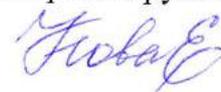


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МОСКОВСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ
К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи



КОВАЛЕНКО ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

**МОНИТОРИНГ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ
АГРОЭКОСИСТЕМ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Специальность: 03.02.08 – экология (биология)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
доктор сельскохозяйственных наук
профессор Н.С. Матюк

Москва 2016

Оглавление

Введение	4
Глава I. Изменение экологических функций почв при длительном воздействии природных и антропогенных факторов.	9
1.1. Мониторинг агроэкологических функций почв в агросистемах разной интенсивности	9
1.2. Изменение количественных и качественных характеристик состояние органического вещества почв агроэкосистем	11
1.3. Роль природных и антропогенных факторов в трансформации пахотного и нижележащих горизонтов.	15
1.4. Изменение численности и активности почвенной биоты в агроэкосистемах разной направленности	18
1.5. Оценка буферной способности агроэкосистем	24
1.6. Энергоемкость агроэкосистем	29
Глава II. Объекты и методы проведения исследований	32
2.1. Природно-климатические и почвенные условия	32
2.2. Схема опыта	34
2.3. Объекты исследований	36
2.4. Методика проведения наблюдений, анализов и учетов	39
Глава III. Изменение количественных и качественных характеристик состояния органического вещества	46
Глава IV. Оценка состояния и буферной способности агроэкосистем разной интенсивности	56
Глава V. Роль природных и антропогенных факторов в трансформации верхней части (0-100 см) почвенного профиля.	59
5.1. Изменение содержания органического вещества и биофильных элементов	59

5.2. Термографический анализ состояния органического вещества и минералогического состава	69
Глава VI. Изменение численности и активности почвенной биоты в агробиоценозах разной интенсивности	82
Глава VII. Сравнительная оценка энергоемкости агроэкосистем разной интенсивности.	89
7.1. Энергетический эквивалент органического вещества и запасов биофильных элементов почвы.....	90
7.2. Определение энергетических затрат на минеральные и органические удобрения и энергетического эквивалента растительных остатков	91
7.3 Энергия, отчуждаемая из агроэкосистем в процессе её функционирования	93
Выводы.....	96

Введение

Актуальность исследований. Базисная роль почвенного покрова в устойчивом функционировании биогеоценозов определяется множественностью его функций, высокой буферностью и адаптивностью к внешним воздействиям природных и антропогенных факторов. Биологическая продуктивность почвенного покрова, как результат влияния биоэнергетических и геохимических процессов, выражается в накоплении, воспроизводстве и сохранении энергии, высвобождающейся в результате циклической фиксации и эмиссии соединений углерода, азота, фосфора, калия и других биофильных элементов (Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., 1986; Ковда В.А., 1989).

К экологическим функциям почвы относятся: аккумуляция энергетических потоков в гумусе, воспроизводство плодородия, регулирование деятельности микробного сообщества, преобразование поступающих в почву органических и минеральных веществ в виде удобрений, а также поддержание на безопасном уровне среды обитания.

В последние 50 лет интенсивность потерь углерода почв усиливается, что приводит к ослаблению биогеоценологических функций почвенного покрова, регулирующих баланс CO_2 в атмосфере (Макаров Б.А., 1989).

Изучение изменения агроэкологических функций дерново-подзолистых легкосуглинистых почв южной части таежно-лесной зоны за более чем 100-летний период позволяет оценить устойчивость агроэкосистем, различных как по направленности, так и по интенсивности процессов обмена веществами и энергией.

Степень разработанности темы исследований. Экологические функции почвы реализуются через её способность формировать урожай с/х культур, аккумулировать солнечную энергию в виде гумуса, обеспечивать биохимические циклы превращения биофильных элементов. При нарушении этих функций при избыточном антропогенном вмешательстве почвенный покров подвергается деградации. Рациональное применение различных приемов замедляет и полностью предотвращает процессы деградации, обеспечивает рост

энергоёмкости агроэкосистем, повышает их устойчивость к воздействию стресс-факторов. Основополагающее значение при формировании агроэкосистем придается оценке их способности сохранять и поддерживать свои параметры и структуру в пространстве и во времени без изменения сбалансированности биохимического круговорота энергетических потоков. Оценке параметров устойчивости агроэкосистем, включающих изменение количественных и качественных характеристик органического вещества, структуры и организации микробного сообщества, продуктивности различных агробиоценозов и энергоёмкости потоков в системе «человек — почва — растение — атмосфера» посвящены рассматриваемые диссертационные исследования, ценность которых усиливается длительным, более 100 лет, периодом наблюдений.

Целью исследований было проведение мониторинга динамики изменения количественных и качественных параметров агроэкологического состояния агроэкосистем южной части таежно-лесной зоны при длительном воздействии на них природных и антропогенных факторов разной интенсивности.

Для достижения поставленной цели решали следующие **задачи**:

1. Выявить закономерности изменения количественных и качественных характеристик гумусового состояния среды обитания растений при длительном воздействии на почвенный покров природных и антропогенных факторов разной интенсивности.

2. Установить роль факторов интенсификации (удобрений, извести и способа размещения) в изменении направленности превращения, аккумуляции и миграции биофильных элементов в различных горизонтах почвенного профиля.

3. Дать оценку роли микробного сообщества в регулировании направленности биохимических процессов превращения органических веществ и изменении экологической устойчивости агроэкосистем различной интенсивности.

4. Провести сравнительную оценку энергетической ёмкости естественных биоценозов с различными агробиоценозами при длительном воздействии на них природных и антропогенных факторов и вычленили доминирующие компоненты.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях южной части таежно-лесной зоны дана углубленная оценка динамики изменения параметров агроэкологического состояния различных агробиоценозов при длительном, более 100 лет, воздействии природных и антропогенных факторов разной интенсивности, которое выражается количественными и качественными параметрическими характеристиками и аккумулируются в различной энергоемкости агроэкосистем.

Установлено, что агроэкологические функции агроэкосистем Длительного опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева являются производными временного их функционирования, способа использования пахотных земель и уровня антропогенного воздействия.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установленные в результате исследований изменения количественных и качественных параметрических характеристик экологических функций дерново-подзолистых легкосуглинистых почв при более, чем 100-летнем воздействии природных и антропогенных факторов (содержание и качественное состояние гумуса, изменение направленности биохимических процессов и экологической устойчивости различных агробиоценозов) могут быть использованы при разработке прогнозных моделей устойчивого функционирования различных агробиоценозов, обеспечивающих сохранение экологического равновесия в системе «почва – растение – атмосфера».

Методология и методы диссертационного исследования. В работе использованы традиционные методологические подходы, разработанные ведущими специалистами в области мониторинга изменения экологической функции почв, оценке состояния и резервов буферной способности агроэкосистем, разработки методов повышения их устойчивости к антропогенным стрессам. Кроме того, для выполнения поставленных задач были использованы современные методы оценки структурно-функциональных параметров и экологического потенциала органического вещества почвы в современных агроэкосистемах, которые изложены в соответствующих разделах диссертации.

Положения, выносимые на защиту.

- Динамика изменения количественных и качественных параметрических характеристик агроэкологических функций почв при длительном воздействии природных и антропогенных факторов разной интенсивности.
- Количественные и качественные изменения параметров гумусового состояния элементарных почвенных ареалов различных агроэкосистем при разных способах и интенсивности использования пашни.
- Взаимосвязь численности и интенсивности деятельности почвенной микрофлоры с процессами трансформации органического вещества в агроэкосистемах разной интенсивности.
- Оценка параметров и доли структурных компонентов в энергетической емкости агроэкосистем разной интенсивности при длительном воздействии (более 100 лет) природных и антропогенных факторов.

Степень достоверности и апробация результатов. Диссертация является самостоятельной завершённой научной работой, в которой все результаты принадлежат лично автору или получены при его непосредственном научно-методическом руководстве и участии. Результаты исследований были доложены в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой созданию объединённого аграрного вуза в Москве (Москва, 2014); Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2014» (Минск, 2014); Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, 2015).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 5 печатных работ, в том числе 2 научных статьи в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, обзора литературы, описания объектов, методов и условий проведения опытов, экспериментальной части, заключения, выводов. Диссертационная работа изложена на 115 страницах, содержит 20 таблиц, иллюстрирована 19 рисунками и

имеет список использованной литературы, содержащий 161 источник, из них 17 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность коллективу кафедры земледелия и методики опытного дела, научному руководителю профессору Матюку Н.С., сотрудникам кафедры физической и органической химии и лично профессору С. Л. Белоухову за помощь в проведении исследований, а также ценные и полезные советы, усиливающие диссертационную работу.

Глава I. Изменение экологических функций почв при длительном воздействии природных и антропогенных факторов

1.1. Мониторинг агроэкологических функций почв в агросистемах разной интенсивности

С интенсификацией земледелия увеличиваются возможности ее положительного влияния на свойства почвы. Однако, наряду с этим учащаются также негативные воздействия ряда технологических приемов на природную среду, приводящие к нарушению всех звеньев экологической цепи в системе «почва – растение – животное – человек». К наиболее значительным антропогенным факторам, приводящим к развитию негативных явлений в природной среде, относятся: техногенные выбросы, неграмотное применение органических и минеральных удобрений, пестицидов, использование тяжелой сельскохозяйственной техники, низкий уровень земледелия и т.д. К факторам, приводящим к развитию негативных процессов и явлений, также относятся: водная эрозия, иссушение и переувлажнение почв, слитизация, загрязнение почв и водоемов нитратами, пестицидами, тяжелыми металлами, минерализационные потери гумуса, нарушение нормальных биологических процессов и т.д. Сверхинтенсивное развитие этих процессов приводит к деградации почвенного покрова, снижению его плодородия, загрязнению сельскохозяйственной продукции токсическими веществами, вредными для здоровья людей (Захаренко А.В., 2004).

Труднопоправимый ущерб агроэкосистемам наносит дегумификация почв, которая определяется интенсивностью процессов эрозии и минерализации органического вещества. Уменьшение содержания гумуса в почвах не только существенно снижает их плодородие, но и отрицательно сказывается на глобальных экологических функциях почв, способности их служить барьером к воздействию неблагоприятных стресс-факторов внешней среды. Чрезмерная интенсификация сельскохозяйственного производства за счет увеличения доли пропашных и технических культур в агроэкосистемах, при недостаточном

внесении органических удобрений, способствуют повсеместному уменьшению содержания гумуса в пахотном слое почв (Вражнов А.В., 1996; Alvarez R. et, 1993).

Хозяйственная деятельность человека – мощный фактор воздействия на почву, который может как повышать, так и снижать ее потенциальное плодородие. В первом случае формируются высококультуренные, во втором – слабокультуренные и даже деградированные почвы.

Наиболее важными процессами, протекающими в почве, с точки зрения агроэкологии, являются трансформация поступающих в почву углеродосодержащих и азотистых соединений в составе пожнивно-корневых остатков, минеральных и органических удобрений, их закрепление, миграция и отчуждение с продукцией (Хазиев Ф.Х., 1982; Серeda Н.А., 2002).

Количественное и качественное состояние органического вещества является одним из центральных блоков в почвенном мониторинге. Эти показатели определяют функционирование основных свойств и режимов почв. Создание устойчивых агроэкосистем в первую очередь связано с осуществлением комплексных мероприятий по созданию условий не только для бездефицитного, но и положительного баланса органического вещества (Снакин В.В. и др., 1995; Чертов О.Г. и др., 1992).

Использование как органических, так и минеральных удобрений приводит к изменению общего содержания гумуса, накоплению лабильных его форм, что повышает его активность и может оказать на состояние почвы не только положительное влияние, но в некоторых случаях эти изменения могут носить и негативный характер. В связи с вышеизложенным, вытекает необходимость постоянного мониторинга содержания гумуса, и разработки мер регулирования его баланса (Девятова Т.А. и др., 2007).

Для принятия неотложных мер по оптимизации режима органического вещества почв необходимо обоснование и разработка агротехнических приемов, систем органических и минеральных удобрений на основе совершенствования севооборотов для сохранения и повышения почвенного плодородия. (Голомзин Р.С., Морозов В.И., Подсевалов М.И., Шайкин С.В., Карпов А.В., Петухов Е.А.,

2012) Одним из начальных этапов в решении этих задач является прогнозирование гумусового баланса (А.М. Лыков, 1985; А.И. Жуков, 1978).

Проблема органического вещества всегда занимала ведущее место в создании и функционировании различных агроэкосистем. О связи потенциального плодородия почвы с высоким содержанием в ней органического вещества указывал В.В. Докучаев (1949). Изучению его влияния (органического вещества) на плодородие почв и продуктивность биоценозов посвящены фундаментальные исследования П.А. Костычева (1949), М.М. Кононовой (1969), А.М. Лыкова (1981, 1982), В.В. Пономаревой (1964), И.В. Тюрина (1965), Т.Н. Кулаковской (1978), В.В. Пономаревой, Т.А. Плотниковой (1980), Л.Н. Александровой (1980), Н.Ф. Ганжары (1988), Д.С. Орлова (1990).

1.2. Изменение количественных и качественных характеристик состояния органического вещества почв агроэкосистем

В оценке гумусового состояния дерново-подзолистых почв важное место отводится определению содержания различных групп гумусовых кислот: гуминовых, фульвокислот и нерастворимой части гумуса. Отмечено, что в составе гумуса целинных и пахотных почв преобладают фульвокислоты (ФК), при чем с глубиной их количество возрастает, что свидетельствует о высокой их подвижности (Гогмачадзе Г.Д., Матюк Н.С., Полин В.Д., 2015).

Максимальное количество гуминовых кислот (ГК) приурочено к гумусовым горизонтам и резко изменяется с переходом в подзолистый и другие нижележащие генетические горизонты, что характеризует гуматно-фульватный тип состояния почв. Преобладание ГК над ФК достигается лишь на стадии сильной окультуренности исследуемых почв и носит нестабильный характер, изменяясь в соответствии с уровнем производственного использования пахотных земель (Аюпов З.З., Амиров М.Б., 1998).

Содержание углерода в негидролизуемом остатке гумуса, как известно, тесно связано с составом почвообразующей породы и степенью окультуренности почв. С утяжелением гранулометрического состава увеличивается количество глинистых минералов, способных удерживать на своей поверхности гумусовые

соединения. Кроме того, отмечено, что в условиях дефицита органического вещества микробиологическому расщеплению подвергаются легкогидролизуемые формы почвенного гумуса. В высокоокультуренных почвах доля негидролизуемого остатка уменьшается, но абсолютное его значение увеличивается (Александрова Л.Н., 1980).

Изменение характера поступления и трансформации органического вещества в результате сельскохозяйственного использования почв оказывает влияние на гумусовый режим и на некоторые другие диагностические показатели. Наблюдается заметное снижение содержания углерода и азота на первых стадиях освоения почвы. Агрономическая ценность ГК определяется содержанием в них азота как основного источника питания растений. По мере окультуренности почв доля азота в составе ГК заметно снижается. ФК пахотных почв несколько богаче азотом, чем целинных. В процессе окультуривания почв степень обуглероженности ГК возрастает, а ФК уменьшается (Казаков Г.И., Мухутдинов М.Ф., 1989).

Биологическая активность почвы, как один из важных показателей ее плодородия напрямую связана с процессами синтеза и распада органического вещества и от ее интенсивности в большой степени зависит динамика доступных питательных веществ в почве, а, значит, рост, развитие и продуктивность основных культур агробиоценозов. Она как совокупный показатель разнообразной деятельности микроорганизмов в большинстве случаев находится в прямой корреляции с плодородием почвы и продуктивностью агроэкосистем (Пронько В.В. и др., 2001).

Важным показателем плодородия, определяющим уровень продуктивности агробиоценозов является содержание валового и подвижного фосфора в почве, при котором он не являлся бы ограничивающим фактором функционирования агроэкосистем.

При достижении требуемого уровня фосфатный режим почв регулируется исходя из баланса этого элемента с учетом планируемой продуктивности агробиоценозов и снижения непроизводительных затрат удобрений, приводящих

к их потерям и загрязнению окружающей среды. Решение этих задач возможно на основе эколого-агрохимической оценки эффективности применения фосфорных удобрений при мониторинге энергоемкости агроэкосистем.

Основным показателем обеспеченности растений калием считается содержание его в почве в обменной форме. В почве существует динамическое равновесие между различными его формами: калий почвенного раствора, обменный и необменный (фиксированный в глинистых минералах). В процессе питания растений нарушается динамическое равновесие. При этом имеют значение степень подвижности обменного калия и скорость восстановления его из резервных (необменных) форм. Параметры обеспеченности почвы калием могут уточняться в зависимости от интенсивности использования пашни, реакции почвенного покрова, уровня обеспеченности почвы азотом и фосфором, а также особенностей возделываемых культур и других условий (Орлов А.П., 2002; Мамина Г.А., 1988; Девятова Т.А. и др., 2007).

Следует также иметь в виду, что для роста и развития многих растений нужна, как правило, нейтральная реакция почв или слабый сдвиг ее в кислую или щелочную сторону. Такая реакция также наиболее благоприятна для развития почвенных микроорганизмов.

