

На правах рукописи



Шукин Иван Михайлович

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ
ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ**

03.02.08 – Экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Владимир – 2018 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К одному из главных факторов стабилизации экологической обстановки на планете относится сохранение и воспроизводство плодородия почв, являющегося составной частью биосферы. Интенсивная и нерациональная эксплуатация земельных угодий, высокая степень антропогенной нагрузки на почву, связанная с применением энергоёмких и интенсивных технологий явились причиной значительного снижения уровня почвенного плодородия агроэкосистем. Снижение плодородия почвы нарушает сбалансированность агроэкосистем и значительной степени обостряет в целом экологическую ситуацию в агроценозах.

Наибольшее внимание в этом плане привлекают почвы Верхневолжского региона, находящиеся в длительном агрогенном использовании. В связи с этим возникает актуальная необходимость изучения свойств и процессов в почвах агроэкосистем, анализа их современного экологического состояния и прогноза их эволюции с учётом целевого назначения и особенностей конкретных климатических условий.

Цель исследований: Установить особенности антропогенной трансформации почвенного покрова агроэкосистем Верхневолжского региона при различном и длительном воздействии агрогенной нагрузки.

Решались следующие **задачи:**

1. Выявить основные тенденции антропогенных изменений агрофизических показателей серых лесных и дерново-подзолистых почв агроэкосистем.
2. Изучить поведение и миграционную активность нитратного азота в вертикальном профиле агроэкосистем различного уровня интенсивности.
3. Изучить газопродукционную активность агроэкосистем по выделению закиси азота (N_2O).
4. Выявить закономерности изменения биохимической активности ферментного пула почв.
5. Определить количественные изменения в органическом веществе дерново-подзолистых и серых лесных почв агроэкосистем.
6. Провести диагностику содержания тяжелых металлов при различных уровнях агроэкологических вмешательств.
7. Оценить продуктивный потенциал агроэкосистем дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Научная новизна. Впервые для аграрных почв Верхневолжского региона даётся комплексная количественная оценка изменения агрофизических, агрохимических, биологических свойств и продуктивность сельскохозяйственных культур при длительном (18 – 46 лет) антропогенном воздействии на агроэкосистемы. В результате получены новые данные экологического состояния агроценозов при различном уровне антропогенной нагрузки в течение длительного времени их использования.

Практическая значимость. Результаты исследования можно использовать при организации экологического биомониторинга и биодиагностики состояния почвы

агроэкосистем, при оценке воздействия на окружающую среду, планировании землепользования, обосновании систем экологически-ориентированного управления плодородием почв агроэкологических систем. Кроме того, результаты исследования используются в учебном процессе во Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых при преподавании дисциплин «Геохимия», «Геохимия ландшафтов», «Агроэкология».

Основные защищаемые положения:

-повышение уровня интенсивности агрогенной нагрузки в агроэкосистемах до высокоинтенсивного уровня за счет увеличения доз органического и минерального удобрений, что позволяет сохранить количество агрономически-ценных агрегатов на уровне природных биотопов;

-увеличение антропогенной нагрузки в агроэкосистемах от экстенсивного до высокоинтенсивного уровня формируют плотность сложения почвы не превышающую ее показатели в природной экосистеме;

-в агроэкосистемах на серой лесной почве с увеличением интенсивности антропогенной нагрузки от экстенсивного уровня до высокоинтенсивного органическое вещество N-NO₃ снижается до уровня биоценоза;

-на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в агроэкосистемах с повышением уровня интенсивности от нормального к интенсивному и до высокоинтенсивного уровня содержание нитратов в слое почвы 20-300 см соответственно увеличивается на 50, 10 и 40% в сравнении с биоценозом;

-в агроэкосистемах на серой лесной суглинистой и на дерново-подзолистой легкосуглинистой почвах с увеличением уровня интенсификации содержание гумуса увеличивается до его уровня в экосистеме или превышает, в агроэкосистемах на дерново-подзолистой супесчаной почве содержание гумуса снижается на 7,8-8,6 %;

-повышение уровня интенсивности за счет внесения минеральных удобрений приводит к увеличению кумулятивного потока N₂O;

-содержание подвижных валовых форм Cu, Cd, Pb и Zn в метровом слое почв агроэкосистем с различным уровнем интенсивности антропогенной нагрузки не превышало ориентировочные допустимые концентрации;

-повышение интенсивности антропогенной нагрузки обеспечивает увеличение продуктивности агроэкосистем Верхневолжья в сравнении с экосистемами.

Личный вклад автора. Тема, цель, задачи, объекты, методы и план исследования определены автором совместно с научным руководителем. Отбор почвенных проб почвы, воздуха, полевые опыты осуществлялись при непосредственном участии автора. Анализ и обобщение полученных результатов, формулировка выводов и основных защищаемых положений, выполнены лично автором.

Достоверность результатов исследований. Результаты исследований не противоречат исходным теоретическим положениям, отвечают поставленной цели и задачам диссертационной работы. Достоверность полученных материалов подкреплена результатами математической обработки с применением методов статистического анализа.

Апробация результатов исследования. XVII Miedzynarodowa konferencja naukowa «Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardow ue» (Warszawa, 2011), Материалы диссертации представлены на VII Международной научной конференции «Геоэкологические проблемы современности» (Владимир, 2015), Всероссийской с международным участием 9-ой научной школе «Болота и биосфера» (Владимир, 2015), 2-ая научно-практическая конференция «Молодежь и возрождение сельского хозяйства во Владимирской области (Владимир, 2015), III Научно-практическая конференция «Развитие экологического земледелия: теория и практика» (Владимир, 2016), Международная научно-практическая конференция «Новая наука: теоретические и практические взгляды» (Ижевск, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, из них 5 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 159 страницах, включает 29 таблицу и 14 рисунков; состоит из введения, трех глав, выводов, списка литературы, включающего 248 наименований (из них 27 на английском языке).

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д-р с.-х. наук, Зинченко С.И., директору ФГБНУ «Владимирский НИИСХ», канд. экон. наук Ильину Л.И., заведующей кафедры «Биологии и экологии» д-р биол. наук, профессору Трифионовой Т.А., ведущему научному сотруднику ФГБНУ «Костромской НИИСХ», канд. с.-х. наук Камневу, О.П., директору ФГБНУ «ВНИИУ», д-р биол. наук Лукину С.М., заведующему кафедры агрохимии и земледелия ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА» канд. с.-х. наук Борину А.А.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОЛАНДШАФТОВ

В главе проведён анализ научных работ отечественных и зарубежных специалистов, посвящённых вопросам экологического состояния агроэкосистем.

Антропогенные изменения в агроэкосистемах охватывают практически все известные характеристики качества почв (Н.П. Бучкина, Е.В. Балашов, Е.Я. Рижия, 2008).

В настоящее время наблюдается тенденция к экологизации и актуализации почвенных исследований, что продиктовано обострением системного экологического кризиса в природопользовании и объективным возрастанием роли почвенного покрова (Г.А. Булаткин, В.В. Ларионов, 1988; Н.П. Бучкина, Е.Я. Рижия, Е.В. Балашов, С.В. Павлик, С.И. Зинченко, С.М. Лукин, 2010; Е.А. Воробьева, Д.Г. Звягинцев, 1978; Д.Г. Звягинцев, 1987; А.А. Коротков, 1972; П.М. Смирнов, В.В. Кидин, С.П. Тюрин, 1981; А.К. Тхакахова, Е.С. Василенко, О.В. Кутовая, 2012).

Агроэкосистемы по интенсивности антропогенного воздействия, согласно современным критериям их формирования, подразделяются на: экстенсивные, нормальные или умеренно интенсивные и высокоинтенсивные (А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, 1993). В изучаемых агроэкосистемах интенсивность воздействия определялась уровнем применения органических и минеральных удобрений и интенсивностью механической обработки почвы.

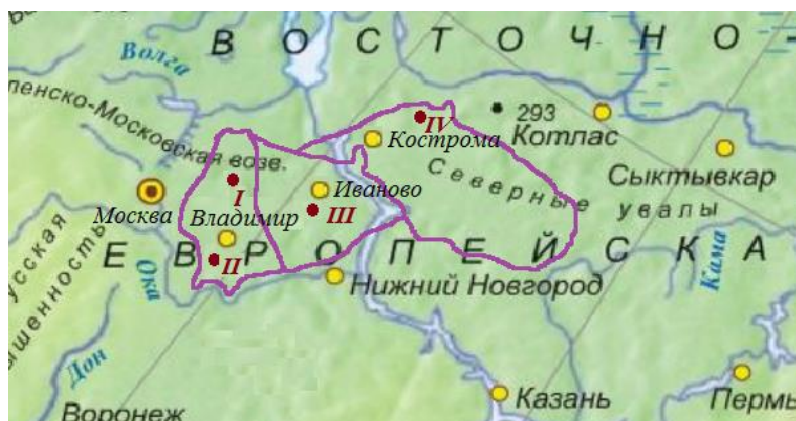
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись почвенные покровы Верхневолжского региона, который включает пять областей: Владимирскую, Ивановскую, Костромскую, Тверскую и

Ярославскую. Общая площадь пашни 4402,6 тыс. га. Распределение земельного фонда под сельскохозяйственную деятельность характеризуется наибольшим вовлечением под пашню дерново – подзолистых почв – 4097,5 тыс. га, серых лесных около 305 тыс. га.

