 см	1,42	1,36	0,04
		1,38		
		1,29		
	10-20 см	1,01	1,03	0,06
		1,13		
		0,94		
	20-30 см	0,62	0,67	0,07
		0,57		
		0,81		
Комбинированная обработка на глубину 28-30 см	0-10 см	1,98	1,82	0,10
		1,84		
		1,63		
	10-20 см	1,54	1,48	0,18
		1,76		
		1,14		
	20-30 см	0,94	0,86	0,07
		0,93		
		0,72		

**Приложение В - Активность фосфатазы в пахотном горизонте исследуемых
вариантов эксперимента**

Вариант		мг P ₂ O ₅ /1 г почвы за 2 часа	Среднее	Ошибка
Целина	0-10 см	0,51	0,48	0,01
		0,46		
		0,48		
	10-20 см	0,41	0,38	0,02
		0,37		
		0,36		
	20-30 см	0,21	0,20	0,01
		0,19		
		0,20		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	0-10 см	0,92	0,86	0,04
		0,87		
		0,79		
	10-20 см	0,76	0,72	0,04
		0,77		
		0,64		
	20-30 см	0,34	0,35	0,02
		0,33		
		0,39		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см	0-10 см	0,89	0,75	0,07
		0,72		
		0,64		
	10-20 см	0,55	0,49	0,03
		0,43		
		0,49		
	20-30 см	0,24	0,26	0,04
		0,21		
		0,33		
Ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	0-10 см	0,71	0,75	0,04
		0,82		
		0,72		
	10-20 см	0,54	0,45	0,05
		0,46		
		0,36		
	20-30 см	0,18	0,16	0,02
		0,12		
		0,17		
Комбинированная обработка на глубину 28-30 см	0-10 см	0,85	0,82	0,02
		0,81		
		0,79		
	10-20 см	0,62	0,61	0,04
		0,67		
		0,54		
	20-30 см	0,24	0,21	0,01
		0,21		
		0,19		

**Приложение Г - Активность полифенолоксидазы в пахотном горизонте
исследуемых вариантов эксперимента**

Вариант		мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час	Среднее	Ошибка
Целина	0-10 см	3,51	3,42	0,18
		3,07		
		3,69		
	10-20 см	2,69	2,69	0,10
		2,87		
		2,51		
	20-30 см	1,34	1,52	0,10
		1,67		
		1,54		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	0-10 см	4,22	4,20	0,10
		4,01		
		4,37		
	10-20 см	3,53	3,59	0,12
		3,41		
		3,83		
	20-30 см	1,41	1,48	0,09
		1,65		
		1,37		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 20- 22 см	0-10 см	5,12	4,99	0,07
		4,98		
		4,87		
	10-20 см	3,58	3,72	0,10
		3,67		
		3,91		
	20-30 см	1,65	1,63	0,03
		1,68		
		1,57		
Ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	0-10 см	6,05	5,97	0,04
		5,92		
		5,94		
	10-20 см	4,23	4,40	0,10
		4,56		
		4,41		
	20-30 см	1,89	1,87	0,05
		1,94		
		1,78		
Комбинированная обработка на глубину 28- 30 см	0-10 см	5,12	5,00	0,08
		5,05		
		4,84		
	10-20 см	3,24	3,45	0,21
		3,87		
		3,24		
	20-30 см	1,95	1,81	0,08
		1,68		
		1,79		

**Приложение Д - Активность пероксидазы в пахотном горизонте исследуемых
вариантов эксперимента**

Вариант		мг пурпургаллина на 1 г почвы за 1 час	Среднее	Ошибка
Целина	0-10 см	3,19	3,21	0,18
		2,91		
		3,53		
	10-20 см	2,93	2,93	0,10
		3,11		
		2,75		
	20-30 см	1,65	1,83	0,10
		1,98		
		1,85		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 6-8 см	0-10 см	4,40	4,38	0,10
		4,19		
		4,55		
	10-20 см	3,71	3,81	0,08
		3,75		
		3,97		
	20-30 см	1,66	1,73	0,09
		1,90		
		1,62		
Ежегодная безотвальная обработка на глубину 20-22 см	0-10 см	5,50	5,31	0,10
		5,26		
		5,18		
	10-20 см	3,93	4,07	0,10
		4,02		
		4,26		
	20-30 см	1,99	1,97	0,03
		2,02		
		1,91		
Ежегодная отвальная вспашка на глубину 20-22 см	0-10 см	6,50	6,37	0,07
		6,27		
		6,35		
	10-20 см	4,74	4,91	0,10
		5,07		
		4,92		
	20-30 см	2,27	2,25	0,05
		2,32		
		2,16		
Комбинированная обработка на глубину 28-30 см	0-10 см	5,33	5,23	0,08
		5,28		
		5,08		
	10-20 см	3,37	3,63	0,24
		4,11		
		3,42		
	20-30 см	2,04	1,93	0,07
		1,80		
		1,94		