Многие важные агрономические свойства почвы зависят от степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями. Степень насыщенности почв основаниями дает представление о количестве в почвенно-поглощающем комплексе поглощенных оснований и ионов водорода. Поглощенные ионы водорода, обуславливающие гидролитическую кислотность, могут быть вытеснены из почвенного поглощающего комплекса катионами гидролитически щелочных солей. Наличие гидролитической кислотности указывает на начало процесса обеднения почвенного комплекса основаниями. Если этот процесс не будет остановлен, то его дальнейшее развитие выразится в снижении буферности почвы и устойчивости к антропогенному воздействию. Поэтому гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований

являются важными показателями почвенного мониторинга экологических функций почвенного покрова (Егоров В.Г. и др., 2002).

Наибольшей устойчивостью к минерализации характеризуются почвы деградированных экосистем, которые представлены – контрольными без удобрений вариантами длительных опытов с бессменным паром.

Почвы интенсивных и сверхинтенсивных агроэкосистем с длительным применением органических, минеральных удобрений и их сочетаний имеют высокую биологическую активность, что увеличивает эмиссионный поток CO_2 в атмосферу.

Наиболее сильное воздействие на С-минерализующую способность почв оказывает интенсивность применяемых агротехнологий. Чем выше дозы органических, минеральных удобрений и особенно их сочетания, тем выше потенциальная способность почв к минерализации углерода гумуса (Ананьева Н.Д. и др., 2009).

Хотя окультуренность почвы и ее гранулометрический состав оказывают менее заметное воздействие на этот показатель, при близких агротехнологических условиях на высокоокультуренных почвах потенциальная способность их к минерализации С выше, чем на деградированных.

Высокие эмиссионные потери углерода при отрицательном балансе органического вещества почв являются показателем ее деградации, т.к. в процессы минерализации включается углерод наиболее устойчивых компонентов гумусовых веществ почвы. Анализ этих двух показателей: величины эмиссии CO_2 и баланса гумуса позволяет диагностировать состояние экологической устойчивости почв при длительном применении различных агротехнологий, которые должны обеспечивать депонирование С в агроценоз – с одной стороны и быстрое вовлечение его в новый цикл биохимических процессов в системе: атмосфера-растение-удобрение-почва – с другой. (Шевцова Л.К. 2004)

1.3. Роль природных и антропогенных факторов в трансформации пахотного и нижележащих горизонтов.

Процесс изменения элементного состава генетических горизонтов пахотной почвы непрерывен. Выявление закономерностей аккумуляции и миграции веществ на профильном уровне в зависимости от свойств почвы и интенсивности антропогенного воздействия приемами агротехнологий является необходимым условием проведения агроэкологического мониторинга. Мониторинг изменения параметров экологических функций дерново-подзолистых почв при интенсивном окультуривании важно для разработки мероприятий по управлению плодородием почв и продукционным процессом сельскохозяйственных культур, а также для оценки масштабов экологических последствий интенсивного воздействия на различные агробиоценозы (Витковская С.Е., Иванов А.И., Филлипов П.А., 2014).

Вовлечение целинных дерново-подзолистых почв в сельскохозяйственный оборот обуславливает постепенный процесс их окультуривания, который сопровождается существенным нивелированием неоднородности свойств элементарных почвенных ареалов, изменением морфологических признаков и качественного состава вовлеченных в этот процесс почвенных горизонтов. Скорость и направленность этих процессов зависит от почвенно-климатических условий, продолжительности и интенсивности воздействия антропогенных факторов (Витковская С.Е., 2011).

Установлено, что при окультуривании дерново-подзолистых почв происходит увеличение мощности гумусового горизонта, накопление биофильных элементов, изменение кислотно-основных свойств, а также других параметров (Пироговский Г.В. и др. 2004).

Процессы освоения и окультуривания дерново-подзолистых почв приводят к существенному изменению содержания и фракционного состава гумуса (Банников, 2003; Павлова О.Ю., 2004).

Скорость увеличения содержания макро – и микроэлементов в пахотном слое дерново-подзолистой почвы зависит от доз и периодичности внесения

минеральных и органических удобрений и скорости выноса их растениями и водами (Банников В.Н., 2003).

По данным Возбуцкой (1964), в подзолистых и дерново-подзолистых почвах в интервале рН 4,0-5,5 фосфор малоподвижен, поскольку в основном связан с полуторными окислами как в виде адсорбционных соединений, так в виде фосфатов Fe и Al. При оптимизации ионно-обменных свойств уменьшается активность полуторных окислов, ослабляются адсорбционные связи фосфора, увеличивается количество подвижных фосфатов кальция и, как следствие, происходит мобилизация почвенного фосфора.

Многие авторы отмечали, что интенсивность использования почв увеличивает миграцию фосфора, поступившего в почву с удобрениями (Аргунова В.А., 1974; Рыбакова В.А., Шафирян Е.М., Карпухин А.И., 1981; Фокин А.Д., Аргунова В.А., Кауричев И.С., 1973; Юркин О.Н., Благовещенская Е.Н., Макаров Н.Б., Пименов Е.Л., 1987).

К факторам, влияющим на фиксацию калия почвами, относят гранулометрический и минералогический состав, содержание гумуса и поглощенных катионов, а также сезонные изменения температуры, влажности, формы примененных калийных удобрений (Небольсин А.Н., Небольсина З.П., 2010). Эти факторы определяют интенсивность миграции элемента по профилю.

По данным Судакова В.Д. (2001) сложилось представление, что в почве калий удобрений быстро переходит в поглощенное состояние, в основном оставаясь в слое внесения, и легко вымывается только из легких почв.

Вовлечение земель в сельскохозяйственное использование, особенно в виде интенсивно обрабатываемой пашни - одна из основных причин негативного изменения свойств почв. При распашке разрушается дерновый слой, защищающий почву, вследствие чего повышается риск возникновения водной эрозии, активизируется процесс окисления органического вещества почвы (Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области...2002).

Эрозия почв, истощение и загрязнение водных источников, образование оврагов, снижение содержания гумуса и основных элементов минерального

питания растений в почвах сельскохозяйственных угодий, повышение их кислотности, ухудшение состояния сельскохозяйственных земель – все это важные проблемы, связанные с невосполнимым ущербом, наносимым земельным ресурсам и окружающей среде (Ковальский В.В., 2009; Sumner, 1987; Poulton, 1996; Yaalon Pan H., 1976; Ознобихин В.И., 1997, 2000, 2003; Донец Н.В., 1999; Черников В.А. и др., 2000; Pavaska, Lasur, 2001; Геннадиев А.Н. и др., 2005; Бурлакова Л.М., 2007; Трифонова Т.А. и др., 2007).

Рациональное землепользование, сохранение почвенного плодородия и окружающей среды в современных условиях невозможны без комплексного ландшафтно-экологического подхода (Черкасов Г.Н., Масютенко Н.П., Чуян О.Г., 2010).

Необходимость охраны почв, а правильнее говоря, восстановление и оптимизации их производительной силы, занимает особое, ключевое место среди всех других экологических и биосферных проблем (Тюрюканов А.Н. и др., 1990; Жученко А.А. 1999).

Вложение антропогенной энергии, величина агротехногенной нагрузки непосредственно оказывают влияние на структуру и функционирование агроэкосистемы.

Величина антропогенной нагрузки оказывает существенное влияние на компоненты агроэкосистемы, что обуславливает их различия по степени нарушения естественных связей, разнообразию сохранившихся и вновь приобретенных свойств.

Наряду с сохранением каких-то природных взаимосвязей под действием человеческого фактора в агроэкосистемах появляются новые взаимосвязи и элементы, каких в естественных условиях не наблюдается. Изменениям подвергаются две основные компоненты системы: биотическая, главным образом растительный состав – его обеднение и наличие монокультуры, и абиотическая, в частности, почва. Обработывая почву, мы меняем ее структуру, улучшаем (или ухудшаем) ее водный и температурный режимы, воздухопроницаемость, что способствует обычно ускорению процессов минерализации органического

вещества. Значительная часть вещества и энергии накапливается в культурных растениях и затем изымается с урожаем, часть выводится в нижние горизонты почвогрунтов, некоторая часть теряется с эрозионным стоком и удаляется из системы (Булаткин Г.А. 2008).

1.4. Изменение численности и активности почвенной биоты в агроэкосистемах разной направленности

Растения и микроорганизмы составляют основу фитоценоза и постоянно взаимодействуют друг с другом. Микроорганизмы составляют неотъемлемую часть внешней среды, с которой постоянно взаимодействуют растения. Отношения между ними сложны и многообразны и зависят как от состава корневых выделений, так и от условий окружающей среды (Егоров В.В., 1981).

В основном в ризосфере растений развиваются гетеротрофные микроорганизмы, обеспечивающие растения доступными формами минеральных соединений, а также физиологически активными веществами. Но среди них в почве ризосферы развиваются и фитопатогенные микроорганизмы, микромицеты и бактерии, наносящие вред растениям.

Антагонисты среди мира микробов широко распространены в природе. Число их в различных субстратах неодинаково и определяется как типом почв, так и культурой возделываемого растения. Дегradированным и экстенсивным агроэкосистемам присуще активное развитие микромицетов и малая численность микробов-антагонистов (Веденяпина И.С., 1985).

По мере накопления нитратного или нитритного азота в среде число культур бактерий, обладающих антагонизмом к фитопатогенным грибам, сокращается. Однако культуры, сохранившие эту физиологическую функцию, дают большие зоны угнетения роста грибов (Пахненко и др., 1999).

Уменьшение количества грибов при сельскохозяйственном использовании почв является одной из причин, по мнению Д.Р. Майсямовой (1997), уменьшения содержания гумуса, поскольку гуминовые кислоты образуются при участии грибов.

Восстановление микробиологической активности почвы, как известно, достигается внесением удобрений, введением севооборотов и известкованием. Одним из перспективных и экологичных приемов регулирования взаимоотношений и поддержания гомеостаза микробных сообществ, является обогащение почвы микробами-антагонистами фитопатогенных микромицетов. Если учесть, что состав микромицетов в ризосферной почве весьма разнообразен (их выделено 74 изолята), и среди них встречаются не только фитопатогенные грибы, но и сапрофиты, то все они могут принимать участие своими метаболитами в создании токсикоза почв. Поэтому крайне важно регулирование не только численности микромицетов, но и их состава в почвах (Н.Н. Наплекова, Ю.В. Чудинова., 2009)

Интерес к изучению роли микробиологического фактора в формировании почв и создании условий их плодородия возник с основания В.В. Докучаевым научного генетического почвоведения. Сам В.В. Докучаев (2008) придавал огромное значение микроорганизмам в процессах почвообразования. Одновременно с ним другой выдающийся ученый П.А. Костычев (1905) непосредственно использовал в своих работах микробиологические методы исследования почв. На основании своих работ он показал ведущую роль биологического фактора – растений и микроорганизмов в формировании почв и создании почвенного плодородия.

С точки зрения плодородия почвы и условий корневого питания растений наибольшее значение имеют сообщества почвенной микрофлоры, осваивающие растительные остатки с образованием перегноя (грибы, маслянокислые бактерии и др.) и, особенно, сообщества микрофлоры, связанной с переработкой (минерализацией) перегноя – аэробные целлюлозные бактерии, нитрификаторы, бактерии, минерализующие органические соединения фосфора, серы и др., с образованием доступных для растений питательных веществ – нитратов, фосфатов и других окисленных соединений (Курчева Г.Ф., 1971).

Усиленное размножение микроорганизмов при достаточном количестве питательных веществ приводит к закреплению биофильных элементов,

освобождаемых в доступной для растений форме после отмирания микробов и минерализации их плазмы. Одновременно с этим достигается предохранение от вымывания и химического поглощения легкорастворимых соединений почвы и минеральных удобрений, а также устранение возможного вредного влияния высокой концентрации солей (Buchanan M., King L.D., 1992).

С другой стороны, при недостатке питательных веществ в почве чрезмерное размножение микроорганизмов может привести к потреблению ими питательных веществ, то есть к явлению иммобилизации и ослаблению продуктивности различных агробиоценозов (Русакова И.В., 2003).

Чем беднее почва органическими веществами, чем она менее плодородна, тем резче проявляется влияние корневой системы на количественный состав микрофлоры ризосферы.

Роль корней в жизни микроорганизмов не ограничивается только лишь доставкой им питательных веществ. Вокруг корней создаются вообще более благоприятные физико-химические условия существования как для микробов, так и для самих растений. В прикорневой зоне, ризосфере, наблюдается повышенное скопление микробов, что обусловлено биологической активностью самих корней.

Исследования ряда авторов (Вальков В.Ф., Каргальцев В.И., 1982; Аристовская Т.В., 1988; Гомонова Н.Ф. и др., 1991) показывают, что растения селекционируют микрофлору почвы не только в течение вегетации, но и отмерших остатках, особенно корнях. Установлено, что остатки в зависимости от вида растения и их химического состава разлагаются различными формами микробов, т.е. каждый вид растения или группа близких видов концентрирует более или менее специфичную микрофлору.

Количество, скорость и полнота преобразования органического вещества микробной биотой определяют характер формирования почвенного профиля, складывающегося в той или иной экосистеме. Ежегодные колебания природных факторов определяют незначительные колебания параметров экосистемы (флуктуации) в рамках «нормы» (Buchanan M., King L.D., 1992).

Скорость процессов минерализации растительных остатков, состав образующихся при этом органических и минеральных соединений, а также их биогеохимическая судьба зависят от состава поступающего в почву материала (Мамилов А.Ш. и др, 1999).

Количество микробов, развивающихся в прикорневой зоне, меняется с возрастом растения. Максимальное число их обнаруживается в период наиболее бурного роста растения. Чем интенсивнее протекают жизненные процессы, тем больше выделяется корнями органических веществ и тем интенсивнее идет размножение микробов в ризосфере (Ladd J.N., 1981).

Растения создают и формируют различные агробиоценозы, оказывающие влияние на микробное население всей корневой системой и пожнивных остатков. При жизни растения выделяют через корни различные вещества – органические и минеральные, которые являются питательной средой для микроорганизмов (Сидоренко О.Д., 1984).

Микробное сообщество чутко реагирует на все положительные и отрицательные изменения в почвенной среде и является индикатором экологического состояния почвы (Звягинцев Д.Г., 1987).

Интенсивность воздействия антропогенных факторов вызывает изменение скорости разложения органического вещества за счет изменения активности почвенной биоты (Вальков В.Ф., Каргальцев В.И., 1986).

Селекционная деятельность растительного покрова может осуществляться в сторону отбора не только положительной, но и отрицательной микрофлоры. При неблагоприятных условиях, нарушении агротехнических правил и неправильном подборе в севообороте растений поля засоряются фитопатогенными бактериями, грибами и другими вредными микробами (Грачева Н.П. и др., 1986).

Основными факторами, обуславливающими токсикоз почв, во многих случаях являются естественные продукты выделения растений и метаболиты микроорганизмов. Растительный покров сильно изменяет активность токсических веществ в почве (Девятова Т.А. и др., 2007).

Плодородие почвы, в основном, зависит от содержания органического вещества, причем при оптимальных условиях процесс органического синтеза и минерализации поддерживаются на определенном уравновешенном уровне, характерном для данной почвы (Trinchera A. и др., 1999; Melander B., 2008).

Пополнение почвенных запасов органического вещества происходит, главным образом, за счет попадающих в почву растительных остатков. Однако, различные сельскохозяйственные культуры неравноценны по количеству и качеству пожнивных остатков, которые они оставляют в почве. Культуры, после которых остается небольшое количество пожнивных остатков, или же они малопитательные, с широким отношением C:N, отрицательно влияют на почвенное микронаселение, что часто приводит к «почвоутомлению», выражающемуся в уменьшении запасов гумуса в почве, снижении ее биологической активности, развитию корневых гнилей и т.д. (Мерецкая Е.Ф., 2006).

Изучение комплекса почвенных микроскопических грибов является информативным параметром биомониторинга сельскохозяйственного использования почвы (Щербаков А.П., 2001).

В процессе жизнедеятельности грибы образуют разнообразные вторичные метаболиты, которые могут оказывать существенное влияние как на развитие самого организма-продуцента, так и на процессы, происходящие в самой среде, в первую очередь в почве. У сапрофитных грибов среди образуемых ими физиологически активных веществ преобладают токсины-антибиотики, у фитопатогенных грибов преобладают высокоспецифичные фитотоксины. Вещества всех перечисленных выше групп, образуясь в почве и в поступающем органическом материале – опаде, лесной подстилке, соломе, могут придавать ей токсические свойства, влиять на почвенное плодородие и, как следствие, на развитие произрастающих растений. Тем не менее, для почвы основное значение имеют токсины сапротрофных грибов, так как патогены в почве либо погибают, либо находятся в неактивном состоянии в виде покоящихся форм (Мирчинк, Т.Г., 1988).

Из многочисленных показателей биологической активности большое значение имеют почвенные ферменты. Их разнообразие и богатство делает возможным осуществление последовательных биохимических превращений поступающих в почву органических остатков. Активность почвенных ферментов может служить дополнительным диагностическим показателем почвенного плодородия и его изменения в результате антропогенного воздействия (Шушкевич Н.И., 2011).