В основу работы положены результаты пятилетних полевых и лабораторных исследований агроэкосистем, расположенных на территории трех областей Верхневолжского региона: Владимирской, Ивановской и Костромской (рис. 1).

В период с 2012 – 2016 гг. в длительных стационарных полевых опытах, на базе Владимирского НИИСХ, Всероссийского НИИОУ, Ивановской государственной сельскохозяйственной академии, Костромского НИИСХ изучали почвенно – экологические и биологические показатели состояния агроэкосистем в зависимости от уровня антропогенной нагрузки.



I – Владимирский НИИСХ; II – Всероссийский НИИОУ; III – Ивановская СХА;
IV – Костромской НИИСХ; — условная граница областей

Рисунок 1- Карта – схема мест проведения исследований в Верхневолжском регионе

Во Владимирской области изучали агроэкосистемы, сформированные на серой лесной среднесуглинистой почве в 2 – х длительных полевых опытах. В опыте 1 антропогенное воздействие связано с внесением в агроэкосистемы органических и минеральных удобрений, на двух фонах механического воздействия – ежегодной отвальной вспашкой и безотвальной обработкой на глубину 20-22 см (ответственный исполнитель канд. с.-х. наук А.А. Григорьев).

При формировании различных уровней интенсивности в среднем ежегодно в агроэкосистему поступало: нулевой уровень интенсивности – навоз 6,7 т/га; интенсивный уровень – $N_{45}P_{40}K_{40}$; высокоинтенсивный минеральный – $N_{65}P_{60}K_{60}$; высокоинтенсивный органоминеральный $N_{71}P_{58}K_{58}$ + навоз 13 т/га (опыт заложен в 1998 г.). За контроль при этом был принят рядом расположенный участок целинной экосистемы.

В опыте 2 агроэкосистемы с 1986 года подвергались ежегодному антропогенному воздействию в форме механических обработок: 1 – механической обработкой отвальным плугом на 20 – 22 см; 2 – безотвальной обработкой на глубину 20 – 22 см; 3 – безотвальное рыхление почвы на глубину 6 – 8 см (исполнители: д-р с.-х. наук С.И. Зинченко, м.н.с. И.М. Щукин). Поступление минеральных удобрений в среднем в год в количестве $N_{30}P_{30}K_{30}$ позволило сформировать нормальный уровень интенсивности.

За контрольный участок был принят рядом расположенный фитоценоз залежи, более 30 лет не подвергавшейся механической обработке.

Для изучения величины эмиссии закиси азота из агроэкосистем в опыте 2 был заложен микрополевой опыт. На описанных выше вариантах механической обработки почвы были

выделены площадки 9 м² (3x3 м) в шестикратной повторности. Весной на микроплощадки вносили дополнительно азотные удобрения в дозе N₆₀ д.в./га. Параллельно велись исследования на микроплощадках агроэкосистем экстенсивного уровня.

На дерново-подзолистой супесчаной почве во Владимирской области агроэкосистемы формировались под воздействием антропогенных факторов – включающих проведение ежегодной отвальной вспашки на 20-22 см и применение органических и минеральных удобрений на длительном полевом опыте – опыт 3. Опыт 3 заложен в 1968 году в ФГБНУ ВНИИОУ (п. Вяткино, Владимирской области). Ответственный исполнитель д-р биол. наук С.М. Лукин. В первой и второй агроэкосистемах в течение 44 лет удобрения не применяли. В первой, представленной бесменным чистым паром, проводили механические обработки для борьбы с сорной растительностью. Во второй агроэкосистеме формировался экстенсивный уровень интенсивности, то есть возделывали сельскохозяйственные культуры без дополнительного поступления удобрительных средств. Остальные агроэкосистемы отличались различным уровнем агрогенного воздействия, определяющегося разной степенью насыщенности минеральными и органическими удобрениями (табл. 1).

Таблица 1- Схема опыта 3, ФГБНУ ВНИИОУ, п. Вяткино, Владимирской области (д-р биол. наук С.М. Лукин)

Уровень интенсивности агроэкосистемы	Антропогенное воздействие на почву
	отвальная вспашка на 20-22 см
Бесменный чистый пар	0
Экстенсивный	без удобрений
Нулевой	навоз 20 т/га
Нормальный минеральный	N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀
Нормальный органоминеральный	N ₂₅ P ₁₂ K ₃₀ + навоз 5 т/га
Высокоинтенсивный минеральный	N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀
Высокоинтенсивный органоминеральный	N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + навоз 10 т/га

В качестве эталонных образцов ненарушенных почв использовались почвы рядом расположенного участка опушки леса.

В Ивановской области изучали агроэкосистемы расположенные на дерново – среднеподзолистой легкосуглинистой почве (опыт 4). На базе Ивановской ГСХА с 1986 года формировались агроэкосистемы на двух фонах механической обработки почвы при нормальном уровне использовании удобрительных средств. За 18 лет исследований в почву поступило N₅₄₀P₁₀₈₀K₁₀₈₀ кг.д.в./ га (табл. 2).

Таблица 2 – Схема опыта 4, Ивановской ГСХА, г. Иваново (канд. с.-х. наук А.А. Борин)

Уровень интенсивности агроэкосистемы	Антропогенное воздействие на почву	
	отвальная вспашка на 20-22 см	безотвальное рыхление на 20-22 см
Нормальный	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀

Ответственный исполнитель полевых опытов канд. с.-х. наук А.А. Борин.
Контрольный участок – рядом расположенный участок опушки леса.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Костромской области (опыт 5) агроэкосистемы формировались в полевом многолетнем опыте ФГБНУ Костромской НИИСХ заложенном в 1978 году кандидатом сельскохозяйственных наук П.Г. Вербицким. Агроэкосистемы формировались под воздействием следующих антропогенных факторов: ежегодной отвальной вспашки на 20-22 см и применении минеральных удобрений и мелиорирующих материалов (известки) (табл. 3).

Таблица 3 – Схема опыта 5, ФГБНУ Костромской НИИСХ, г. Кострома
(канд. с.-х. наук О.П. Камнева)

Уровень интенсивности агроэкосистемы	Антропогенное воздействие на почву – отвальная вспашка на 20-22 см
Нормальный	0 т/га - CaCO ₃ (известь) + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Интенсивный	3 т/га - CaCO ₃ (известь) + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
Высокоинтенсивный	25 т/га - CaCO ₃ (известь) + N ₉₆ P ₉₆ K ₉₆

Ответственный исполнитель полевого опыта канд. с.-х. наук О.П. Камнева.

Контрольный участок – рядом, расположенный участок экосистемы леса.

В основу диссертационного исследования положены материалы собственных полевых и лабораторных исследований агроэкосистем расположенных на серой лесной почве Владимирского ополья, а также анализ почвенных образцов из стационарных опытов, расположенных на дерново – подзолистых почвах Владимирской, Ивановской и Костромской области. Исследованиями были охвачены различные агроэкосистемы Верхневолжского региона, что позволило объективно оценить влияние агрогенной нагрузки на их экологическое состояние.

Исследования проводились с использованием следующих методик: агрофизические свойства пахотного слоя включали определение: плотности сложения – метод цилиндров по С.И. Долгова (1977); структура почвы – метод И.И. Савинова (1986) (набор сит); водопрочность почвенных агрегатов – метод И.М. Бакшеева (1958) (прибор И.М. Бакшеева для определения водопрочности структуры почвы); определение нитратного азота в вертикальном профиле почвы 0 – 300 см в смешенных образцах, через 20 см – ГОСТ 26483 – 85 – ГОСТ 26490 – 85 (1985) (фотометр КФК-3-01 ЗОМЗ); кумулятивную эмиссию N₂O – метод закрытых камер (2011) (газохроматограф); анализ проб воздуха (1990, 2013) (газовый хроматограф с детектором электронного захвата для измерения микробиологической активности и концентрации N₂O в пробах воздуха); определение содержания органического углерода в почве – ГОСТ 26213–91 (1992) (фотоэлектроколориметр). В почвенных образцах определяли: каталазную активность газометрическим методом по А.Ш. Галстяну (2005) (газометрическая установка), инвертазную активность методом И.Н. Ромейко, С.М. Малиновской и уреазную активность методом Т.А. Щербаковой (2005) (тетраметрическая установка), общую фосфатазную активность по методу И.Т. Геллер и К.Е. Гинзбург (2005); определение валового содержания тяжелых металлов – по ПНД 16.1:2.2: 2.3. 36 – 02 (1972) (атомно-абсорбционный спектрометр); фенологические наблюдения – по методике Госсортсети (1961) (рамкой 0,25x0,25 в 3-х кратной повторности).

Учеты и отборы почвенных образцов проводили на двух несмежных или на всех повторениях опытов методом случайных выборок.

Результаты исследований анализировали математическими методами статистического и дисперсионного анализа, с применением программы Statistic (1985).

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ЭКОЛОГО- ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОЭКОСИСТЕМ

3.1 Закономерности пространственного варьирования агрофизических параметров плодородия почвы агроэкосистем. Одной из главных составляющих, происходящих в агроэкосистеме процессов, является структура почвы. От её состояния зависят все физико-биологические процессы, протекающие в почве. Её свойства в значительной степени обусловлены механическим составом, содержанием и составом гумуса, которые формируют структуру почвы. Чем выше структура, тем почва меньше уплотняется и нуждается в механическом рыхлении (Н.Г. Зырин, Н.А. Чеботарева, 1979; А.И. Перельман, 1975; Э. Рассел, 1955).

При изучении влияния агроэкосистем на структуру почвы, руководствовались классификацией почвенных комков по их размерам (В.Г. Минеев, 1994). К наиболее ценным относятся комки размером от 0,25 до 10 мм. Коэффициент структурности определяется отношением массы комковато-зернистой почвы (10-0,25 мм) к массе остальных комков, состоящей из суммы агрегатов размером более 10 мм и менее 0,25 мм. Коэффициент основан на количестве агрономически-ценных агрегатов, диапазоны которого для оценки качественного состояния структуры почвы составляют: более 1,5 – отличное агрегатное состояние; 1,5-0,67 – хорошее; менее 0,67 – неудовлетворительное.

Содержание агрономически-ценных агрегатов и коэффициента структурности в агроэкосистемах на серой лесной и дерново-подзолистых почвах зависит от уровня интенсивности антропогенных факторов. Содержание агрономически-ценных агрегатов в слоях почвы агроэкосистем 0-20 и 0-30 см в сравнение с экосистемой находится на уровне – отличного агрегатного состояния, а его показания превышали коэффициент 1,5.

Интенсивное механическое рыхление почвы в агроэкосистемах за счет применения вспашки в сравнении с безотвальной обработкой приводит к разрушению агрономически-ценных агрегатов в серой лесной и дерново-подзолистой почве, коэффициент структурности в агроэкосистемах снижается в слое 0-30 см соответственно на 10-20% и 45%.

С повышением уровня интенсивности антропогенного воздействия за счет поступления органических и минеральных удобрений в агроэкосистемах на серой лесной среднесуглинистой почве коэффициент структурности увеличивается. Наиболее высокие его показатели отмечены в агроэкосистемах с безотвальной обработкой на глубину 20-22 см в слое 0-20 см – 3,9 и 0-30 см – 4,9, что превышает показатель залежного участка (2,4 и 2,1). В агроэкосистеме дерново-подзолистой супесчаной почве с экстенсивным уровнем интенсивности, содержание агрономически-ценных агрегатов в слоях 0-20 и 0-30 см уменьшается на 14,7 и 17,0 % ($НСР_{05} = 9,5$ и $5,6\%$), а коэффициент структурности снижается до хорошего агрегатного состояния в сравнении с биоценозом. Повышение уровня интенсивности антропогенных факторов от нормального до интенсивного органоминерального обеспечивает коэффициент структурности на уровне отличного агрегатного состояния – 1,7 – 2,1.

Повышение уровня интенсивности агроэкосистемы до высокоинтенсивного органоминерального уровня позволяет сохранять коэффициент структурности и количество агрономически-ценных агрегатов на уровне природных биоценозов.

Агроэкосистему можно считать устойчивой, если изменение почвенного покрова в процессе её функционирования не ухудшают показателей целинных аналогов. Актуальность этой проблемы обусловлена интенсивным антропогенным воздействием на экосистемы в виде различных ежегодных механических обработок и применения различного уровня доз минеральных и органических удобрений. Это неоднозначно оказывает своё влияние на основную характеристику почвы – её плотность. От значений плотности сложения зависит направленность и характер протекания всех биологических и биохимических процессов в почве.

Исследуя серую лесную почву в Опольной зоне Владимирской области определили, что плотность почвы в агроэкосистемах (формируемых с 1996 года), как с различным механическим воздействием, так и химическим (минеральные и органические удобрения) в слоях 0-20 и 0-30 см снижалась по мере увеличения интенсивности технологии от нулевого до высокоинтенсивного органоминерального на $0,05 \text{ г/см}^3$. Наиболее низкие показатели плотности в слое 0-20 см были отмечены в почве с высокоинтенсивной органоминеральной технологией по отвальной вспашке ($\text{НСР}_{05} = 1,27 \text{ г/см}^3$) и по безотвальной обработке ($\text{НСР}_{05} = 1,25 \text{ г/см}^3$) в сравнении с залежным участком ($\text{НСР}_{05} = 0,11 \text{ г/см}^3$). В целом уровень формируемой плотности в агроэкосистемах за счёт агрогенного воздействия соответствует оптимальной плотности для возделывания сельскохозяйственных культур (Д.С. Булгаков, 2002; И.Г. Зинченко, С.И. Зинченко, 1997).

Проводя сравнение влияния антропогенного воздействия почвообрабатывающих машин на серую лесную среднесуглинистую почву можно отметить, что в результате ежегодной отвальной обработки почвы (в течение 18 лет) во всех агроэкосистемах, не зависимо от их интенсивности, формировалась более высокая плотность почвы в слое 0-20 и 0-30 см. За счёт активного крошения почвы при отвальной вспашке к периоду проведения наблюдений процессы уплотнения протекают более активно, в отличие от безотвальной обработки (О.В. Енкина, 1999).

Аналогичные тенденции наблюдаются и в опыте 2, где серые лесные почвы в течение 29 лет подвергалось механическому воздействию на различную глубину при одном уровне интенсивности (нормальная технология) (табл. 4).

Таблица 4 – Плотность сложения серой лесной среднесуглинистой почвы в агроэкосистемах Владимирской области. Опыт 2

Экосистема, антропогенные факторы	Слой, см	
	0-20	0-30
Целина (контроль), г/см^3	1,35	1,42
Отвальная вспашка на 20-22 см + $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$, г/см^3	1,34	1,40
Безотвальная обработка на 20-22 см + $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$, г/см^3	1,31	1,35
Безотвальная обработка на 8-10 см + $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$, г/см^3	1,30	1,34
НСР_{05} , г/см^3	0,24	0,21

Плотность почвы в изучаемых слоях в агроэкосистеме с отвальной вспашкой в период исследований была выше, чем при безотвальных обработках на глубину 6-8 и 20-22 см.

Однако её уровень был, в целом, ниже, чем на залежном участке и соответствовал уровню оптимальной плотности для возделывания сельскохозяйственных культур.

Применение на дерново-подзолистой супесчаной почве Владимирской области (опыт 3) отвальной вспашки, различного уровня доз минерального и органического удобрения приводит к улучшению показателей плотности сложения в слоях 0-20 и 0-30 см в сравнении с природными аналогами (табл. 5).

Применение в агроэкосистеме высокоинтенсивной органоминеральной системы удобрений на фоне отвальной вспашки способствует дальнейшему существенному снижению плотности почвы до $1,60 \text{ г/см}^3$. За счёт ежегодного поступления в почву органического и минерального удобрения (навоз 10 т/га + $\text{N}_{100}\text{P}_{50}\text{K}_{120}$), вероятно, происходит формирование большего объема корневой системы, увеличивается поступление пожнивных остатков, что способствует формированию агрономически-ценных агрегатов и разуплотнению почвы.

Благоприятное влияние на реализацию этого процесса оказывают органические удобрения, в составе которых в почву попадают гумусовые и перегнойные органоминеральные соединения, способствующие структурообразованию.