Корреляционный анализ показал наличие существенной положительной корреляции между величиной урожая и такими свойствами почвы как продуцирование CO_2 , нитрифицирующая и целлюлозоразрушающая способность.

Результаты полевых опытов с применением возрастающих доз минеральных удобрений при разном обеспечении почвы органическим веществом однозначно свидетельствуют о снижении биологической активности почвы при внесении больших количеств NPK. Почвы с повышенным содержанием гумуса, как правило, более устойчивы к отрицательному влиянию на эдафон минеральных удобрений, депрессия биологической активности в них отмечалась при очень высоких дозах туков (Канивец В.И. и др., 1987).

Дополнительное внесение органических удобрений (навоз, солома, торф и др.) оказывали положительное действие на биологическую активность почвы, нейтрализуя отрицательное влияние на микроорганизмы высоких доз NPK. Стабильность биологических процессов, является одним из условий высокой производительности почвы при интенсивном применении минеральных удобрений (Захаренко А.В., 2004).

Все жизненные процессы, происходящие в живом организме или биокосной системе вплоть до биосферы, связаны с движением атомов и молекул, которое невозможно само по себе без использования энергии. Это относится в первую очередь к обмену веществ, функционирующему в циклической, бесконечной во времени форме. Соотношение потока энергии и продуктивности живой материи убедительно характеризует высказывание М.И. Будыко (1984): «Количество

энергии, передаваемой организмами по пищевой цепи, соответствуют их продуктивности, то есть массе создаваемого ими органического вещества».

1.5. Оценка буферной способности агроэкосистем

Агробиоценозы как открытые энергетические системы сохраняются благодаря притоку техногенной энергии, затраченной на обработку почвы, удобрениям, мелиорантам, пестицидам и т.д. Степень и направленность воздействия агроценозов на эдафотоп в целом и свойства почвы определяются биологическими особенностями возделываемых культур и уровнем техногенной нагрузки. Интенсивная механическая обработка почвы оказывает наиболее сильное влияние на состояние агробиоценозов, вызывая распыление структуры, переуплотнение и, связанные с ними, процессы деградации почвы и снижение ее плодородия (Прудникова А.Г., 2007).

Деградация почвы, как основы агроэкосистем обостряет интерес к одной из актуальных проблем современной экологии - изучению, пониманию и оценке устойчивости различных экосистем к природным и антропогенным воздействиям (Звягинцев Д.Г. и др., 1987, 1989; Заварзин Г.А., 1992; 1995; Фокин А.Д., 1994; Chapin et al., 1996; Глазовская М.А., 1997).

Агроэкосистема должна не только давать высокую товарную биологическую продукцию, но в процессе функционирования восстанавливать плодородие почвы, запасать энергию в гумусе, сохраняя и повышая его содержание, как основу почвенного плодородия (Ковда, 1974).

Органическое вещество и ее гумифицированные производные служат основой стабилизации экосистем, устойчивого развития земледелия и расширенного воспроизводства почвенного плодородия.

Вовлечение в активный хозяйственный оборот естественных ценозов приводит к нарушению круговорота веществ, снижению его емкости, скорости и направленности биохимических процессов в системе синтеза и распада органических соединений. Длительное экстенсивное сельскохозяйственное использование земель вызывает деградацию почвенного плодородия с возрастанием ее темпов по мере увеличения объемов применения химико-

техногенных факторов. Характерной особенностью современных агроэкосистем является нарастание дисбаланса между потерями и поступлениями в почву органического вещества (Лопачев Н.А. и др, 1998).

Среди факторов управления экологической устойчивостью и энергопродуктивностью агроэкосистем определяющее значение имеет биологический и, прежде всего, культивируемые растения, через которые прямо и косвенно используются новые количества биотических и абиотических факторов. Растение обуславливает их перевод в биологически и химически связанное состояние, увеличивая запасы энергии и биогенных элементов. Дополнительным резервом повышения энергоемкости агроэкосистем являются разнообразные формы органических удобрений, привлеченные извне. Совместное их использование с минеральными удобрениями и другими средствами химизации обеспечивает необходимый агроэкологический эффект (Чертов О.Г. и др, 1992; Снакин В.В. и др, 1995).

Теоретической основой определения оптимального содержания органического вещества для устойчивого функционирования агроэкосистем является закон возврата. Поступление свежего органического вещества должно компенсировать его потери. Определение всех, или наиболее значимых расходных и приходных статей достигается на основе балансовых количественных исследований в строго контролируемых полевых опытах. Полученные экспериментальные репрезентативные данные могут служить практической основой разработки первоочередных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия.

Анализ данных различных авторов (Новиков М.Н., 1990; Лошаков В.Г. и др., 1997; Середа Н.А., 2002) свидетельствует, что наибольшие потери гумуса и негумифицированного органического вещества наблюдаются в результате их минерализации.

Основным источником поступления свежего органического вещества и накопления гумуса являются сельскохозяйственные растения агроценозов. При этом наиболее важную роль играют многолетние травы.

По мере увеличения в севооборотах доли однолетних и пропашных культур значительно возрастает деградация почвенного плодородия. Снижение интенсивности этого процесса успешно достигается за счет дополнительных посевов в севооборотах пожнивных, поукосных, озимых и подсевных культур, используемых на сидераты.

Агрогенные ресурсы включают все виды нетоварной части растительной продукции, биомассу живых и отмерших организмов, сопутствующих культурным растениям. Они отличаются от других ресурсов неисчерпаемостью и высокой скоростью воспроизводства. Сидеральные культуры связывают подвижные элементы питания, предохраняя их от вымывания, физико-химического закрепления и других потерь. В биомассе сидеральных бобовых культур, таких как люпин и донник, может накапливаться до 500 кг/га NPK, в том числе 150-200 кг/га симбиотического азота.

Многие авторы (Прокошев В.Н., 1952; Авдонин Н.С., 1969; Панников В.Д., 1977; Минеев В.Г., Бабарина Э.А., Жукова Л.М., Шевцова Л.К., 1977; Сербентавичюс А.И., 1987; Цыганова Н.А., 2007) отмечают положительное влияние различных органических удобрений на кислотно-основные свойства и буферную способность дерново-подзолистых почв.

Автотрофные организмы (преимущественно растения – продуценты) преобразуют солнечную энергию в энергию химических связей органического вещества, которая последовательно с пищей переходит от продуцентов к консументам разных уровней, а при отмирании – к редуцентам. Переход энергии с одного уровня на другой понижает ее количество в десятки раз. Длина трофических цепей, одновременно являющихся цепью передачи энергии, как правило, не превышает 5-6 уровней, поскольку согласно второму закону термодинамики возрастает энтропия, свободное рассеяние энергии в виде тепла. Система теряет энергию и перестает функционировать. Противостояние энтропии возможно только при постоянном и достаточном притоке энергии в экосистему. Нарушение регуляторных способностей экосистемы за счет частых внешних

воздействий приводит во всех случаях к усилению энтропии вплоть до деградации экосистем (Дедов А.В., 2011).

Особая уязвимость экосистем характерна для агроценозов, регуляторные функции которых в интенсивном земледелии человек берет на себя. Это обстоятельство, наряду с большими материальными затратами, требует глубоких знаний экосистемного (агроценозного) метаболизма, что в большинстве случаев недостижимо по причине его чрезвычайной сложности.

При всех различиях понятие «экосистема» и «биогеоценоз» остаются все же весьма близкими, в ряде случаев синонимами. Это важно в том отношении, что первое понятие широко распространено в зарубежной науке и специальной литературе, использование которого необходимо при исследовании проблематики систем земледелия в нашей стране .

Общая первичная продукция агробиоценозов количественно не различается принципиально с продукцией естественных биогеоценозов в примерно равных ландшафтных условиях. Совершенно иначе складываются условия ее использования консументами разных уровней. В естественных биогеоценозах существует выработанная длительной эволюцией полная гармония и сбалансированность функционирования экосистемы, находящейся в состоянии высокоустойчивого оптимального гомеостаза (Ковда В.А., 1974; Савич В.И. и др., 2005).

Агроценозы в отличие от естественных биогеоценозов крайне разбалансированы и неустойчивы. Происходит это, прежде всего, вследствие совершенно разных целей естественной природы и человеческого общества. Общество изымает из агроценоза значительную, в ряде случаев подавляющую, часть синтезированного органического вещества, руководствуясь при этом чисто экономическими, потребительскими интересами. Справедливости ради следует сказать, что некоторая часть изымаемого из агроценоза вещества и энергии, может возвратиться в экосистему, но абсолютно ясно, что в меньшем количестве и в совершенно другую экосистему (Володин В.М., 1995).

Другое принципиальное следствие функционирования агроценозов (помимо резкого обеднения веществом и энергией) – кардинальное нарушение его структуры (надземной и подземной) вследствие механической обработки почвы и применения других приемов агрокультуры. Это обстоятельство, плюс отмеченное выше изымание значительного количества деятельного вещества и энергии приводит к резкому изменению стабильности экосистемы и снижению ее гомеостаза. Вследствие столь резкой антропогенной синустии происходят существенные изменения агроценоза и переход его, если не принять соответствующих компенсационных мер, в качественно иную, менее производительную экосистему (Лобков В.Т., 1999).

Экологизация систем земледелия – это, прежде всего, интенсивное применение органических удобрений всех типов. Органические удобрения содержат не только все питательные элементы в усвояемой форме для почвенной биоты и возделываемых растений, но и обеспечивают многочисленные жизненные явления необходимой энергией. В этом принципиальное различие органических удобрений от минеральных. Органическое вещество почвы и удобрений бесценно и неразрывно с экосистемой (агроценозом), поскольку оно его продукт и условие новых биологических циклов. Всякая интенсификация продуктивности экосистем, увеличение их объема и качественного совершенствования, как справедливо подчеркивает Р. Тейт (1991), есть лучшее обеспечение экосистемы органическим веществом. Многочисленные экспериментальные данные неопровержимо подтверждают этот вывод. Иной возможности, чем использование жизненных процессов, а также абиотической материи теоретически для экологизации любого явления или их совокупности не существует. Поэтому агроценозы, прежде всего, должны быть обеспечены органическим веществом во всех его формах. На этой основе с помощью высокоэффективной почвенной биоты в почвообразование вовлекаются минеральные элементы верхних слоев литосферы и азот атмосферы. Продуценты агроценозов (культурные растения) с помощью солнечной энергии, фигурально говоря, запускают «вечный двигатель» жизни, увеличивают во времени саму

биологическую жизнь, сохраняют и продолжают ее во всех нишах земной оболочки и, в частности, на пашне (Лыков А.М., 2004).

Экологическая устойчивость агроландшафтов обусловлена их экологической емкостью (Агроэкологическая оценка земель...2005).

1.6. Энергоемкость агроэкосистем

Характеристика и направленность потоков вещества и энергии в экосистеме, формирующих плодородие почвы, устойчивость и уровень ее производительности определяется качественным и количественным составом органического вещества. Энергетическая функция почвы связана с энергетикой их органической и минеральной части. В гумусе удерживается и свободная форма энергии, которая может совершать работу, не снижая энтропии почв (Володин В.М. и др., 2000).

В современных условиях одним из основных критериев оценки энергетического потенциала агроландшафта должен быть анализ процесса связывания энергии агроэкосистемами, так как агроценозы, наряду с использованием солнечной энергии, для поддержания своих функций и снижения ограничивающего воздействия неблагоприятных экологических факторов потребляют большое количество дополнительной антропогенной энергии в виде минеральных удобрений, химических средств защиты, орошения, топлива, электроэнергии и других энергоносителей на всех этапах производства продукции (Ахметова Ш.И., Смолин Н.И., 1997). Путь к управлению этими процессами лежит через анализ и оценку эффективности функционирования агроэкосистем на биоэнергетической основе (Володин В.М. и др., 1999, 2000).

Потоки различных видов энергии в земледелии сливаются в системе «почва-растение-атмосфера», где происходит преобразование кинетической энергии солнца в потенциальную энергию органического вещества растений и где формируется круговорот биологических веществ в экосистеме. поскольку в системах земледелия почва выступает как биокосное тело, следует учитывать и закономерности почвообразующих процессов, хотя уже и трансформированных человеком (Белолипский В.А., Форощук Л.Д., 1995).

Большой вклад в развитие идеи биоэнергетической оценки агроценозов внес В.В. Коринец (1988, 1991). Им предложена методика оценки энергетической эффективности севооборотов и определены показатели, на основании которых необходимо производить эту оценку. В.В. Коринец (1991) показал, что для правильного размещения сельскохозяйственных культур в севообороте необходимо более полно оценивать каждую культуру в качестве предшественника в зависимости от энергетического источника – солнечной радиации и времени воздействия ее на почву. Почва является составной частью агроэкосистемы и основным источником энергии. Поэтому анализ почвенных и антропогенных затрат и форм их взаимодействия позволит разработать эффективные приемы регулирования режимов функционирования агроэкосистем.

В настоящее время ряд учёных предлагают проводить энергетическую оценку не только технологических систем возделывания культур или отдельные агроприемы, но и функционирование агроэкосистемы в целом (Булаткин Г.А., 1986; Володин В.М., 1988; Косицына Е.В., 1992; Коринец В.В., 1988, 1991; Щербаков А.П., Володин В.М., 1989; Щербаков А.П. и др., 1996, Храмцов Л.И., 1996), в том числе и энергетические функции органического вещества почвы (Масютенко Н.П., Панкова Т.И., 2004).

В благоприятных экологических условиях растения усваивают до 4% ФАР, однако из-за несоответствия условий произрастания с внутренними потребностями растения усваивают только 1% солнечной энергии (Ничипорович А.А., 1985, 1988; Жученко А.А., 1982, 1990).

Создание благоприятных условий для функционирования агрофитоценозов сопряжено с затратами определенного количества антропогенной энергии. Так, во Франции и Венгрии на производство продовольствия затрачивается 20 и 25% национальных ресурсов соответственно (Blaizot F., 1980; Ramakumar R., Hughes W.L., 1981).

Энергопотенциал органического вещества почвы определяет ее плодородие, экологическую устойчивость. Для оценки потенциала почвенных ресурсов, для изучения экологической емкости и биоэнергетического потенциала территории

необходимо определение энергопотенциала органического вещества и биофильных элементов почвы. Представляет научный и практический интерес оценка энергопотенциала гумуса и органических веществ почвы в несбалансированных по органическому веществу агроэкосистемах с интенсивным применением минеральных удобрений.

Энергопотенциал органических веществ почвы представлен энергопотенциалом гумуса, который характеризуется параметрами энергопотенциала инертного и лабильного гумуса, запасов энергии негумифицированных органических веществ и дополнительным запасом в виде микробных тел и энергии почвенных реакций (Муртазина С.Г., 2005).

Глава II. Объекты и методы проведения исследований

Исследования проводили в длительном полевом опыте РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, заложенном профессором Дояренко А.Г. в 1912 году.

Ценность результатов научного исследования пропорциональна длительности стационарного опыта. Она возрастает по мере приближения опытного участка к устойчивому экофитоценоотическому равновесию. В длительном полевом опыте компенсируется часть отклонений в действии и взаимодействии изучаемых и не изучаемых, но контролируемых факторов. Этот процесс уравнивает базисный фон для вариантов опыта. В условиях стационара аккумулируется во времени действие, взаимодействие и последствие антропогенных факторов и катаклизмов в окружающей среде. Это позволяет решить проблемы экологии, специфические для конкретной почвенно-климатической зоны. Подобные стационары обеспечивают мониторинг гумуса, содержание и круговорот питательных веществ, динамику загрязненности почвы тяжелыми металлами, другими токсигенами и вредными для биосферы и человечества веществами. На их педо- и агрофоне можно оценить эффективность факторов в интенсификации возможных негативных последствий их применения. Действие многих факторов биотопа, приемов агротехники на плодородие почвы и продуктивность агробиоценозов становится очевидным лишь по истечении десятков лет. Поэтому длительный многофакторный опыт незаменим для изучения динамики изменения экологических функций различных типов почв.

Длительный опыт является наиболее репрезентативным методом тестирования различных идей и концепций на пути их внедрения в производство.

2.1. Природно-климатические и почвенные условия

Земельный участок длительного опыта МСХА площадью 1,5 га с уклоном на северо-запад в 1⁰ расположен на южной окраине Клинско-Дмитровской возвышенности, представленной моренной равниной. Превышение над водным зеркалом реки Москвы составляет 60 м, а уровнем моря (Балтийского) – 162 м.

Среднемноголетнее количество осадков составляет около 600 мм/год. Из них около 300 мм за май – август, а среднегодовая температура – 4,1⁰С выше нуля. Грунтовые воды (верховодка) поднимаются до 2,0-2,5 м от поверхности почвы.