Таблица 5 – Плотность сложения дерново – подзолистой супесчаной почвы агроэкосистем Владимирской области. Опыт 3

Экосистема, антропогенные факторы	Слой, см	
	0-20	0-30
Лес (контроль)	1,59	1,72
Пар, г/см^3	2,00	2,10
Экстенсивный, г/см^3	1,85	1,93
Нормальный минеральный ($\text{N}_{50}\text{P}_{25}\text{K}_{60}$), г/см^3	1,85	1,93
Нормальный органоминеральный ($\text{N}_{25}\text{P}_{12}\text{K}_{30}$ +навоз 5 т/га), г/см^3	1,70	1,80
Высокоинтенсивный органоминеральный ($\text{N}_{100}\text{P}_{50}\text{K}_{120}$ +навоз 10 т/га), г/см^3	1,60	1,60
НСР ₀₅ , г/см^3	0,11	0,08

Исследования дерново-подзолистой почвы полевого стационара в Ивановской области показали, что формирование агроэкосистемы в течение 27 лет привело к значительному снижению плотности почвы в сравнении с целинным аналоговым участком. В слое 0-20 см плотность уменьшилась от 1,40 до 1,20-1,30 г/см^3 , а в слое 0-30 см снижение плотности произошло только в агроэкосистеме с безотвальной обработкой на 20-22 см – от 1,50 до 1,30 г/см^3 .

Формирование в Костромской области агроэкосистем на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в течение 36 лет показало, что применение технологий с использованием отвальной вспашки на 20-22 см, минеральных удобрений и извести позволяет снизить плотность сложения почвы в слое 0-20 см (в сравнение с участком леса) до $1,30 \text{ г/см}^3$ или на $0,05 \text{ г/см}^3$ (НСР₀₅= $0,09 \text{ г/см}^3$) не зависимо от уровня технологии (табл. 6).

В слое 0-30 см так же происходило снижение плотности в агроэкосистеме с нормальной технологией на $0,02 \text{ г/см}^3$, а в остальных агроэкосистемах на существенную разницу - $0,10 \text{ г/см}^3$ (НСР₀₅= $0,09 \text{ г/см}^3$).

Таблица 6 – Плотность сложения дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в агроэкосистемах Костромской области. Опыт 5

Экосистема, антропогенные факторы	Слой, см	
	0-20	0-30
Лес (контроль), г/см ³	1,35	1,40
Нормальный (N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂), г/см ³	1,30	1,38
Интенсивный (3 т/га-CaCO ₃ +N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂), г/см ³	1,30	1,30
Высокоинтенсивный (25 т/га CaCO ₃ +N ₉₆ P ₉₆ K ₉₆), г/см ³	1,30	1,30
НСР ₀₅ , г/см ³	0,09	0,09

В целом уровень плотности в слое 0–20 см, формируемый в агроэкосистемах различной интенсивности, соответствует оптимальным значениям плотности почвы для возделывания сельскохозяйственных культур и находится в диапазоне 1,20–1,40 г/см³. По отвальной вспашке, независимо от уровня интенсивности агроэкосистем, процессы уплотнения почвы проходят более активно, чем при безотвальной обработке. С увеличением уровня интенсивности использования органоминеральных, минеральных удобрений и извести происходит снижение плотности сложения в агроэкосистемах дерново – подзолистой почвы.

3.2 Миграционный пул нитратного азота в вертикальном профиле почв агроэкосистем. Усилие антропогенных воздействий на почвенный покров принципиально меняет масштабность, направленность и алгоритм его эволюции. Одним из последствий этого является вторичная геохимическая дифференциация на разных уровнях организации педосферы. Интенсификация земледелия приводит к аккумуляции одних и потере других, а также меняет их профилное распределение.

Рассмотрим миграционные потери нитратного азота из пахотного слоя в ниже лежащие горизонты почвы в зависимости от уровня интенсивности антропогенной нагрузки на агроэкосистему Верхневолжья. В серых лесных почвах Владимирского ополья (опыт 1, 2) с периодическим промывным режимом нитраты обнаруживаются до глубины 3 м.

В агроэкосистемах на серой лесной почве с увеличением интенсивности антропогенной нагрузки от нулевого уровня интенсивности технологии в агроэкосистеме до высокоинтенсивного органоминерального происходит снижение активности миграции N-NO₃ в нижележащие слои до уровня биоценоза. Содержание N-NO₃ в слое 20-300 см агроэкосистем с различной антропогенной нагрузкой снижается в следующей последовательности: агроэкосистема с нулевой антропогенной нагрузкой – агроэкосистема с интенсивной антропогенной нагрузкой – агроэкосистема с высокоинтенсивной минеральной антропогенной нагрузкой – агроэкосистема с высокоинтенсивной органоминеральной антропогенной нагрузкой. В сравнении с экосистемой содержание N-NO₃ в агроэкосистемах соответственно превышало в 4,5, 2,1 и 1,6 раза. В агроэкосистеме с высокоинтенсивной органоминеральной антропогенной нагрузкой содержание нитратов было на уровне экосистемы.

Интенсивность механического рыхления в агроэкосистеме на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве (опыт 4) приводит к увеличению потерь нитратного азота из верхних слоев почвы и накоплению их слоях – 40-140 см до 13,84 мг/кг почв. Общее содержание N-NO₃ в слое 20-230 см при этом увеличивается на 40% в сравнении

с экосистемой. В почве с безотвальной обработкой содержание нитратов в изучаемом слое находится на уровне целинного участка (5,75 мг/кг почв) – 4,24 мг/кг почв.

В агроэкосистемах дерново–подзолистой легкосуглинистой почве, где агрогенное влияние обусловлено различным уровнем поступления в системы минеральных удобрений и мелиорантов (опыт 5), выявлено, что формирование высокоинтенсивного уровня, способствует снижению миграционной активности нитратного азота из корнеобитаемого слоя и уменьшает его потери за счет эффективного использования при наращивании биопродукционной фитомассы. Поэтому миграционный пул минерального азота в профиле почв Верхневолжья отражает специфику его функционирования, которая определяется уровнем антропогенного воздействия на агроэкосистемы.

Экологический аспект обусловлен тем, что в почвах Верхневолжского региона, с периодически промывным водным режимом, нитраты обнаружены до глубины 3 метров.

Это свидетельствует о возможности глубокой миграции нитратов и возможности включения их в биохимический круговорот, начальными звеньями которого являются почва – материнская порода – грунтовые воды. При глубоком залегании грунтовых вод такая опасность, исключается, хотя остаточные следы соединений азота наблюдаются по всем профилям материнской породы. Их стабилизации способствует низкая биологическая активность этой части коры выветривания.

Вредное потенциальное влияние нитратного азота в агроэкосистемах Верхневолжья может быть сведено к минимуму путем максимального использования азота сельскохозяйственными культурами, чтобы не осталось большого количества неиспользованных растениями нитратов, которые не удерживаются почвенным поглощающим комплексом и могут мигрировать глубже корнеобитаемого слоя.

3.3 Оценка гумусового состояния почв Верхневолжья. Одним из основных показателей плодородия почв наиболее полно определяющих их функциональные свойства, энергетический потенциал и экологическое состояние, является их гумусовый режим. Вследствие большей сорбционной способности и буферных свойств органическое вещество во многом определяет характер миграционных и обменных процессов в почве (Н.С. Авдонин, Л.А. Лебедева, 1970).

Количество гумуса в агроэкосистемах сопоставимо уровню его содержания в экосистеме и определяется интенсивностью и характером антропогенной нагрузки.

Агрохимическое воздействие в агроэкосистемах серой лесной почвы способствовало увеличению содержания гумуса (табл. 7).

Таблица 7 – Влияние уровня интенсивности агроэкосистем на содержание гумуса в слое 0-20 см серой лесной почвы. Опыт 1

Экосистема, антропогенные факторы	Содержание гумуса, %
Экосистема (контроль)	2,20
Нулевой (навоз 6,7 т/га)	2,87
Интенсивный (N ₄₅ P ₄₀ K ₄₀)	2,87
Высокоинтенсивный минеральный (N ₆₅ P ₆₀ K ₆₀)	2,89
Высокоинтенсивный органоминеральный (N ₇₁ P ₅₈ K ₅₈)+навоз 13 т/га	2,74

Количество гумуса в агроэкосистемах сопоставимо уровню его содержания в экосистеме и определяется интенсивностью и характером антропогенной нагрузки.

Расширенное воспроизводство гумуса на дерново – подзолистой почве показывают агроэкосистемы с использованием органических и органоминеральных удобрений (табл. 8, 9). Высокие дозы минеральных удобрений систематически вносимых на фоне использования извести изменяют интенсивность минерализации органического вещества, увеличивая содержание гумуса до показателей природных аналогов.

Таблица 8 – Влияние уровня интенсивности агроэкосистем дерново–подзолистой супесчаной почвы на содержание гумуса в слое 0-20 см. Опыт 3

Экосистема, антропогенные факторы	Содержание гумуса, %
Экосистема	1,15
Нулевой (навоз 20 т/га)	1,37
Нормальный минеральный (N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀)	1,04
Высокоинтенсивный минеральный (N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀)	1,06
Высокоинтенсивный органоминеральный (N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + навоз 10 т/га)	1,25

Таблица 9 – Влияние уровня интенсивности агроэкосистем дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на содержание гумуса в слое 0-20 см. Опыт 5

Экосистема, антропогенные факторы	Содержание гумуса, %
Экосистема	1,58
Нормальный (N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	1,24
Интенсивный (3 т/га –CaCO ₃ +N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	1,50
Высокоинтенсивный (25 т/га –CaCO ₃ +N ₉₆ P ₉₆ K ₉₆)	1,61

Проведенные исследования показали возможность контролировать основные изменения экологических условий определяющих гумусное состояние почв в агроценозах, и отслеживать направление процессов гумусообразования.

3.4 Влияние агроиспользования почв на интенсивность эмиссии закиси азота.

Интенсивность и направленность процессов трансформации соединений азота в почвах агроэкосистем мы одновременно контролировали по эмиссии метаболического газа N₂O. Химически активный азот оказывает негативное воздействие на все элементы экосистемы: её биоразнообразие, влияния на баланс парниковых газов, качество воздуха и почвы (Д.А. Максимов, Н.П. Козлов, 2010). Диоксид азота (N₂O), наряду с несколькими другими, является тепличным газом и увеличение его концентрации в атмосфере одна из причин глобального потепления климата. Кроме того, закись азота является разрушителем озонового слоя стратосферы (О.Л. Трещалов, 2010).

Для изучения уровня денитрификации исследования проводились в течение вегетационного сезона, 2016 г. на серой лесной среднесуглинистой почве в опыте 2 Владимирского НИИСХ. В полевой эксперимент были включены варианты с различной механической обработкой почвы. На этих фонах были выделены микроделанки (9 см²) с экстенсивным уровнем (без использования удобрений) и нормальным (N₆₀). Время проведения

опыта 140 дней. Изучение эмиссии закиси азота в течение вегетационного периода из почв агроэкосистем экстенсивного типа показало, что суммарное выделение N_2O ниже ($481 - 556 \text{ гN-N}_2O \text{ га}^{-1}$) по сравнению с участками залежи ($580 \pm 20 \text{ гN-N}_2O \text{ га}^{-1}$). Кумулятивные потоки N_2O при экстенсивном уровне антропогенной нагрузки в агроэкосистемах были ниже, чем на участке залежи и достоверно не зависели от уровня интенсивности механического рыхления. Повышение уровня интенсивности агроэкосистем от экстенсивного до нормального уровня за счёт внесения минеральных удобрений (N_{60}), приводит к усилению продуцирования N_2O пахотными почвами.

Максимальные показатели кумулятивного потока закиси азота наблюдали при плоскорезном рыхлении почвы на глубину 6-8 см - $1088 \pm 42 \text{ гN-N}_2O \text{ га}^{-1}$. Интенсивность кумулятивных потоков N_2O в агроэкосистемах с использованием азотных удобрений зависела от плотности почвы и возрастала от агроэкосистемы с низкой плотностью сложения к более высокой соответственно, как - вспашка на 20-22 см - безотвальное рыхление на 20-22 см - безотвальное рыхление на 6-8 см. То есть максимальные потери азота в форме N_2O были выявлены в агроэкосистеме с безотвальным рыхлением на глубину 6 – 8 см и применением азотных удобрений 60 д.в. кг/га.

Изучение этого вопроса позволяет выявить влияние изучаемых антропогенных факторов на эмиссию N_2O из почвы агроэкосистем и совершенствовать технологии, которые не несут урон окружающей среде, а существуют с ней в гармонии и позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой (В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова, 2005).

3.5 Содержание тяжелых металлов в почве агроэкосистем. В связи с усиливающимся антропогенным воздействием в агроэкосистемах обусловленным их интенсификацией, в условиях крайне напряженной экологической ситуации, необходимо выяснить влияние антропогенной деятельности в агроэкосистемах на геохимические циклы в биосфере тяжелых металлов. В настоящее время это является неотъемлемой частью комплекса проблем, связанных с охраной природной среды для разработки стратегии управления потоками веществ и энергии в ландшафтах.

Проведенные исследования С.М. Лукиным (2009) (ВНИИОУ, Владимирская область) в длительных полевых опытах показали, что применение удобрений оказывает слабое действие на содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы и клубнях картофеля (С.М. Лукин, 2009). В связи с этим нами было исследовано влияние агроэкосистем только на накопление валовых форм тяжелых металлов в почвах, содержание в пахотном и подпахотных слоях наиболее вероятных и опасных загрязнителей окружающей среды – Cu, Pb, Zn, Cd, так как эти металлы широко используются в промышленности и сельском хозяйстве.

Агроэкологические обследования последних лет в Нечерноземной зоне РФ показали, что сельскохозяйственное производство может заметно повышать фоновое содержание ТМ, которые накапливаются в почве, особенно в верхних гумусовых горизонтах, что в свою очередь негативно влияет на агроэкологическое состояние почв, количество и качество получаемой продукции (М.М. Овчаренко, 1997).

Длительное агрогенное воздействие в разной степени повлияло на изменение содержания и миграционную активность изученных элементов. Анализ показал, что профили распределения меди и цинка в агроэкосистемах серой лесной почвы имеют сходные закономерности. Концентрация меди в агроэкосистемах увеличивалась в слое почвы 0 – 30 см, то есть в максимально агрогеннозависимом слое. Максимальные величины накопления Cu

наблюдаются в агроэкосистеме интенсивного уровня – 8,5 мг/кг почвы. Снижение миграционной активности меди ниже глубины 30 см, видимо, обусловлено образованием органоминеральных комплексов при использовании интенсивных и высокоинтенсивных уровней органических и минеральных удобрений.

Содержание Zn в почве агроэкосистем варьировало от 28 до 40 мг/кг почвы. Как и при распределении Cu, в слое 0 – 30 см его содержание было выше, чем на контроле (25,5 мг/кг) и определялось значениями 27,0 – 34,0 мг/кг почвы. Дальнейшее распределение Zn в почвенном профиле аналогично природной экосистеме. Повышение интенсивности технологий в агроэкосистемах на серой лесной почве не привело к увеличению валовых форм цинка в метровом слое почвы.

Максимальное количество валовых форм свинца приурочено к слою 0 – 10 см – 16,1 мг/кг. В ниже лежащих слоях содержание его опускается до уровня – 10,1 – 12,7 мг/кг. Накопление элемента отмечено в слое 0–30 см высокоинтенсивного органоминерального уровня. Ниже 30 см содержание Pb в почве снижается с увеличением уровня интенсивности технологий. Вероятно, это происходило как отмечает И.А. Карлович, в результате поглощения свинца корневой системой из ниже лежащих слоев почвы и перемещение его по корневой системе в верхние горизонты. Там происходит концентрация Pb за счет ежегодно отмирающей корневой массы (И.А. Карлович, С.Г. Федоров, 2009).

Содержание кадмия, в агроэкосистемах превышало природный аналог по вертикальному профилю до 70 см. Максимальное накопление элемента произошло в агроэкосистеме высокоинтенсивного минерального уровня – 1,3 мг/кг в слое 0 – 30 см. Концентрация Cd в этом слое наблюдается также в других экосистемах интенсивного уровня. При нулевом уровне интенсивности его содержание в этом слое оставалось на уровне контроля – 0,8 мг/кг при ОДК – 2,0 мг/кг.

Для характеристики накопления ТМ в агрогеннозависимом (0-40см) слое почвы агроэкосистем мы использовали коэффициент аккумуляции, рассчитываемый по формуле: $K_c = C/C_0$, где C – содержание ТМ в исследуемой почве; C_0 – содержание в фоновой почве, в нашем случае в почве экосистем (Л.Ф. Попова, Е.Н. Наквасина, 2014).

Анализ данных таблицы 10 свидетельствует, что в агроэкосистемах не происходило накопления свинца в слое 0-40 см, более того его содержание ниже, чем в экосистеме залежи. Отмечено возрастание концентрации кадмия, особенно в почве высокоинтенсивного минерального фона - 1,43. Коэффициенты аккумуляции меди и цинка были на уровне 1,0-1,1, незначительно превышая природные аналоги.