Территория опыта сложена четвертичными отложениями супесчаной и суглинистой бурой морены с прослойками (10–22 см) юрских глин. Международное название почвообразующей породы или субстрата – суглинистая красно-бурая плейстоценовая морена. О наличии, хотя и редком, карбонатов свидетельствует вскипание от HCl на 3-ем метре. По всему профилю встречаются валунчики. Строение профиля, на основе представленных механических частиц – двухчленное: верхний слой (40-50 см) – песчаный крупно-пылеватый суглинок, а нижний – до глубины 3 м – легкий и реже средний суглинок с прослойками и линзочками (5-20 см) песка. Почва – дерново – средне- и слабоподзолистая, старопахотная (более 200 лет под пашней), от природы кислая и заплывающая (по классификации ФАО – Podsoluvisol). Приведем несколько адаптированное описание разреза, сделанное И.П. Гречиным в 1953 году на сопредельной с опытом территории:

A₁, 0-21 см. Гумусово-аккумулятивный (дерновый) горизонт серого цвета, рыхлого сложения, комковато-зернистой структуры. Очень сильно пронизан корнями злаков и равномерно прокрашен перегнойными веществами. По гранулометрическому составу легкий песчанисто крупно-пылеватый суглинок. Переход к горизонту A₂ потеками, но ясный.

A₂, 21-33 см. Оподзоленный горизонт песчано-легкосуглинистого гранулометрического состава, плитчатой структуры. От светло-серого до белесовато-буроватого цвета с четкой нижней границей.

A₂/B, 34-58 см. Переходный горизонт буровато-красноватого цвета с белесыми пятнами. По гранулометрическому составу – легкий суглинок с редкими валунчиками и микролинзочками песка. Структура плитчатая, среднерыхлого сложения. Переход в иллювиальный горизонт размытый.

B, 62-91 см. Иллювиальный горизонт буровато-красноватого цвета легкосуглинистый, плотного сложения. Структурные отдельности не выражены.

ВС, 92-200 см. Иллювиальный горизонт красно-бурого цвета с сизоватыми затеками и прожилками. По гранулометрическому составу – супесь с редкими железо-марганцовыми конкрециями. На глубине 172 см начинается песчано-галечная прослойка.

С, 200-220 см. Красно-бурый моренный суглинок.

2.2. Схема опыта

Земельный участок до закладки опыта входил в кормовой (прифермерский) севооборот, где за 10 предшествующих лет лишь в 1909 году внесли 35 т/га навоза. С 1906 по 1911 годы возделывали следующие культуры: клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – овес – пар черный – озимая рожь с подсевом клевера – клевер 1 г.п. В 1912 году перед посевом яровых культур участок разделили на 2 части. На первой нарезали 6 вытянутых полей: 121, 122, 123, 124, 125 и 126 площадью по 1400 м². 121 поле оставили под черным паром, а на остальных 5 полях стали высевать бессменно, соответственно озимую рожь, картофель, овес, клевер и лён. На другой части развернули 6-ти польный севооборот со следующей схемой чередования: пар черный – озимая рожь – картофель – овес с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – лён (рис. 1).

БЕССМЕННО						
	121	122	123	124	125	127
О ₁₁						
навоз			к			
НРК		о	а	я	к	
НРК + навоз		з	р	ч	л	
РК	п		т	м	е	л
НК	а	р	о	е	в	ё
НР	р	о	ф	н	е	н
О ₄		ж	е	ь	р	
К		ь	л			
Р			ь			
Н						
по извести						
СЕВОБОРОТ						
	131	132	133	134	135	136
НРК			к			
НРК + навоз		о	а	я	к	
РК	п	з	р	ч	л	л
НК	а		т	м	е	ё
НР	р	р	о	е	в	н
О ₄		о	ф	н	е	
К		ж	е	ь	р	
Р		ь	л			
Н			ь			
без извести						

Рисунок 1. Схема размещения культур в длительном опыте МСХА в 2015 году

Поля севооборота: 131, 132, 133, 134, 135 и 136, площадью 1200 м², явились естественным продолжением соответствующих полей монокультур. Их разделила лишь дорога шириной 4 м. В 1-ый год каждой ротации (раз 6 лет) на симметричных полях высевают одинаковые культуры.

Поперек 6-ти полей бессменных культур наложили 11 вариантов удобрений: 1 – N; 2 – P; 3 – K; 4 – O (без удобрений); 5 – NP; 6 – NK; 7 – PK; 8 – NPK (N-NO₃, в 1938 ... 1948 - навоз, а с 1949 – NPK + навоз); 9 – NPK 9N-NH₄, с 1939 – NPK); 10 – навоз и 11 – O (без удобрений). Аналогичные варианты, за исключением 10-ого и 11-ого, наложили поперек полей севооборота, который явился «зеркальным» отражением первых девяти вариантов монокультур. Учетная площадь делянок составила 100 м².

Первым исходно изучаемым фактором в опыте была монокультура черного пара и 5 бессменных культур, при этом контролем служил шестипольный севооборот.

В опыте менялись виды и дозы удобрений, а также соотношения питательных веществ, что систематизировано по 4 периодам (табл.1).

Таблица 1.

Периодические нормы и общее количество, внесенных минеральных элементов питания и навоза по периодам длительного опыта МСХА.

Варианты опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Навоз, т/га	Общее количество			
	кг/га				кг/га			т/га
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	навоз
1 период 1912-1938	7,5	15	22,5	18	195	390	586	468
2 период 1939-1954	75	60	90	20	1125	900	1350	300
3 период 1955-1972	50	75	60	10	900	1350	1080	180
4 период 1973-2012	100	150	120	20	3900	5800	4060	780
Всего за 1912-2012	-	-	-	-	6120	8440	7076	1726
В среднем за один год	-	-	-	-	61,2	84,4	70,8	17,3

С осени 1949 года регулярно, один раз в ротацию (6 лет) на продольной половине каждого поля проводится известкование почвы. Этот агроприем стал третьим после монокультуры и удобрений изучаемым фактором.

Площадь учетной делянки сократилась до 50 м². Первая доза извести составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Ca, MgCO₃). Последующие дозы рассчитывались на основе гидролитической кислотности почвы и составили (год-доза): 1954 – 4,5; 1960 – 1; 1966 – 2; 1973 – 3; 1978 – 2; 1984 – 3; 1990 – 2; 1996 – 3; 2002 – 2; 2008 – 1,5 и в 2012 – 2 т/га.

В 1949 году было введено чередование культур во времени на известкованной половине бессменного пара (севооборот во времени) с целью изучения скорости восстановления деградированного почвенного покрова при разной степени воздействия антропогенных факторов.

Таким образом, с 1949 года опыт стал включать 3 территориально разновеликие единицы: шестипольный севооборот, поля монокультур и севооборот во времени.

2.3. Объекты исследований

Объектами наших исследований являлись агроэкосистемы, различающиеся по величине вложенной и отчужденной антропогенной энергии, а именно:



- деградированные – поле чистого пара с содержанием органического углерода на уровне квазиравновесного состояния, обеспеченного гранулометрическим составом (0,5 – 0,6 % C_{орг});



- компромиссные – монокультуры озимой ржи и клевера на фоне применения высоких доз минеральных и органических удобрений ($N_{100}P_{150}K_{120}+20$ т/га навоза), а также многолетняя травянистая залежь с содержанием $C_{орг}$ 1,4-1,5 %;



- экстенсивные – монокультуры яровых зерновых, технических (лен) и пропашных культур (картофель) при естественном фоне питания с содержанием $C_{орг}$ 0,8-0,9 %;



- интенсивные – севооборотные участки с биоразнообразием сельскохозяйственных растений на идентичном фоне питания с 1950 г. при содержании $C_{орг}$ 1,2-1,3 %;



- сверхинтенсивные – то же сочетание с 1912 г. ($C_{орг}$ 1,1-1,2 %).

2.4. Методика проведения наблюдений, анализов и учетов

1. Определение содержания подвижных форм фосфора проводили по Кирсанову (ОСТ 46-40—76) и обменного калия по Масловой (ГОСТ 26210-91). Для определения используют навеску почвы 10г, взвешивают на технических весах и пересыпают в колбу на 100 мл. Туда же приливают 50мл 0,2 н HCl. Взбалтывают 1 мин. Дают отстояться 15 мин и фильтруют через складчатый фильтр «синяя лента». Берут пипеткой 5 мл фильтрата в мерную колбу на 100 мл, доливают до половины водой, затем добавляют 4 мл сульфат-молибденовой жидкости, 6 капель раствора двухлористого олова и доводят до метки водой. Перемешивают, оставляют стоять 5 мин и колориметрируют на фотоэлектроколориметре через красный световой фильтр (605 нм). В оставшемся фильтрате определяют K_2O на пламенном фотометре, используя светофильтр с максимумом пропускания в области 766 - 770 нм.

2. Реакцию почвенной среды (pH_{KCl}) определяли потенциометрическим методом (ГОСТ 26483). Для определения используют навеску воздушно-сухой почвы 20 г. Навеску помещают в химический стакан на 100...150 мл и приливают 50 мл дистиллированной воды. Затем содержимое перемешивают стеклянной палочкой 1...2 мин и оставляют стоять 5 мин. Перед определением суспензию еще раз перемешивают и опускают в нее электроды измерения и сравнения так, чтобы они были полностью погружены в жидкость. Через 0,5...1 мин на дисплее прибора установится показатель значения pH данной почвенной суспензии. При определении pH солевой суспензии (обменной кислотности) к навеске почвы 20 г приливают 50 мл 1н. KCl. Дальнейший ход анализа тот же, что и при определении pH водной вытяжки.

3. Определение содержания гумуса проводили по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213). Метод основан на окислении органического вещества раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующем определении трехвалентного хрома, эквивалентного содержанию органического вещества, на фотоэлектроколориметре. Пробы почвы взвешивают

с погрешностью не более 1 мг и помещают в пробирки, установленные в штативы. К пробам приливают по 10 см³ хромовой смеси. В каждую пробирку помещают стеклянную палочку и тщательно перемешивают пробу с хромовой смесью. Затем штативы с пробирками опускают в кипящую водяную баню. Уровень воды в бане должен быть на 2-3 см выше уровня хромовой смеси в пробирках. Продолжительность нагревания суспензий - 1 ч с момента закипания воды в бане после погружения в нее пробирок. Содержимое пробирок перемешивают стеклянными палочками через каждые 20 мин. По истечении 1 ч штативы с пробирками помещают в водяную баню с холодной водой. После охлаждения в пробирки приливают по 40 см³ воды. Затем из пробирок вынимают палочки, тщательно перемешивают суспензии барботацией воздуха и оставляют для оседания твердых частиц и полного осветления надосадочной части раствора. Вместо отстаивания допускается проводить фильтрование суспензий через беззольные фильтры (синяя лента).

Для приготовления растворов сравнения в девять пробирок наливают по 10 см³ хромовой смеси и нагревают их в течение 1 ч в кипящей водяной бане вместе с анализируемыми пробами. После охлаждения в пробирки приливают указанные в таблице объемы дистиллированной воды и раствора восстановителя. Растворы тщательно перемешивают барботацией воздуха.

Фотометрирование растворов проводят в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 1-2 см относительно раствора сравнения N 1 при длине волны 590 нм или используя оранжево-красный светофильтр с максимумом пропускания в области 560-600 нм. Растворы в кювету фотоэлектроколориметра переносят осторожно, не взмучивая осадка.

Массу органического вещества в анализируемой пробе определяют по градуировочному графику.

4. Определение фракционного состава гумуса проводили методом М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой. Навеску почвы 10 г помещают в колбу емкостью 250–300 мл и заливают 200 мл свежеприготовленного 0,1 М раствора пирофосфата натрия. Колбу закрывают и оставляют на 16–18 ч. Затем в нее

добавляют $\frac{1}{4}$ объема жидкости насыщенного раствора Na_2SO_4 (точно 50 мл) для коагуляции илистых частиц и ускорения фильтрации, затем определяют общее содержание органического углерода. Для определения содержания углерода гуминовых кислот в определенный объем пирофосфатной вытяжки добавляют 1,0 N H_2SO_4 , доводя pH до 1,3–1,5. Содержимое колб нагревают до 70–80 °C и хлопьевидный осадок гуминовых кислот отфильтровывают через небольшой фильтр (белая лента), затем его растворяют горячим раствором 0,1 N NaOH.

5. Определение суммы обменных оснований проводили методом Каппена-Гильковица. Метод основан на вытеснении поглощённых оснований (Ca_2+ , Mg_2+ , $\text{K}+$, $\text{Na}+$, NH_4+) ионом водорода при взаимодействии почвы с 0,1 N раствором соляной кислоты. Количество перешедших в раствор обменных оснований определяют по разности между количеством кислоты, взятой для приготовления вытяжки, и кислоты, оставшейся после взаимодействия с почвой.

Взвешивают на технических весах 20 г воздушно-сухой почвы. Почву высыпают в колбу на 250-500 мл. Приливают 100 мл 0,1 N раствора HCl и взбалтывают 1 час на ротаторе. После взбалтывания колбу оставляют на сутки. Фильтруют через сухой беззольный фильтр. Если первые порции фильтрата окажутся мутными, то их снова выливают на тот же фильтр. Пипеткой отбирают 50 мл прозрачного фильтрата в коническую колбу на 150-200 мл. Приливают 2-3 капли фенолфталеина и кипятят 1-2 мин, чтобы удалить CO_2 . Горячий фильтрат оттитровывают 0,1 N раствором NaOH до слабо-розовой окраски. Сумму обменных (поглощенных оснований) вычисляют по формуле:

$$S = (a \cdot \text{KHC1} - v \cdot \text{KNaOH}) \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot m^{-1},$$

где S - сумма обменных оснований, мг-экв/100 г; a - количество фильтрата, взятого для титрования, мл; KHC1 - поправка к титру; v - количество 0,1 N NaOH, пошедшей на титрование, мл; KNaOH - поправка к титру NaOH; 100 - коэффициент пересчета на 100 г почвы; m - навеска почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата; 0,1 - коэффициент перевода в миллиэквиваленты.

6. Определение численности и состава сапротрофных микроорганизмов в пахотном слое почвы проводили в трехкратной повторности, выращивая их на питательных средах и подсчитывая количество. Целлюлозоразлагающие микроорганизмы определяли на среде Гетчинсона. Определение численности почвенных микроорганизмов проводится на твердых питательных средах методом разведений (Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева, 1979; Д.Г. Звягинцев, 1989). Бактерии, использующие органический азот почвы, учитываются на мясо-пептонном агаре (МПА); минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Относительный показатель минерализации органических веществ определяли по соотношению КАА/МПА (Мишустин Е.Н., 1988)

7. Биологическую активность почвы определяли по интенсивности дыхания микроорганизмов методом газовой хроматографии в двухкратной повторности. Почву для прединкубации просеивали и увлажняли до 55-65% ПВ. После проводили инкубацию в термостате при $t\ 22^{\circ}\text{C}$, добавляя в навеску почвы 0,1 мл раствора глюкозы для субстрат индуцированного и 0,1 мл воду для базального дыхания. После инкубации отбирали из флакона газовую пробу и определяли на газовом хроматографе Кристалл 5000 концентрацию CO_2 (Ананьева Н.Д., 2003).

Углерод микробной биомассы и показатель устойчивости микробного сообщества почвы (микробный метаболический коэффициент) определяли расчетным путем по формулам:

$$C_{\text{мик}} = \text{СИД} * 40,04 + 0,37.$$

$$QR = \text{БД/СИД} \text{ (Ананьева Н.Д., 2003).}$$

Содержание углерода в почве проводилось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (Кидин В.В. и др, 2008).

8. Для определения минералогического состава исследуемых почв использовался метод дифференциально-термического анализа (ДТА), который основан на учете тепловых изменений вещества при нагревании или охлаждении, обусловленных химической структурой и составом данного вещества. Если в результате термического воздействия в исследуемом образце произойдет фазовое

превращение или химическое изменение, сопровождающееся поглощением или выделением энергии, то возникает разность температур между образцом и эталоном, пропорциональная количеству поглощенной или выделенной энергии. Эта разность температур регистрируется на кривой ДТА в виде отклонения выше или ниже базисной линии и называется термическим эффектом. Термические эффекты, соответствующие процессам, связанным с поглощением энергии, и изображаемые на кривой ДТА в виде отклонения ниже базисной линии, называются эндотермическим, а связанные с выделением энергии и регистрирующиеся отклонением кривой ДТА вверх - экзотермическими.

У большинства веществ происходит несколько превращений экзо - и эндотермической природы при строго определенной температуре, что фиксируется на кривых ДТА. Таким образом, для каждого образца существует своя индивидуальная термическая характеристика, указывающая на определенные свойства структур, механизма и кинетики превращений данного вещества. Индивидуальный ход кривых ДТА, величина площади и высота пика могут служить в качестве характеристики исследуемого образца (Берг Л.Д., 1988; Пилоян Г.О., 1964; Иванов В.П. и др., 1973).

Термовесовой метод используется в сочетании с дифференциально-термогравиметрическим методом (ДТГ). Кривая ДТГ регистрирует скорость изменения массы вещества (т.е. скорость протекания реакции), как функцию от времени или температуры внешней среды.

Наши исследования проводились на дериватографе Д-102 системы Ф. Паулик, Е. Паулик, Л. Эрдей, что позволяло автоматически регистрировать четыре кривые из одной навески исследуемого образца: температурную кривую (Т), дифференциальную (ДТА), весовую (ТГ) и дифференциально-термогравиметрическую (ДТГ).