Таблица 10 - Коэффициенты аккумуляции ТМ в агроэкосистемах серой лесной почвы, слой 0-40 см

Уровень интенсивности агроэкосистем	Тяжёлые металлы			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Нулевой (навоз 6,7 т/га)	1,1	1,1	0,9	1,08
Интенсивный (N ₄₅ P ₄₀ K ₄₀)	1,1	1,1	0,8	1,21
Высокоинтенсивный минеральный (N ₆₅ P ₆₀ K ₆₀)	1,1	1,0	0,8	1,43
Высокоинтенсивный органоминеральный (N ₇₁ P ₅₈ K ₅₈ + навоз 13 т/га)	1,1	1,1	1,0	1,13

Хотя концентрация элементов Cu, Zn и Cd была выше, чем в почве природных биотопов, однако она не превышала значений ОДК. С возрастанием уровня интенсификации агросистем увеличивалась и аккумуляция ТМ в описываемых слоях почвенного профиля. В целом агрогенное воздействие на агросистемы изменяло распределение и количественные показатели ТМ в сторону их возрастания, однако это не привело к превышению показателей ОДК.

Таким образом анализ распределения ТМ в профиле агроэкосистем серых лесных почв показал их повышенную аккумуляцию в верхнем слое почвы, что связано с деятельностью корневой системы и приуроченность их к гумусовым горизонтам, то есть накоплению в слое 0 – 20, 0 – 40 см.

В профиле дерново – подзолистой легко суглинистой почвы Костромской области (опыт 5) отмечалась аналогичная закономерность – аккумуляция Cu в нижней части профиля, что может быть связано с её сорбированием илистой фракцией (Д.В. Карпова, 2009).

Содержание цинка в экосистемах дерново – подзолистой почвы было в диапазоне 24 – 30 мг/кг в метровом профиле. Накопление валовых форм наблюдается вниз по профилю с глубины 50 см. Такое же распределение характерно для кадмия и свинца. Возможно это обусловлено повышенной миграционной активностью элементов в почвах легкого механического состава и содержанием их в почвообразующей породе.

Длительное использование удобрений и мелиорантов (известки) изменяет концентрацию и распределение ТМ в метровом слое почвы.

В опыте 3 на дерново – подзолистой почве увеличение агрогенного воздействия на агроэкосистемы обусловило увеличение содержания Cu в метровом слое почвы на 27,3 – 63,6%. При этом среднее содержание меди в почве на 2,1 мг/кг выше, чем на контроле, но не превысило ОДК.

Накопление меди в агроэкосистемах опыта 5, в результате активного механического рыхления на глубину 20-22см и использование минеральных удобрений и известки в течение 35 лет приводит к увеличению ее содержания в слое почвы 0-40 см до 4,8 мг/кг (в экосистеме 2,7 мг/кг). Максимальное содержание меди в этом слое почвы отмечено в агроэкосистемах с интенсивным и высокоинтенсивным уровнем интенсивности – 4,5-4,8 мг/кг, с увеличением глубины её содержание резко падает. В агроэкосистемах с нормальным и высокоинтенсивным уровнем антропогенного воздействия технологий происходит миграция меди в нижележащие слои почвы на глубину до 100 см. В связи с этим содержание меди в метровом слое почвы увеличивается от 4,8 до 5,1 мг/кг или на 23,1 - 30,8 %. Однако эти показатели накопления валовых форм меди в почве не превышали ориентировочные допустимые концентрации (ОДК – 66 мг/кг).

Величины накопления цинка в агроэкосистемах дерново – подзолистой почвы определяются значением 10 – 30 мг/кг почвы. В почве стационарного опыта 5 содержания Zn во всех изучаемых агроэкосистемах ниже природных аналогов по всему почвенному профилю. Использование удобрений и известки не обусловило аккумуляцию цинка в почве агроэкосистем выше природного уровня. Уменьшение содержания Zn в пахотных почвах может быть связано со следующими причинами: равномерным распределением ТМ по всему пахотному горизонту в результате обработки почвы, миграцией в нижележащие горизонты вследствие изменения структуры и водопроницаемости почв, ускорения минерализации и изменения характера органического вещества, выносом части металлов с урожаем, со смывом фракций почвы с незадернованной поверхности сельхозугодий.

На дерново – подзолистой почве во Владимирской области (опыт 3) наиболее значимое возрастание Zn произошло в агроэкосистеме с высокоинтенсивным уровнем. В слое 60 – 100 см аккумуляция этого элемента составила 36 мг/кг. В слое 0 – 40 см все агроэкосистемы обусловили накопление Zn выше, чем в природной экосистеме. В агроэкосистемах низкого и среднего уровня интенсивности распределение валового Zn соответствует природным аналогам. В целом содержание элемента в дерново – подзолистой почве агроэкосистем не превышало допустимый уровень (ОДК – 110 мг/кг).

Аккумуляция валовых соединений свинца отмечена в агроэкосистемах дерново–подзолистой почвы на стационаре Костромского НИИСХ. Относительно природной экосистемы все изучаемые уровни интенсивности показали сукцессию накопления Pb в слое 0 – 30 см. В результате антропогенного воздействия происходит увеличение содержания свинца в верхних слоях почвы от 5,7 до 11,7 мг/кг. В экосистеме в слое 0-20 см содержание свинца составляло 4,7 мг/кг. Антропогенное воздействие на почву повышает содержание свинца в этом слое. При нормальном уровне интенсивности антропогенного воздействия содержание элемента составило 6,2 мг/кг, высокоинтенсивном – 9,7 мг/кг, интенсивном 11 мг/кг.

С глубины 60 – 100 см возрастало содержание Pb в почве высокоинтенсивного уровня, однако размеры его аккумуляции не превышали природные аналоги.

Содержание кадмия в слое 0–20 см дерново – подзолистых почв было ниже или находилось на уровне природных экосистем.

В экосистеме, расположенной на дерново-подзолистой супесчаной почве содержание кадмия плавно увеличивается с поверхности от 0,13 до 0,38 мг/кг на глубине 100 см (опыт 3).

Накопление его наблюдалось с глубины 25 см вниз по профилю на всех агроэкосистемах. На интенсивном органоминеральном уровне его концентрация более чем в 2 раза превышала содержание в экосистеме. В целом содержания валовых форм кадмия в слое 20-100 см с возрастанием интенсивности технологий (в сравнении с экосистемой – 0,2 мг/кг) увеличивалось в метровом слое почвы до 0,4 мг/кг в агроэкосистемах с экстенсивной технологией и до 0,6 и 0,5 мг/кг в агроэкосистемах с нормальной и высокоинтенсивной органоминеральной технологией.

Однако, как и в предыдущих агроэкосистемах содержание валовых форм кадмия в метровом слое почвы в изучаемых агроэкосистемах с экстенсивным уровнем интенсивности технологий не превышало ориентировочные допустимые концентрации (ОДК – 0,5 мг/кг).

В дерново – подзолистой почве Костромской области увеличение накопления Cd, также наблюдалось с глубины 30 см вниз по профилю. Однако абсолютные значения в агроэкосистемах не превышали концентрации кадмия в почве экосистем. Анализ коэффициентов аккумуляции ТМ в агроэкосистемах дерново-подзолистых почв определяется также уровнем агротехнического воздействия (табл. 11).

В опыте 3 на дерново - подзолистой почве содержание свинца было ниже природных аналогов на всех фонах интенсификации агроэкосистем. Наблюдалось явно выраженное накопление кадмия, в почве агроэкосистемы с высокоинтенсивным органоминеральным уровнем интенсивности, где K_a составил 2,06. В целом в почве этого варианта отмечен самый высокий средний коэффициент накопления ТМ.

В дерново - подзолистой легкосуглинистой почве (опыт 5) в слое 0-40см не отмечено накопления кадмия и цинка относительно природных аналогов. Концентрация меди и свинца увеличивается в почве с возрастанием агрогенной нагрузки. Самый низкий средний K_a отмечен при нормальном уровне интенсивности – 0,88.