Для изучения качественного и количественного состава почв использовали модернизированный термоаналитический комплекс на базе Дериватографа Q-1500, позволяющий рассчитать процентное содержание адсорбционной и

конституционной воды, органического вещества, первичных и вторичных минералов.

Эндотермические эффекты при температуре 100-200°C связаны с выделением адсорбционной воды. Эндотермические эффекты в области 500-800°C обусловлены разрушением кристаллической решетки и выделением воды за счет -ОН-групп октаэдрических и тетраэдрических слоев глинистых минералов. При этих температурах выделяется конституционная вода почти из всех групп глинистых минералов, как двухслойных, так и трехслойных. Органическое вещество окисляется при достаточно высоких температурах от 320 до 600°C, данные реакции сопровождаются выделением большого количества энергии.

Обычно термовесовой метод используется в сочетании с дифференциально-термическим анализом и дифференциально-термогравиметрическим анализ (кривая ДТГ). Одновременная сопряженная по температуре автоматическая регистрация ТГ, ДТА и ДТГ обеспечивает в одном эксперименте идентичность условий опыта. Кривая ДТГ регистрирует скорость изменения массы вещества как функцию от времени и температуры. Кривая ДТГ является производной от обычной интегральной кривой потери массы вещества и дает возможность получить правильные данные даже в тех случаях, когда две реакции, связанные с потерей массы вещества, следуют близко одна за другой или частично перекрывают одна другую. Такие процессы на кривой ТГ накладываются друг на друга, на дифференциально-термогравиметрической кривой (ДТГ) резко разделяются.

Образцы почв для определения различных компонентов брали послойно через 0-20 см от 0 до 100 см. Подготовка образца включала растирание до пыли в агатовой ступке, помещение в эксикатор над солью нитрата кальция для установления оптимальной влажности. Для исследования минеральной части почвы и компонентов органического вещества брали навеску от 500 до 700 мг. Скорость нагрева – 5 градусов в мин.

9. Расчет баланса энергетических потоков проводился по методике РАСХН, 1993 г.

10. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программы Statistika (Доспехов Б.А., 2011; Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., 2009; Дмитриев Е.А., 1995).

Глава III. Изменение количественных и качественных характеристик состояния органического вещества

Под действием природных и антропогенных факторов почва, как сложная биохимическая система, изменяет все топоморфологические признаки, присущие данному типу почвообразования, стремясь к равновесному агроэкологическому состоянию с климатической нормой и биоценозом, развитым на ней. Показателем высокой экологической устойчивости почвенного покрова является замкнутость биологического круговорота веществ в биоценозе и низкая степень абиотичности почвы, определяющих его реакцию на изменение условий воздействия внешних факторов.

Агроэкологические функции почв выражаются определенными количественными и качественными параметрическими характеристиками, отражающими изменения гумусового состояния почвенного покрова, направленность биохимических процессов превращения и аккумуляции органического вещества и элементов питания, экологической устойчивости и энергетической емкости в различных агроэкосистемах.

Из-за нарушения сбалансированности биологического круговорота веществ за счет отчуждения макро- и микроэлементов с урожаем падает производительная способность почв в агроценозах, а следовательно, и их энергетическая емкость. Из разнообразия агроэкологических функций почв можно выделить ограниченное число важных прямых и обратных связей между почвой и внешней средой, а также между отдельными компонентами внутри почвы, важнейшим из которых является содержание и запасы гумуса. Гумусовые вещества являются энергетическими агентами, обеспечивающими растения питательными веществами, поэтому потери гумуса могут служить интегральным показателем деградации почвенного покрова и изменения энергоемкости агробиоценозов.

Наши исследования в агроэкосистемах Длительного опыта МСХА показали, что длительное (более 100 лет) воздействие природных и

антропогенных факторов приводило к изменению направленности биохимических процессов превращения органического вещества в сторону его минерализации, что обусловило снижение содержания органического углерода в зависимости от способа использования пашни на 0,49 % в деградированных, 0,21 % в экстенсивных и 0,12 % в интенсивных агроэкосистемах. Наибольшие потери углерода (0,23 %) отмечали в деградированных агроэкосистемах в первые два десятилетия после закладки опыта (рис.2). В дальнейшем минерализация гумуса замедлялась при ежегодных потерях 0,05-0,06 % Сорг, стремясь к C_{min} (0,70 % Сорг), обеспеченного легкосуглинистым гранулометрическим составом.

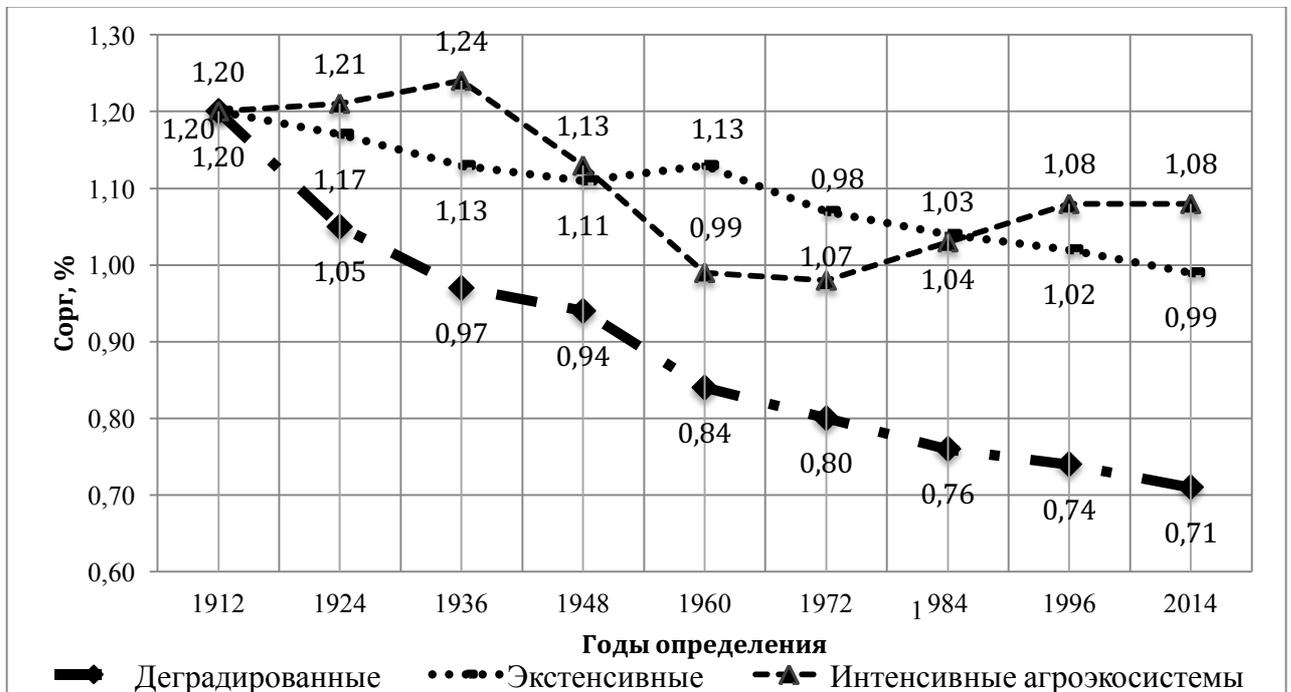


Рисунок 2. Изменение направленности биохимических процессов превращения углерода в агроэкосистемах разной интенсивности ($C_{орг}$, %).

В экстенсивных агроэкосистемах минерализация органического вещества замедлялась, особенно в первые 50 лет их функционирования и потери составляли 0,17 % Сорг. В дальнейшем изменение его содержания носило плавный убывающий характер.

Негативное влияние длительного воздействия на агроландшафт агрохимикатов в виде однокомпонентных (N, P, K), двухкомпонентных (NP, NK, PK), а также полного минерального удобрения (NPK) проявилось в

снижении содержания гумуса в почве во всех изучаемых агроценозах, особенно сильно в деградированных агроэкосистемах (0,92-1,53 %) и сверхинтенсивных при значительном отчуждении биофильных элементов из почвы (0,52-0,60 %) (рис.3).

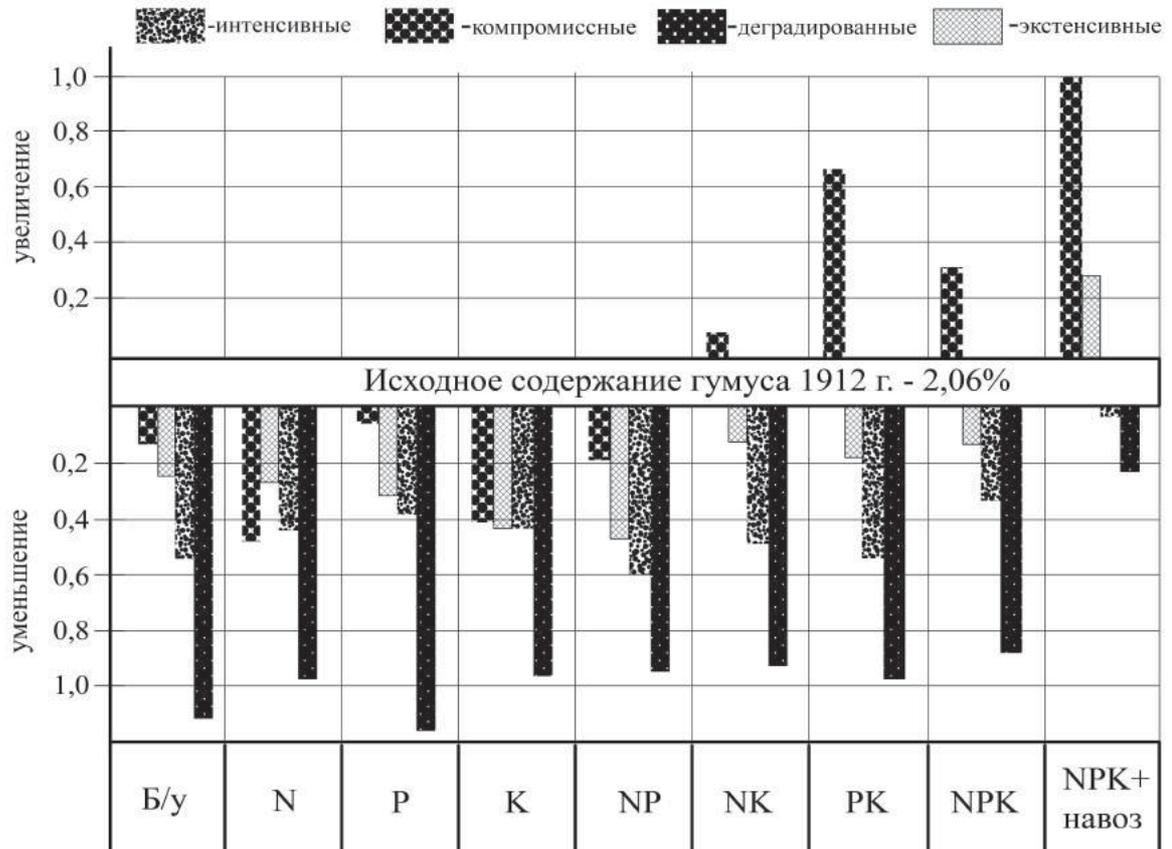


Рисунок 3. Влияние длительного (102 года) воздействия удобрений на изменение содержания гумуса (%) в различных агроэкосистемах.

В деградированных, экстенсивных и интенсивных агроэкосистемах независимо от уровня обеспечения элементами питания за более, чем 100-летний период, отмечается снижение содержания гумуса, особенно заметно на фоне внесения однокомпонентных (N, P, K) удобрений, где оно составило 0,91-1,18 % в деградированных, 0,28-0,42 % в экстенсивных и 0,41-0,61 % в интенсивных агробиоценозах. Применение парного сочетания элементов питания (NP, NK и PK) несколько замедляло потери гумуса, а внесение полного минерального удобрения ($N_{100}P_{150}K_{120}$) стабилизировало потери на уровне 0,25-0,45 %.

Другие закономерности отмечены нами в компромиссных агроэкосистемах, где агробиоценоз представлен культурами с длительным вегетационным периодом (озимая рожь) и многолетними бобовыми травами (клевер), а процесс отчуждения азотосодержащих соединений сбалансирован с их поступлением с пожнивно-корневыми остатками. В данных агроэкосистемах незначительное снижение содержания гумуса 0,18-0,38 % отмечали лишь при раздельном внесении азота, фосфора и калия, а также совместном – азота и фосфора. Другие фоны питания обеспечивали повышение содержания гумуса: на 0,08 % на фоне НК, 0,63 – на фоне РК, что связано с низким уровнем продуктивности, и на 0,99 % при совместном внесении NPK и навоза.

Интенсивность воздействия на почвенный покров дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разнообразными технологическими приемами проявлялась и в изменении запасов гумуса (рис. 4).

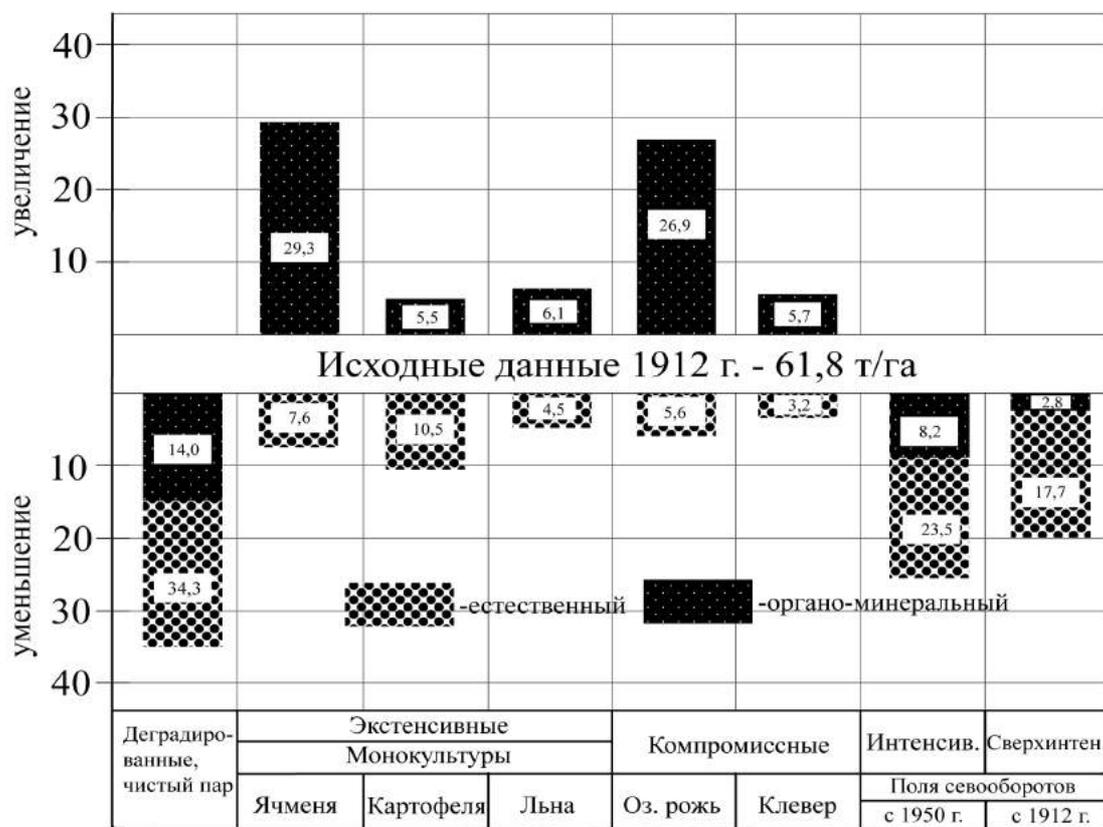


Рисунок 4. Роль интенсивности использования пашни в изменении запасов гумуса (т/га) за 102-летний период

При отсутствии источников поступления биофильных элементов в агроэкосистемы все культивируемые агрофитоценозы обуславливали убыль запасов гумуса, числовые значения которых коррелировали с интенсивностью воздействия на них антропогенных факторов. Наибольшие потери (34,3 т/га) отмечали в деградированных агроэкосистемах, а наименьшие (2,8 т/га) в сверхинтенсивных с ежегодным поступлением около 20 т/га органики в виде навоза и пожнивно-корневых остатков.

Динамика изменения содержания органического вещества в агроэкосистемах разной интенсивности имеет не только длительный временной характер, но и имеет сезонную цикличность, обусловленную разными этапами функционирования агробиоценозов в течении вегетационного периода (рис. 5).

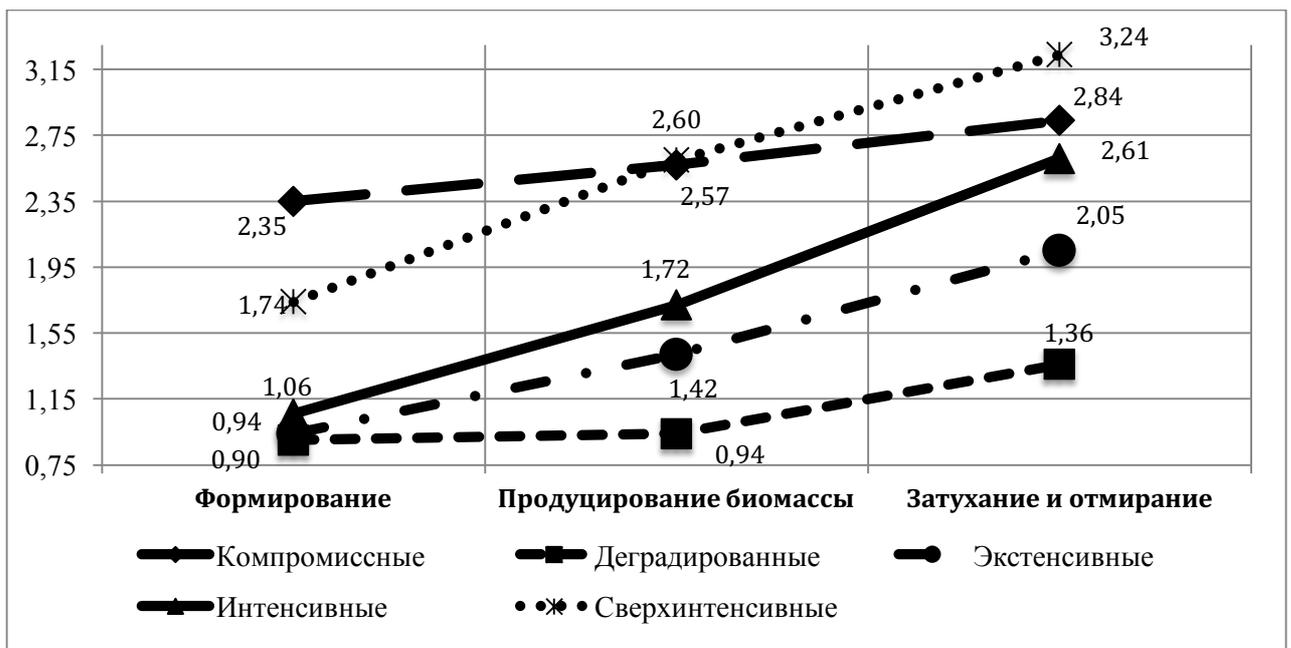


Рисунок 5. Сезонная динамика органического вещества (%) в агроэкосистемах разной интенсивности

В начале формирования агробиоценозов содержание гумуса находится на минимальном уровне, накопленном в предшествующие годы под влиянием природных и антропогенных факторов. Оно колеблется от 0,90 % в деградированных до 2,35 % в компромиссных агроэкосистемах.

Наши исследования показали, что независимо от интенсивности агроэкосистем, сезонный характер накопления органического вещества имеет

устойчивую тенденцию к его увеличению как в период максимального продуцирования биомассы, так и в период затухания и отмирания. При этом минимальное увеличение содержания гумуса 0,04 и 0,46 % соответственно отмечается в деградированных экосистемах при отсутствии источников поступления органического вещества (рис. 4), а максимальное (0,53 и 1,50 %) – в сверхинтенсивных агроэкосистемах с большим количеством органического вещества, поступающего в виде пожнивно-корневых остатков и навоза (25-30 т/га ежегодно). Наименее значимым колебаниям содержания органического вещества (0,25 и 0,49 %) подвержены компромиссные агроэкосистемы с замкнутым циклом круговорота биофильных элементов.

Расчет изменения запасов содержания органического вещества в разные этапы функционирования агроэкосистем показал, что их увеличение коррелировало с уровнем продуктивности агрофитоценоза и интенсивностью деятельности микробного сообщества. Так, на этапе максимального продуцирования биомассы агробиоценозом наименьший прирост запасов гумуса отмечали в деградированной агроэкосистеме (2,1 т/га), а максимальный (25,6 т/га) – в сверхинтенсивной (табл. 2).

Таблица 2

Сезонная динамика изменения запасов гумуса в агроэкосистемах (т/га),
2012-2014 гг.

Агроэкосистемы	Этапы функционирования агроэкосистем			Прирост, за полный цикл
	Формирование	Прирост биомассы	Затухание и отмирание	
Компромиссная	63,4	72,0	85,2	21,8
Деградированная	24,3	26,4	40,60	16,4
Экстенсивная	25,4	39,8	61,5	36,1
Интенсивная	28,6	48,2	78,3	49,7
Сверхинтенсивная	47,0	72,6	97,2	50,2

На этапе отмирания различных компонентов агробиоценоза прирост запасов гумуса возрастал во всех изучаемых агроэкосистемах: на 13-14 т/га в компромиссных и деградированных, 22 т/га в экстенсивных, 30 т/га в интенсивных и на 25 т/га в сверхинтенсивных.

Таким образом, по влиянию на параметры сезонных колебаний содержания и запасов органического вещества исследуемые агроэкосистемы можно условно расположить в следующей убывающей последовательности: компромиссные > сверхинтенсивные > интенсивные > экстенсивные > деградированные.

Интенсивность использования пахотных земель изменяет не только количественное, но и качественное состояние гумуса. Определение содержания органического вещества термоаналитическим методом позволяет по способности к деструкции в разных температурных областях условно выделить центральную и периферическую часть в структуре гумусовых кислот (рис. 6).

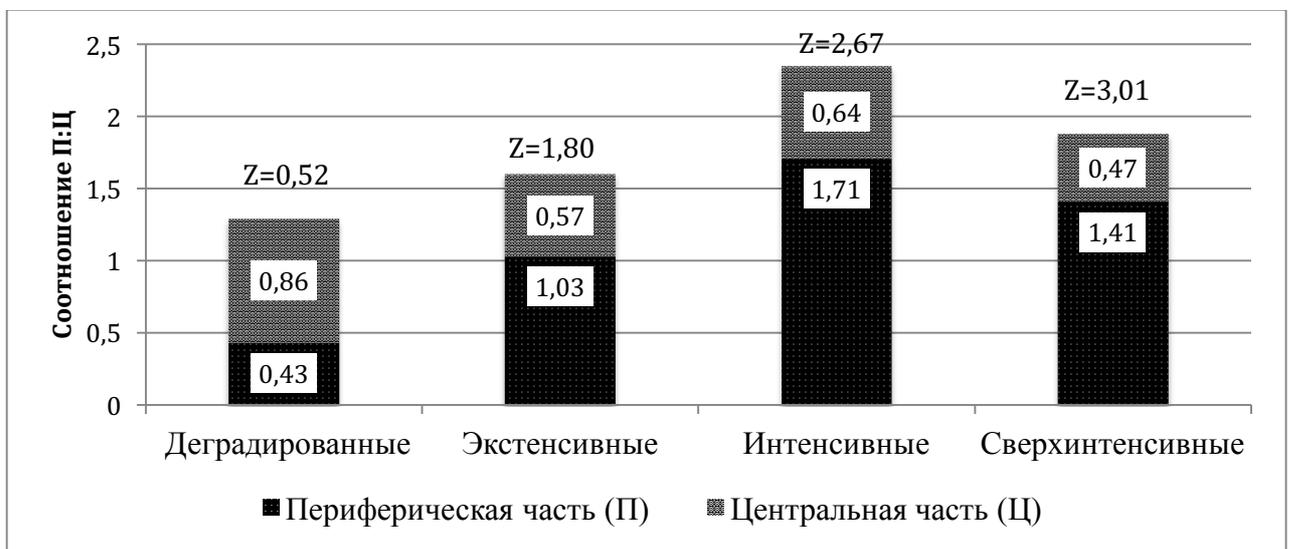


Рис. 6. Соотношение центральной и периферической части органического вещества, %

Для количественной оценки участия периферических радикалов и центральных фрагментов в построении молекул гумусовых кислот принято соотношение потери массы в низко ($<400^{\circ}\text{C}$) – и высокотемпературной ($>500^{\circ}\text{C}$) области, обозначаемые показателем – Z , предложенным проф.

В.А. Черниковым. Установлено, что наибольшей степенью участия центральной группировки в построении характеризуются гуминовые кислоты варианта деградированных агроэкосистем ($Z=0,52$), а наименьшей – сверхинтенсивных ($Z=3,01$).

Основным источником гумусообразования в экстенсивных агроэкосистемах являются растительные остатки, поступающие в почву после уборки культуры. Их химический состав и соотношение C:N определяет направленность биохимических процессов их превращения и соотношение между гуминовыми и фульвокислотами (рис. 7).

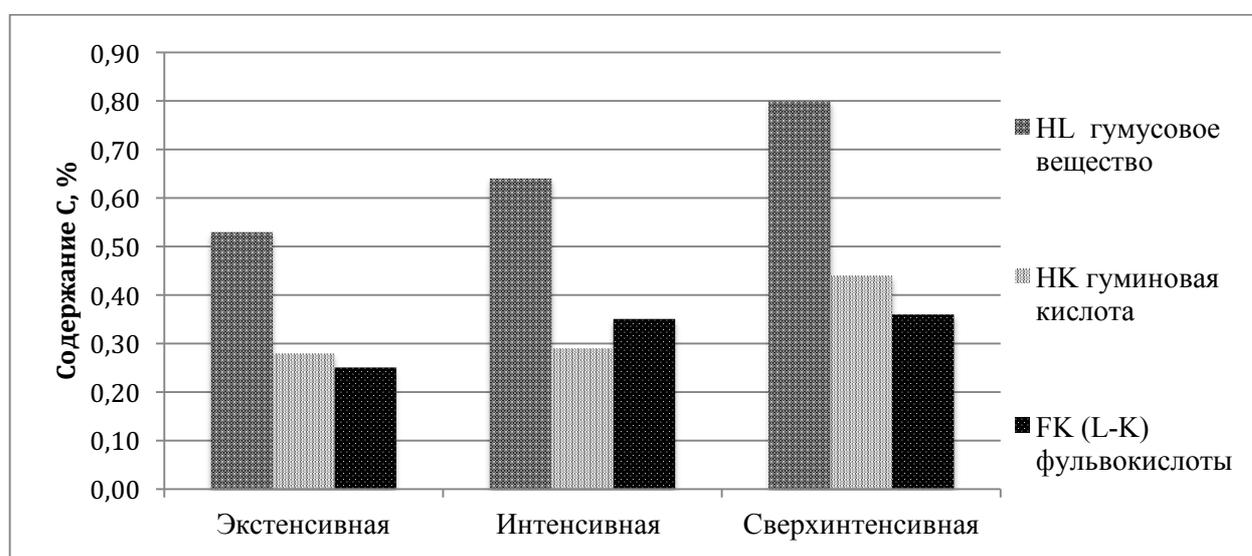


Рис. 7. Изменение соотношения гуминовых и фульвокислот в агроэкосистемах разной интенсивности.

Установлено, что в интенсивных агроэкосистемах отношение гуминовых кислот к фульвокислотам ближе к единице, а в экстенсивных оно составляет 0,6-0,8.

Гумусовые вещества активно взаимодействуют с электро-магнитными колебаниями, образуя очень сложные по рисунку спектры поглощения в широком диапазоне длин волн. Наиболее хорошо изучены спектры поглощения гуминовых кислот и фульвокислот в интервале 220–750 нм – так называемые электронные спектры поглощения.

Для характеристики веществ по спектрам поглощения принято использовать максимумы полос поглощения, указывая длину волны в

максимуме полосы и молярный коэффициент погашения или E-величину при максимальной длине волны.

E-величины характеризуют оптическую плотность только при одной условно выбранной длине волны; обычно это 465 нм. Форма спектральной кривой связана с тональностью окраски. Чем быстрее уменьшается оптическая плотность в области 400–500 нм, тем круче падает спектральная кривая, тем более бурую или желтоватую окраску имеет раствор гумусовых кислот. При серой или темно-серой окраске без бурых тонов спектр имеет вид пологой кривой.

Для оценки крутизны падения кривой и соответственно характера окраски гумусовых кислот У. Шпрингер ввел коэффициент цветности Q, равный отношению оптических плотностей при двух длинах волн, например 465 и 650 нм.

Это отношение выражает крутизну падения оптической плотности при увеличении длины волны и характеризует относительную степень конденсированности гумусовых веществ. Чем круче падает спектральная кривая, тем более бурую или желтоватую окраску имеет раствор гумусовых кислот, тем более развита у них периферическая алифатическая составляющая. При серой или темно-серой окраске спектр имеет вид пологой кривой, что подчеркивает большую степень зрелости ГК, их обуглероженности и развития ароматических структур в ядерной части молекул.

В наших исследованиях более высокие показатели степени конденсированности гумусовых веществ отмечаются в интенсивных ($Q=5,65$) и сверхинтенсивных ($Q= 5,85$) агроэкосистемах (табл. 3).

Содержание гумусового вещества, гуминовой кислоты и их отношение в агроэкосистемах разной интенсивности

Слой почвы	Гумусовое вещество			Гуминовая кислота		
	D 465	D 650	Q 465/650	D 465	D 650	Q 465/650
Деградированная						
0 - 10	0,261	0,052	5,019	0,184	0,044	4,182
10-20	0,263	0,054	4,870	0,194	0,049	3,959
Экстенсивная						
0 - 10	0,366	0,074	4,946	0,273	0,071	3,845
10-20	0,362	0,073	4,959	0,257	0,067	3,836
Интенсивная						
0 - 10	0,513	0,091	5,637	0,383	0,083	4,614
10-20	0,501	0,088	5,693	0,378	0,086	4,395
Сверхинтенсивная						
0 - 10	0,417	0,071	5,873	0,319	0,072	4,431
10-20	0,402	0,069	5,826	0,297	0,065	4,569

Таким образом, воздействие на агроландшафты антропогенными факторами разной интенсивности в течение длительного периода их функционирования оказывает существенное влияние на содержание и качественное состояние органического вещества, изменяя направленность биохимических процессов его превращения в сторону минерализации в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах и в сторону гумусонакопления – в компромиссных и сверхинтенсивных, а также соотношение центральной и периферической части гуминовых кислот.

Глава IV. Оценка состояния и буферной способности агроэкосистем разной интенсивности

Длительное воздействие на почвенный покров антропогенных факторов разной интенсивности (способ использования пашни, одновидовые и многовидовые посевы, удобрения, известковые материалы) приводит к существенному улучшению экологического состояния почвенно-поглощающего комплекса, что выражается в стабилизации ионно-обменных свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и повышении буферной её устойчивости к воздействию стресс-факторов.

Наши исследования показали, что независимо от интенсивности функционирования агроэкосистем повышение резервов буферной устойчивости почвы обеспечивалось за счет снижения pH_{KCl} на 0,36-0,58 единиц с более высокими значениями в интенсивных агроэкосистемах, обусловленного периодическим известкованием по гидролитической кислотности раз в ротацию (6 лет) (табл. 4).

Таблица 4

Роль антропогенных факторов в стабилизации экологического состояния
почвенно-поглощающего комплекса

Агроэкосистемы	pH	Hr	Обменная кислотность	Сумма оснований	Степень насыщенности основаниями, %
Деградированные	<u>3,76</u>	<u>6,46</u>	<u>1,78</u>	<u>1,56</u>	<u>19,0</u>
	4,12	1,31	1,21	20,80	78,6
Компромиссные	<u>4,73</u>	<u>5,11</u>	<u>0,22</u>	<u>4,14</u>	<u>44,7</u>
	5,08	0,86	0,14	18,20	90,1
Интенсивные	<u>5,30</u>	<u>3,2</u>	<u>0,07</u>	<u>6,81</u>	<u>68,1</u>
	5,20	1,09	0,08	17,80	88,3
Сверхинтенсивные	<u>4,28</u>	<u>5,19</u>	<u>0,24</u>	<u>4,34</u>	<u>45,5</u>
	4,96	2,04	0,16	22,40	71,8

Примечание: числитель – данные А.М. Лыкова, 1963 г.; знаменатель – 2013 год

При этом сумма обменных оснований за счет периодического (раз в ротацию) внесения известковых материалов увеличилась за 50-летний период с 2-4 до 20-22 мг-экв на 100 г почвы.

Степень насыщенности почвы основаниями даже в деградированном агроландшафте на известкованных фонах возросла с 19,0 до 78,6 %, в экстенсивных с 30-40 до 50-60 %, а в сверхинтенсивных достигала оптимальных значений (80-90 %).

Разная интенсивность воздействия антропогенных факторов на агроэкосистемы оказывала разноплановое влияние на изменение экологического потенциала дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (табл. 5).

Таблица 5

Деградация почвенного покрова при разной интенсивности использования пашни, 2014 г.

Агроэкосистемы	Гумус, %	мг на 100 г почвы		Энергоемкость почвы, тыс. МДж/га
		K ₂ O	P ₂ O ₅	
Деградированные (чистый пар)	1,11	25	40	28
<u>Экстенсивные:</u> монокультура льна	1,77	30	71	33
монокультура ячменя	1,87	50	66	48
монокультура картофеля	1,77	58	110	36
<u>Компромиссные:</u> многолетняя залежь	2,46	190	87	90
монокультура многолетних трав	2,02	185	297	62
монокультура озимой ржи	1,94	176	350	55
Интенсивный севооборотный участок с 1950 г.	1,85	166	295	74
Сверхинтенсивный, то же с 1912 г.	2,29	146	294	85

Наиболее высокий экологический потенциал органического вещества и биофильных элементов питания (гумус 2,46 %), подвижный фосфор (190 мг/кг почвы) и обменный калий (87 мг/кг почвы) отмечается в естественном травянистом биоценозе 70-летней залежи с замкнутым циклом круговорота веществ.