Таблица 11 - Коэффициенты аккумуляции ТМ в агроэкосистемах дерново-подзолистых почв, слой 0-40 см

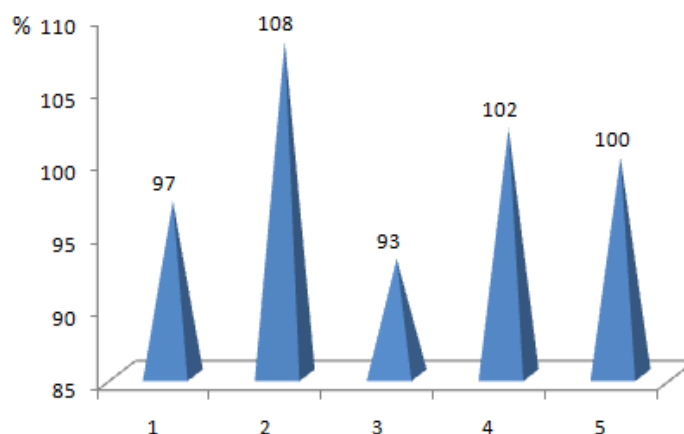
Уровень интенсивности агроэкосистем	Тяжёлые металлы				
	Cu	Zn	Pb	Cd	Средний K_a
Опыт 3. Дерново-подзолистая супесчаная почва					
Нулевой (20т/га навоза)	1,1	1,2	0,6	1,23	1,03
Нормальный минеральный ($N_{50}P_{25}K_{60}$)	0,8	1,0	0,8	1,41	1,0
Высокоинтенсивный органоминеральный (навоз 10т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$)	1,6	1,5	0,8	2,06	1,49
Опыт 5. Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва					
Нормальный ($N_{32}P_{32}K_{32}$)	1,1	0,7	1,0	0,72	0,88
Интенсивный (3 т/га - $CaCO_3$ (известь) + $N_{32}P_{32}K_{32}$)	1,5	0,8	1,8	0,69	1,20
Высокоинтенсивный (25 т/га - $CaCO_3$ (известь) + $N_{96}P_{96}K_{96}$)	1,3	0,7	1,5	0,66	1,04

3.6 Оценка биологического потенциала почвенных агроэкосистем Верхневолжья по показателям ферментативной активности. Интенсивность воздействия на почвенный покров разнообразными технологическими приемами проявилась в изменении показателей ферментативной активности. В большей степени этому были подвержены дерново-подзолистые почвы. Агротехническое воздействие на почву агроэкосистем, включающее использование минеральных удобрений, приводит к снижению уровня ферментативной активности относительно природных аналогов.

Средний ферментативный потенциал дерново – подзолистой почвы в опыте 2 (г. Кострома) снизился на 31% по сравнению с контролем, а в опыте 3 (г. Иваново) – на 24%. Наибольшей агрогенной трансформации был подвержен гидролитический фермент инвертазы. Инвертазная активность снизилась в 2-2,9 раза в почве агроэкосистем. На изучаемых фонах в этих опытах вносились средние и высокие дозы минеральных удобрений. Положительный эффект отмечается при применении органических удобрений и их совместном внесении с минеральными туками в опыте 2 (Владимирская обл.). На экстенсивном (навоз 20 т/га) и высокоинтенсивном органоминеральном (навоз 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$) фоне средний уровень ферментативной активности составил соответственно 117 и 109 %.

В агроэкосистемах серой лесной почвы самый высокий уровень ферментативной активности сформировался на среднем фоне -108% (рис. 2). Средние дозы минеральных и органических удобрений (навоз 40т/га раз в 6 лет + NPK 30-60) обусловили повышение каталазной и инвертазной активности почвы, что характеризует интенсификацию процессов синтеза гумусовых веществ.

Незначительное негативное влияние антропогенного воздействия на ферментативную активность почвы проявилось на нулевом и высокоинтенсивном минеральном фоне, и было вызвано достоверным снижением активности уреазы относительно залежного участка.



1-нулевой; 2-средний; 3-высокоинтенсивный минеральный; 4-высокоинтенсивный органоминеральный; 5-залежь

Рисунок 2 - Средний уровень общей ферментативной активности агроэкосистем серой лесной почвы.

Таким образом, ферментативное состояние изучаемых почв Верхневолжья показывает, что в условиях агроэкосистем с различным уровнем антропогенного влияния наблюдается трансформация активности ферментов относительно их природных аналогов. В экологическом плане эти результаты можно считать признаком ответной реакции почвенного покрова на внешние нагрузки антропогенного характера.

3.7 Биологическая продуктивность агроэкосистем. Сущность создания агроэкосистем заключается в использовании энергии и материалов для увеличения продуктивности экосистем и получения необходимой для человека продукции.

Продуктивность агроэкосистем на серой лесной почве зависела от интенсивности антропогенной нагрузки. При нулевом уровне интенсивности или поддерживающем фоне, когда уровень вносимых удобрений соответствовал, отчуждаемому объему питательных элементов происходило снижение продуктивности агроэкосистемы на 6,1 % в сравнении с экосистемой (табл. 12).

Таблица 12- Продуктивность агроэкосистем (яровая пшеница) на серой лесной почве в зависимости от уровня антропогенных факторов (канд. с.-х. наук Т.С. Бибик, 2014)

Экосистема, антропогенные факторы	Биомасса, т/га
Экосистема (контроль)	4,60
Нулевой (навоз 6,7 т/га)	4,32
Интенсивный (N ₄₅ P ₄₀ K ₄₀)	5,23
Высокоинтенсивный минеральный (N ₆₅ P ₆₀ K ₆₀)	5,68
Высокоинтенсивный органоминеральный (навоз 13 т/га + N ₇₁ P ₅₈ K ₅₈)	5,90

Дальнейшее повышение антропогенной нагрузки от интенсивного уровня до высокоинтенсивного органоминерального обеспечивало повышение продуктивности от 5,23 до 5,90 т/га. Что было выше продуктивности в экосистеме на 13,7 – 28,3 %. Продуктивность экосистемы на дерново-подзолистой супесчаной почве была 3,90 т/га (табл. 13).

Таблица 13 - Продуктивность агроэкосистем (озимая пшеница) на дерново-подзолистой супесчаной почве в зависимости от уровня антропогенных факторов
(д-р биол. наук С.М. Лукин, 2014)

Экосистема, антропогенные факторы	Биомасса, т/га
Экосистема (контроль)	3,90
Нулевой (навоз 20 т/га)	8,97
Нормальный минеральный (N ₅₀ P ₂₅ K ₆₀)	8,95
Высокоинтенсивный минеральный (N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀)	8,50
Высокоинтенсивный органоминеральный (N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + навоз 10 т/га)	9,24

Сформированные в течение 44 лет агроэкосистемы обеспечивали продуктивность на уровне 8,50-9,24 т/га, что превышало продуктивность экосистемы в 2,2 – 2,4 раза. Наиболее высокие показатели продуктивности были получены в агроэкосистеме при высокоинтенсивной органоминеральной нагрузке - 9,24 т/га.

В агроэкосистемах расположенных на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве биомасса растений формировалась на уровне 3,38 - 5,09 т/га (табл. 14). В экосистеме она была на уровне 2,60 т/га.

Таблица 14 - Продуктивность агроэкосистем (яровой ячмень) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от уровня антропогенных факторов
(канд. с.-х. наук О.П. Камнева, 2013)

Экосистема, антропогенные факторы	Биомасса, т/га
Экосистема (контроль)	2,60
Нормальный (N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	3,38
Интенсивный (0 т/га - CaCO ₃ (известь) + N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	4,12
Высокоинтенсивный (25 т/га - CaCO ₃ (известь) + N ₉₆ P ₉₆ K ₉₆)	5,09

Биомасса в агроэкосистемах увеличивалась с повышением интенсивности антропогенной нагрузки и была выше, чем в экосистеме на 1,18 – 3,03 т/га.

Выводы

1. Уровень антропогенного воздействия на почвенный покров агроэкосистем Верхневолжья в слое 0–30 см не вызывает отрицательной сукцессии агрофизических параметров. В агроэкосистемах не зависимо от эколого-генетических особенностей почвы и дифференцированного уровня антропогенной нагрузки сохраняются оптимальные значения количества агрономически ценной структуры на уровне хорошего и отличного агрегатного состояния.

Уровень плотности в слое 0–20 см, формируемый в агроэкосистемах различной интенсивности, соответствует оптимальным значениям плотности почвы для возделывания сельскохозяйственных культур и находится в диапазоне 1,20–1,40 г/см³. С увеличением уровня интенсивности использования органоминеральных, минеральных удобрений и извести происходит снижение плотности сложения в агроэкосистемах дерново- подзолистой почвы.

2. В агроэкосистемах на серой лесной почве с увеличением интенсивности антропогенной нагрузки от нулевого уровня интенсивности технологии в агроэкосистеме до высокоинтенсивного органоминерального происходит снижение активности миграции $N-NO_3$ в нижележащие слои (20-300 см) до уровня биоценоза.

Интенсивность механического рыхления в агроэкосистеме на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве приводит к увеличению потерь нитратного азота из верхних слоев почвы и накоплению их слоях – 40-140 см до 13,84 мг/кг почв. Общее содержание $N-NO_3$ в слое 20-230 см при этом увеличивается на 40% в сравнении с экосистемой.