Вовлечение данных земель в пахотный фонд снижало уровень содержания органического вещества и элементов питания, особенно заметно в деградированных агроэкосистемах. По способности аккумулировать энергию и устойчивости к техногенным нагрузкам агроэкосистемы располагаются в следующей убывающей последовательности: сверхинтенсивные > интенсивные > компромиссные > экстенсивные > деградированные.

Глава V. Роль природных и антропогенных факторов в трансформации верхней части (0-100 см) почвенного профиля.

5.1. Изменение содержания органического вещества и биофильных элементов

Длительное воздействие на почвенный покров легкосуглинистых дерново-подзолистых почв технологическими приемами разной интенсивности вызывает изменение их морфологических признаков, гумусированности и содержания биофильных элементов не только пахотного, но и нижележащих горизонтов по сравнению с их естественными аналогами.

Установлено, что вовлечение залежных земель в интенсивный сельскохозяйственный оборот при экстенсивном способе использования пашни снижает запасы гумуса во всех слоях метровой части профиля и, особенно сильно, в пахотном (11,5 т/га), корнеобитаемом (7,9 т/га) и слое 0-50 см (7,1 т/га). В слое 0-100 см эти различия сглаживаются и составляют 1,7 т/га (табл. 6).

Таблица 6.

Изменение запасов гумуса (т/га, %) по слоям верхней части почвенного
профиля, 2012 г.

Агроэкосистема	Слой почвы, см			
	0-20	0-30	0-50	0-100
Компромиссная	<u>59,6</u>	<u>70,8</u>	<u>94,2</u>	<u>143,1</u>
	100	100	100	100
Экстенсивная	<u>56,2</u>	<u>76,2</u>	<u>107,6</u>	<u>158,0</u>
	94,3	107,6	114,2	110,4
Деградированная	<u>48,1</u>	<u>62,9</u>	<u>87,1</u>	<u>141,4</u>
	80,7	88,8	92,5	98,8
Интенсивная	<u>66,7</u>	<u>82,7</u>	<u>108,8</u>	<u>159,2</u>
	111,9	116,8	115,5	111,3
Сверхинтенсивная	<u>79,8</u>	<u>103,4</u>	<u>140,1</u>	<u>197,3</u>
	133,9	146,0	148,7	137,9

Примечание: числитель – запасы гумуса, т/га, знаменатель - % к компромиссной

Обогащение почвы органическим веществом за счет ежегодного внесения в среднем за 102 года 17,3 т/га навоза даже в деградированной агроэкосистеме (чистый пар) стабилизирует запасы гумуса в корнеобитаемом горизонте на уровне компромиссной (многолетняя залежь), а при менее интенсивных способах использования пашни обеспечивает увеличение его запасов во всех исследуемых слоях (рис. 8).

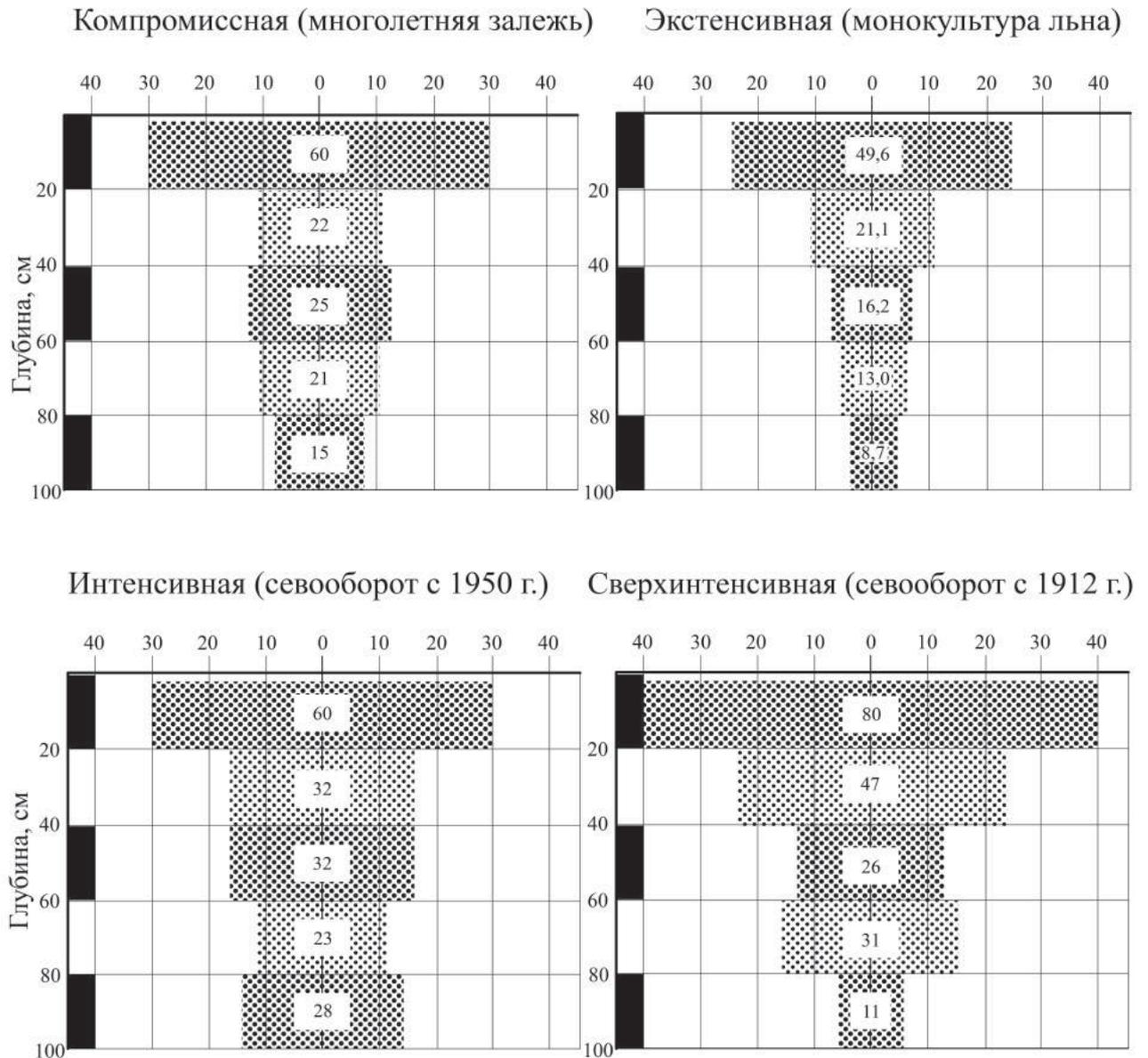


Рис. 8. Распределение запасов гумуса (т/га) в верхней части почвенного профиля в агроэкосистемах разной интенсивности.

Системные обследования метровых профилей компромиссных (многолетняя залежь), экстенсивных (монокультуры без удобрений) и

интенсивных (севооборотные участки на органо-минеральном фоне) агроэкосистем выявили разнохарактерность процессов накопления и миграции органического вещества, а также аккумуляции и перераспределения биофильных элементов.

Наши исследования показали, что в экстенсивных агробиоценозах при ограниченном (0,8-1,2 т/га) поступлении органических веществ в виде растительных остатков и интенсивном механическом воздействии на почвенный покров приемами ежегодной механической обработки усиливаются процессы минерализации органического вещества, а следовательно, снижаются запасы гумуса в пахотном слое, которые составили за 102-летний период 10,4 т/га (20%) с резкой убылью вниз по профилю.

Снижение запасов гумуса – в нижележащих слоях 40-60 см, 60-80 см и 80-100 см составило 35,2%, 38,1% и 42% по отношению к аналогичным слоям компромиссных агроэкосистем соответственно.

Усиление степени воздействия на агроландшафт антропогенных факторов (растения, удобрения, известковые материалы) увеличивали как общие запасы гумуса в изучаемых слоях метрового профиля дерново-подзолистой почвы, так и интенсивность вертикальной миграции лабильной части органического вещества. Так, в интенсивных агроэкосистемах запасы гумуса в пахотном слое остались на уровне компромиссных, а в слое 20-40 см возросли на 45%, в слое 40-60 см – на 28%, в слое 60-100 см – на 36%. Введение в агробиоценозы сверхинтенсивных агроэкосистем сельскохозяйственных культур с мощно развитой корневой системой и длительным периодом функционирования усиливает процессы гумусонакопления, что приводит к увеличению запасов гумуса во всех исследуемых слоях метровой части почвенного профиля по сравнению с другими агроэкосистемами. Так, в слое 0-20 см запасы гумуса увеличились в 1,61 раза, в слое 20-40 см – в 2,22 раза, в слое 40-60 см – в 1,61 раза, а в слоях 60-80 см и 80-100 см – в 2,39 и 1,26 раза соответственно по сравнению с экстенсивной агроэкосистемой.

В профиле дерново-подзолистых почв изучаемых агроэкосистем изменялись не только количественные, но и качественные параметрические характеристики гумусовых веществ (табл. 7).

Таблица 7

Соотношение центральной и периферической части органического вещества в профиле дерново-подзолистой почвы

Слой почвы, см	Содержание С орг, %				
	Общее	Периферическая часть («молодое» органич. в-во)	Центральная часть («старое» органич. в-во)	Соотношение центральной и периферической части	Доля активной части
Деградированная					
0-20	0,69	0,48	0,21	2,29	70
20-40	0,49	0,35	0,14	2,50	71
40-60	0,63	0,51	0,12	4,25	81
60-80	0,59	0,49	0,10	4,90	83
80-100	0,30	0,27	0,03	9,00	90
Сверхинтенсивная					
0-20	1,36	0,99	0,37	2,67	73
20-40	0,94	0,67	0,27	2,48	71
40-60	0,74	0,52	0,22	2,36	70
60-80	1,03	0,84	0,19	4,42	81
80-100	0,82	0,67	0,15	4,47	82
Экстенсивная					
0-20	0,93	0,60	0,33	1,82	65
20-40	0,76	0,59	0,17	3,47	79
40-60	0,36	0,26	0,10	2,60	72
60-80	0,78	0,60	0,18	3,33	77
80-100	0,75	0,64	0,11	5,82	85
Интенсивная					
0-20	1,09	0,82	0,27	3,04	75
20-40	0,92	0,66	0,26	2,53	72
40-60	0,70	0,48	0,22	2,18	69
60-80	0,82	0,69	0,13	5,31	84
80-100	0,65	0,57	0,08	7,12	88
Компромиссная					
0-20	0,98	0,71	0,27	2,63	72
20-40	0,49	0,31	0,16	1,93	63
40-60	0,54	0,39	0,15	2,60	72
60-80	0,49	0,35	0,14	2,50	71
80-100	0,39	0,28	0,11	2,54	72

Установлено, что в почвах деградированных агроэкосистем вниз по профилю снижается степень защищенности центральной части гумусовых кислот вследствие отбора в их составе наиболее термостабильных группировок, что приводит к возрастанию доли периферической части с 70% в пахотном до 90 % в слое 80-100 см.

Наиболее выравненные соотношения между центральной и периферической частями отмечаются в компромиссных агроэкосистемах (2,50 – 2,63), что свидетельствует о высокой экологической устойчивости их к неблагоприятным воздействиям факторов внешней среды.

По сравнению с компромиссными агроэкосистемами усиление степени воздействия антропогенными факторами на агробиоценозы увеличивает долю «молодого органического вещества» в нижних слоях метрового профиля с 71-72 до 82-88 %, что связано с более значимой миграцией подвижных форм гумуса (рис. 9).

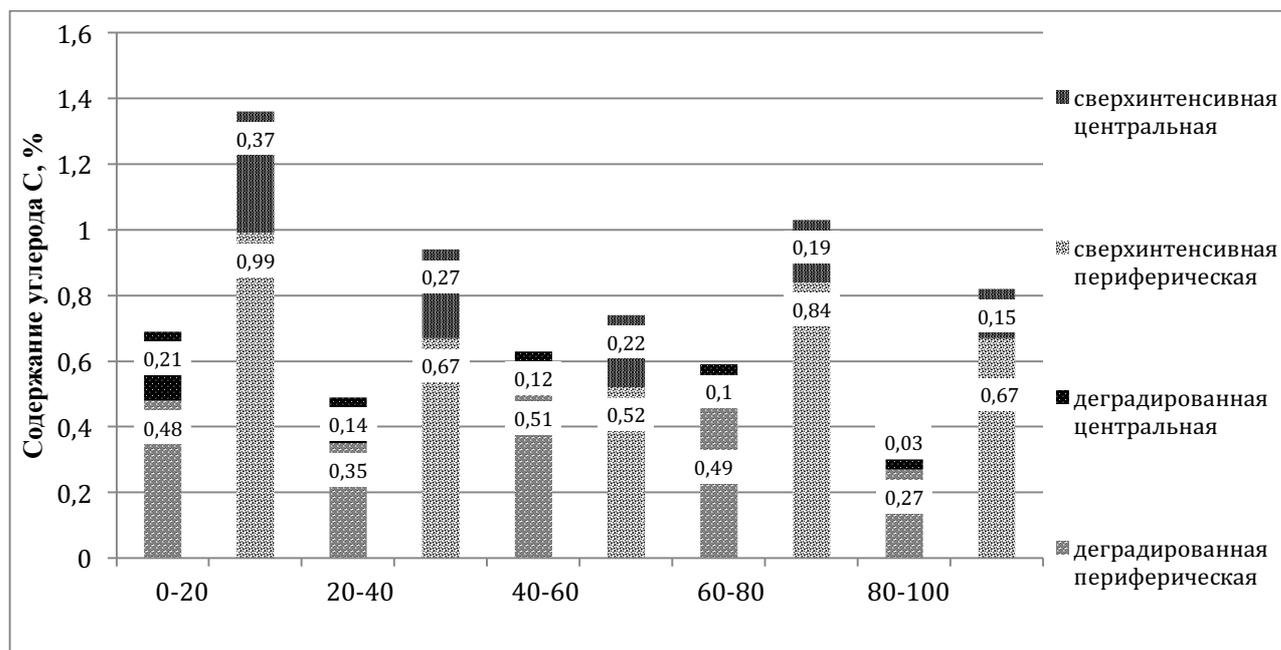


Рисунок 9. Соотношение центральной и периферической части органического вещества.

Таким образом, снижение степени воздействия на агроландшафты приводит к возрастанию доли структурных компонентов периферической части и значительному снижению доли циклических группировок гумусовых соединений, в упрощении их строения при движении вниз по профилю.

Длительное использование почвы под агроценозами разной интенсивности сопровождается не только изменением содержания и перераспределения запасов гумуса в верхней части почвенного профиля, но и в значительной степени определяет содержание в ней подвижных форм фосфора, обменного калия и общего азота.

Наши исследования показали, что в компромиссной и сверхинтенсивной агроэкосистемах распределение подвижного фосфора имеет резко дифференцированный характер, а под агрофитоценозами меньшей интенсивности более выравненный (рис. 10).

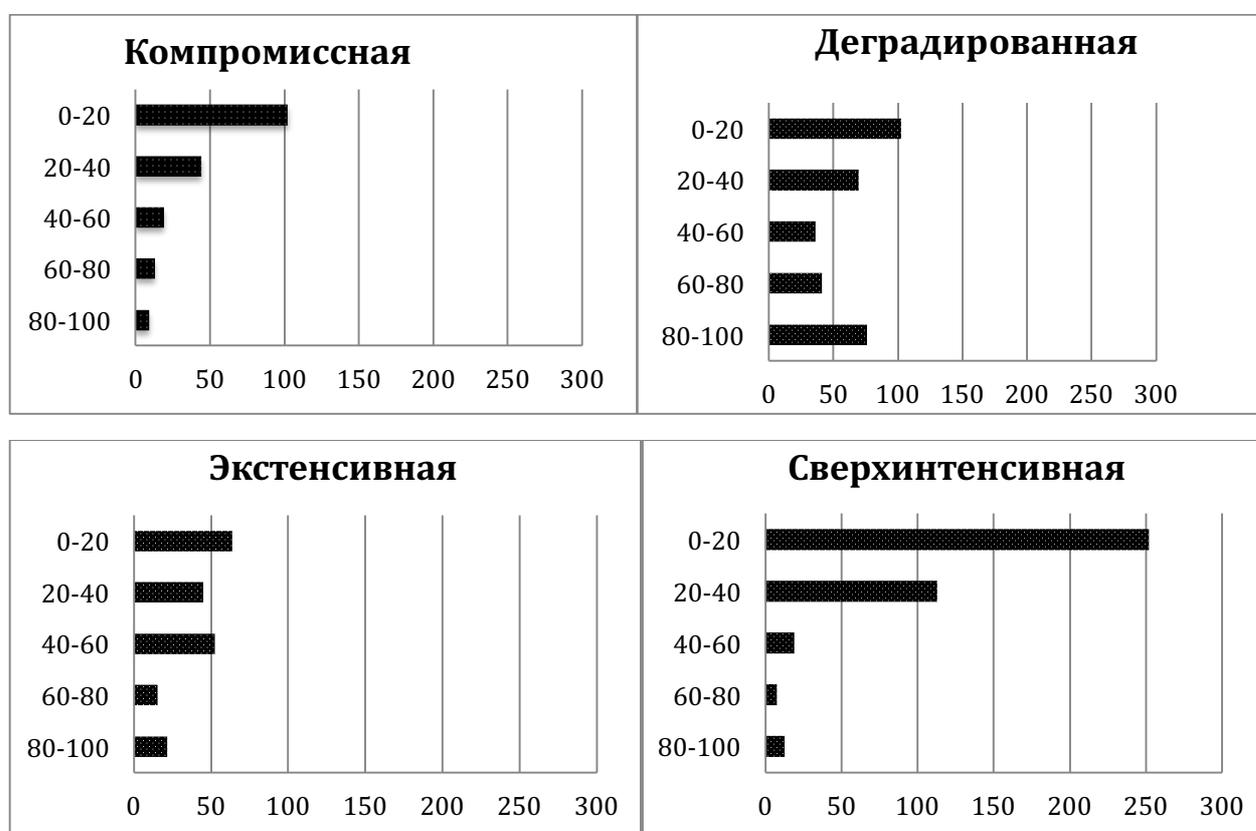


Рисунок 10. Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы) в верхней части почвенного профиля в агроэкосистемах разной интенсивности.