Формирование высокоинтенсивного уровня в агроэкосистемах дерново-подзолистой легкосуглинистой почве за счёт агрогенного влияния обусловленного поступления в системы минеральных удобрений и мелиорантов, способствует снижению миграционной активности нитратного азота из корнеобитаемого слоя и уменьшает его потери за счет эффективного использования при наращивании биопродукционной фитомассы.

Миграционный пул минерального азота в профиле почв Верхневолжья отражает специфику его функционирования, которая определяется уровнем антропогенного воздействия на агроэкосистемы.

3. Количество гумуса в агроэкосистемах сопоставимо уровню его содержания в экосистеме и определяется интенсивностью и характером антропогенной нагрузки.

Агрохимическое воздействие в агроэкосистемах серой лесной почвы способствовало увеличению содержания гумуса. Расширенное воспроизводство гумуса на дерново-подзолистой почве показывают агроэкосистемы с использованием органических и органоминеральных удобрений.

Проведенные исследования показали возможность контролировать основные изменения экологических условий определяющих гумусное состояние почв в агроценозах, и отслеживать направление процессов гумусообразования.

4. Кумулятивные потоки N_2O при экстенсивном уровне антропогенной нагрузки в агроэкосистемах ниже, чем на участке залежи и достоверно не зависели от уровня интенсивности механического рыхления. Повышение уровня интенсивности агроэкосистем от экстенсивного до нормального уровня за счёт внесения минеральных удобрений (N_{60}), приводит к усилению продуцирования N_2O пахотными почвами.

Интенсивность кумулятивных потоков N_2O в агроэкосистемах с использованием азотных удобрений зависит от плотности почвы и возрастала от агроэкосистемы с низкой плотностью сложения к более высокой соответственно, как - вспашка на 20-22 см - безотвальное рыхление на 20-22 см - безотвальное рыхление на 6-8 см. Максимальные потери азота в форме N_2O были выявлены в агроэкосистеме с безотвальным рыхлением на глубину 6 – 8 см и применением азотных удобрений 60 д.в. кг/га.

5. Максимальное содержание ТМ (Cu, Zn, Pb, Cd) во всех изучаемых почвах Верхневолжья приурочено к пахотным горизонтам, что позволяет считать этот горизонт важным сорбционным барьером. Возрастание коэффициентов аккумуляции ТМ соответствует увеличению уровня агрогенной нагрузки в агроэкосистемах.

Характер распределения тяжёлых металлов по почвенному профилю свидетельствует об отсутствии выраженного антропогенного загрязнения почв Верхневолжья.

6. На серой лесной почве Владимирского ополья агрогенная нагрузка повышает активность почвенных ферментов в агроэкосистемах, что сопровождается интенсификацией общей активности биологических процессов в почве по сравнению с залежью. Самый высокий ферментативный потенциал формируется в почве агроэкосистемы интенсивного уровня – 108%.

Основные показатели ферментативной активности дерново-подзолистых почв, связанные с их эффективным плодородием, более высоки в природных экосистемах, чем в почвах пашни. Интенсивность воздействия на почвенный покров разнообразными технологическими приемами проявляется в снижении показателей их ферментативной активности

Ферментативное состояние почв Верхневолжья в условиях агроэкосистем с различным уровнем антропогенного влияния показывает явную трансформацию почв в метаболическом аспекте (по прогрессивному типу для показателей каталазной активности в некоторых агроэкосистемах). В экологическом плане эти результаты можно считать признаком ответной реакции почвенного покрова на внешние нагрузки антропогенного характера.

7. На серой лесной почве повышение антропогенной нагрузки в агроэкосистемах от интенсивной до высокоинтенсивной органоминеральной обеспечивает повышение продуктивности от 5,23 до 5,90 т/га или выше продуктивности в экосистеме на 13,7 – 28,3 %.

Агроэкосистемы на дерново-подзолистой супесчаной почве обеспечивают продуктивность на уровне 8,50- 9,24 т/га, что превышало продуктивность экосистемы в 2,2 – 2,4 раза. Высокие показатели продуктивности обеспечивает агроэкосистема с высокоинтенсивной органоминеральной антропогенной нагрузкой - 9,24 т/га. Продуктивность агроценозов зависит от уровня интенсивности антропогенной нагрузки в агроэкосистеме и возделываемой в ней культуры.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в Перечень ВАК РФ

1. Зинченко, С.И. Формирование объёмной массы серой лесной почвы в зависимости от антропогенного влияния в агроэкосистемах /С.И. Зинченко, А.А. Безменко, И.М. Щукин, Д.А. Талева // АПК Достижения науки и техники.-2013.-№4.-С.11-13.
2. Зинченко, М.К. Влияние вида угодий и приёмов основной обработки на биологическую активность серой лесной почвы / М.К.Зинченко, Л.Г.Стоянова, А.А. Безменко, И.М. Щукин //АПК Достижения науки и техники.-2013.-№4.-С.14-16.
3. Зинченко, С.И. Развитие корневой системы зерновых культур в агроэкосистемах на серой лесной почве / С.И. Зинченко, А.А. Безменко, И.М. Щукин, Д.А. Талева // Достижения науки и техники АПК. 2013. - № 4. - С. 20-22.
4. Зинченко, М.К. Количественная оценка микробного сообщества, трансформирующего соединения азота, в агроценозах серой лесной почвы / М.К. Зинченко, Л.Г. Стоянова, И.М. Щукин // Достижения науки и техники АПК. 2013. - № 4. - С. 17-19.

5. Щукин, И.М. Миграционный пул нитратного азота в вертикальном профиле почв Верхневолжья / И.М. Щукин, С.И. Зинченко // Проблемы региональной экологии. 2017. - №5. – С. 104 – 110.

Статьи в других научных изданиях

1. Корчагин, А.А. Эффективность минеральных удобрений на комплексе серых лесных почв Владимирского ополья в зависимости от погодных условий / А.А. Корчагин, И.Ю. Винокуров, И.М. Щукин // Владимирский земледелец.-2012.-№1.-С.7-10.
2. E.W.Shein, Studium zmienności charakterystyk szarej gleby lesnej / E.W.Shein, J. M. Szczukin // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE // XVII Międzynarodowa konferencja naukowa/ Instytut technologiczno-przyrodniczy w Falentach Oddział w Warszawie. – Warszawa, 2011. – P.246-249.
3. Щукин, И.М. Антропогенное влияние приемов основной обработки на структуру дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы / И.М. Щукин, С.А. Лесных, А.А.Борин// Владимирский земледелец.-2013.
4. Безменко, А.А. Формирование плотности сложения серой лесной почвы ополья в зависимости от приёмов основной обработки под яровую пшеницу / А.А. Безменко, И.М. Щукин // Владимирский земледелец. 2014. - № 2-3 (68-69). С. 5-8.
5. Зинченко, М.К. Ферментативная активность агроландшафтов Владимирского ополья / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко, И.М. Щукин // Сборнике: Инновационные технологии адаптивно-ландшафтном земледелии Коллективная монография. ФГБНУ «Владимирский НИИСХ». Суздаль, 2015. - С. 89-100.
6. Безменко, А.А. Эффективность различных приемов основной обработки в регулировании структуры серой лесной почвы под яровую пшеницу / А.А. Безменко, И.М. Щукин // Сборнике: Инновационные технологии адаптивно-ландшафтном земледелии Коллективная монография. ФГБНУ «Владимирский НИИСХ». Суздаль, 2015. - С. 60-65.
7. Зинченко, С.И. Антропогенное воздействие на структуру дерново-подзолистых почв в агроэкосистемах Верхневолжья / С.И. Зинченко, И.М. Щукин, С.М. Лукин, А.А. Борин // Владимирский земледелец. 2016. - № 1 (75). - С. 21-24.
8. Григорьев, А.А. Высокопродуктивные ресурсосберегающие технологии возделывания гороха посевного на почвах Верхневолжья / А.А. Григорьев, В.В. Окорков, А.И. Ильин, Г.Н. Ненайденко, С.И. Зинченко, И.М. Щукин.- Суздаль,2016 г.
9. Зинченко, С.И. Использование влаги яровой пшеницей в агроэкосистемах на серой лесной почве в ополье/ С.И. Зинченко, М.К. Зинченко, И.М. Щукин. – Новая наука: теоретический и практический взгляд. Международное научное периодическое издания по итогам Международной научной практической конференции. Ижевск, 2017. – С. 218-223.
10. Зинченко, С.И. Развитие корневой системы ярового овса в агроэкосистемах на серой лесной почве / С.И. Зинченко, М.К. Зинченко, И.М. Щукин. – Новая наука: теоретический и практический взгляд. Международное научное периодическое издания по итогам Международной научной практической конференции. Ижевск, 2017. – С. 224-227.