Так, если запасы подвижного фосфора в слое 0-100 см принять за 100 процентов, то в пахотном слое дерново-подзолистой почвы сверхинтенсивных агроэкосистем содержится 71 %, интенсивных – 61 %, экстенсивных – 49 % и деградированных – 39 %, что связано с разным содержанием катионов Ca^{++} и Mg^{++} , способных связывать различные формы фосфорных соединений и уменьшать их миграцию в нижележащие горизонты. При этом максимальное

накопление подвижных фосфатов в корнеобитаемом слое 0-40 см отмечается в сверхинтенсивных агроэкосистемах (93 %), а минимальное (49 %) в деградированных.

На нижележащие горизонты (40-100 см) в деградированных агроэкосистемах приходится 51 %, в экстенсивных – 39 %, интенсивных – 28 % и сверхинтенсивных – 7%. Следовательно, внесенные и аккумулированные в почвенном покрове дерново-подзолистых почв фосфорные соединения наиболее эффективно используются агробиоценозами в сверхинтенсивных агроэкосистемах (рис. 11).

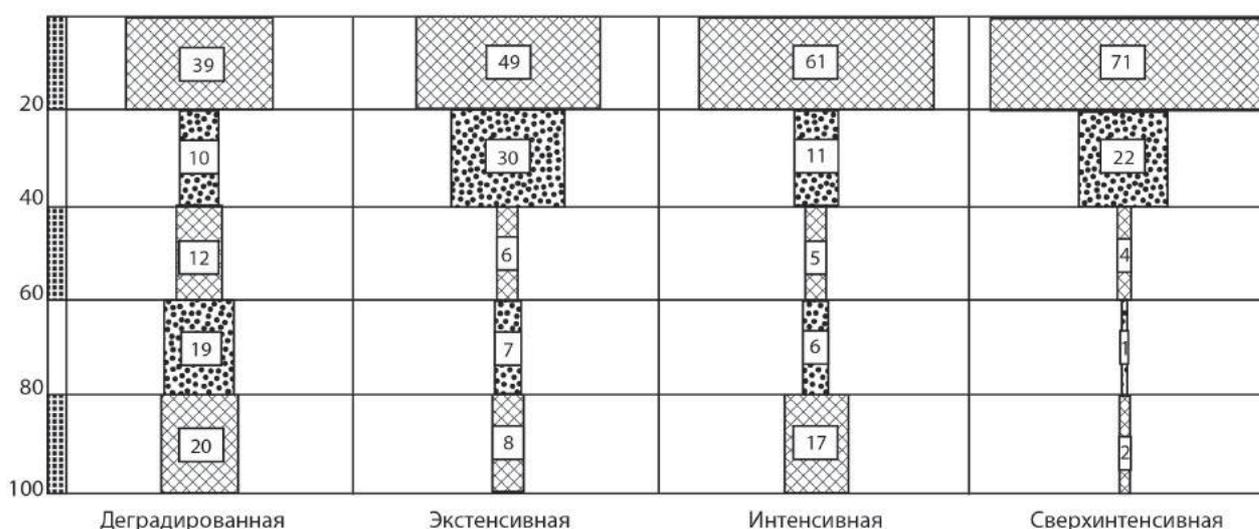


Рисунок 11. Распределение подвижного фосфора по слоям метровой части почвенного профиля в агроэкосистемах разной интенсивности, % от общего

Другие закономерности в накоплении и распределении в верхней метровой части почвенного профиля установлены нами в отношении общего азота (табл. 8).

Наиболее высокое его содержание в пахотном слое отмечается в сверхинтенсивных агроэкосистемах (0,14 %), что связано с большой массой ежегодно поступающих пожнивно-корневых остатков (5,2 т/га) и внесении навоза в дозе 20 т/га.

Содержание общего азота (%) по слоям верхней части почвенного профиля,
0-100 см

Агроэкосистема	Слой почвы, см				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Деградированная	0,08	0,05	0,03	0,03	0,04
Экстенсивная	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02
Интенсивная	0,11	0,05	0,03	0,03	0,04
Сверхинтенсивная	0,14	0,08	0,05	0,06	0,02
Компромиссная	0,10	0,08	0,04	0,03	0,04

При снижении степени антропогенного воздействия на агроэкосистемы его содержание уменьшается на 21,5 % в интенсивных, на 42,9 % в деградированных, а в экстенсивных в 2 раза. При этом его распределение по слоям верхней части почвенного профиля во всех изучаемых агроэкосистемах носит более выравненный характер (рис. 12).

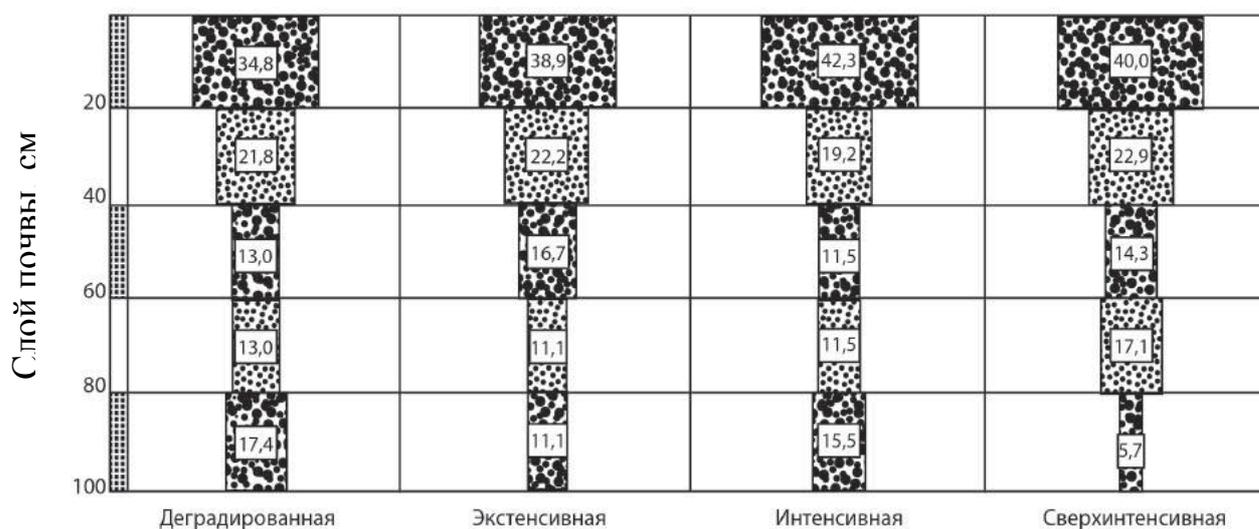


Рисунок 12. Распределение общего азота по слоям метровой части почвенного профиля, % от общего

Так, колебания содержания общего азота в пахотном слое почвы агроэкосистем различной интенсивности в относительном выражении

изменялось от 34,8% в деградированных до 42,3% в интенсивных, в слое 20-40 см – от 19,2% до 22,9%, в слоях 40-60 и 60-80 см – от 11,5% до 16,3%, а в слое 80-100 см – от 11,1% до 17,4%, резко снижалась до 5,7% лишь в сверхинтенсивных агробиоценозах.

Таким образом, усиление интенсивности воздействия антропогенных факторов на почвенный покров проявлялось лишь в изменении общего содержания азота по слоям верхней части почвенного профиля и не оказывало заметного влияния на его распределение в вертикальной плоскости.

Такая же закономерность нами установлена в накоплении и перераспределении обменного калия в верхней части почвенного профиля. По содержанию этого элемента питания в метровом слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изучаемые агроэкосистемы можно распределить в следующий убывающий ряд: сверхинтенсивные > интенсивные > компромиссные > экстенсивные > деградированные (рис. 13).

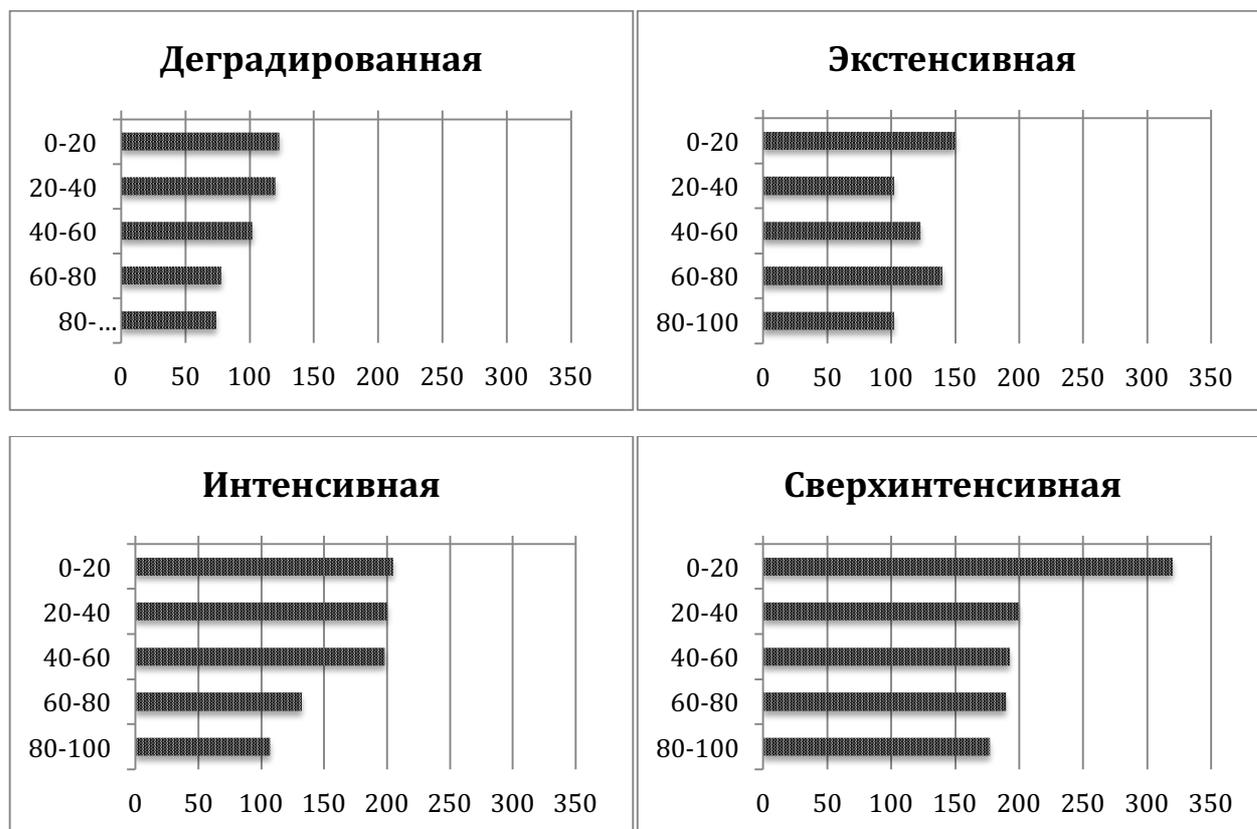


Рисунок 13. Содержание обменного калия (мг/кг почвы) в верхней части почвенного профиля в агроэкосистемах разной интенсивности.

В деградированных экосистемах содержание обменного калия в пахотном слое 0-20 см составляло 123 мг/кг почвы и плавно снижалось до 70-120 мг/кг почвы в нижележащих слоях, в основном, за счет его перехода из кристаллической решетки минералов в ППК почвы. Возделывание монокультур при естественном фоне питания увеличивает его содержание до 150 мг/кг почвы в пахотном и до 100-140 мг/кг почвы в нижележащих горизонтах за счет калия, содержащегося в пожнивно-корневых остатках.

Внесение минеральных удобрений в интенсивных агроэкосистемах обеспечивает дальнейшее повышение содержания обменного калия на 55 мг/кг почвы в пахотном и на 65-80 мг/кг почвы в нижележащих слоях. Совместное применение минеральных ($N_{100}P_{150}K_{120}$) и органических (17,4 т/га навоза) удобрений обуславливает резкое, до 320 мг/кг почвы, увеличение его содержания в пахотном слое сверхинтенсивных агроэкосистем и более плавное – в нижележащих горизонтах (табл. 9).

Таблица 9

Распределение запасов обменного калия в метровой части почвенного профиля в агроэкосистемах, кг

Агроэкосистема	Слой почвы, см					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-100
Компромиссная	<u>629</u>	<u>252</u>	<u>441</u>	<u>339</u>	<u>465</u>	<u>2126</u>
	29,6	11,8	20,7	15,9	22,0	100
Деградированная	<u>332</u>	<u>336</u>	<u>285</u>	<u>234</u>	<u>222</u>	<u>1409</u>
	23,6	23,8	20,3	16,6	15,7	100
Экстенсивная	<u>405</u>	<u>286</u>	<u>357</u>	<u>420</u>	<u>306</u>	<u>1774</u>
	22,8	16,1	20,1	23,7	17,3	100
Интенсивная	<u>554</u>	<u>560</u>	<u>574</u>	<u>396</u>	<u>321</u>	<u>2405</u>
	23,0	23,3	23,9	16,5	13,3	100
Сверхинтенсивная	<u>864</u>	<u>560</u>	<u>560</u>	<u>570</u>	<u>531</u>	<u>3085</u>
	28,0	18,1	18,1	18,5	17,3	100

Примечание: числитель – запасы обменного калия, кг ; знаменатель - % от общего

При этом процентное распределение запасов данного элемента по слоям метрового профиля почвы в разных агроэкосистемах колебалось незначительно и составляло в пахотном слое от 22,8 до 28,0 %, в подпахотном

– от 16,1 до 23,8 %, а в нижележащих слоях 40-100 см – от 13,3 до 23,9 %, что обусловлено высокой его подвижностью, а также способностью переходить в необменные формы и закрепляться в кристаллической решетке различных минералов.

Следовательно, при длительном воздействии природных и антропогенных факторов разной интенсивности на агроэкосистемы отмечается существенное изменение содержания, а также перераспределения энергетических потоков в профиле почвы с увеличением количества гумуса и элементов питания в нижней части почвенного профиля, особенно в сверхинтенсивных агробиоценозах. Это свидетельствует о том, что при антропогенной нагрузке, превышающей буферную способность почвы и энергетическую емкость существующего агробиоценоза, часть энергии отчуждается в окружающую среду.

5.2. Термографический анализ состояния органического вещества и минералогического состава

Количественная и качественная оценка состояния органического вещества и минералогического состава методом термического анализа показала низкое содержание как органического вещества, так и минеральной части в составе почв. Установлено, что эндотермические эффекты в низкотемпературной области характерны для минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд и связанные с выделением гигроскопической воды по всему профилю, невелики. Органическое вещество сгорает в интервале температур 300-450° С, его содержание довольно низкое и в верхнем горизонте оно составляет всего 1,54 %.

Минеральная часть представлена кварцем (эндоэффект 535° С) и карбонатами магния (эндоэффект 650° С). В составе глинистых минералов, где отмечается наличие минералов группы монтмориллонита и гидрослюд, эффекты очень невыразительны, т.к. содержание глинистых минералов невелико.

Кроме этой группы минералов также отмечается наличие минералов группы каолинита – термические эффекты высокотемпературной области – эндоэффект 580 - 650°C и небольшой сглаженный экзоэффект в области температур от 900 до 1100°C (табл. 10).

Таблица 10

Результаты термического анализа верхней части почвенного профиля (0-100 см) в агроэкосистемах разной интенсивности

Слой почвы	Вода		«Молодая» органика		«Старая» органика		Минеральная часть	
	t, оС	Содержание, %	t, оС	Содержание, %	t, оС	Содержание, %	t, оС	Содержание, %
Сверхинтенсивная								
0-20	122	0,35	370	0,99	455	0,37	570/ 630/ 955	0,79
20-40	111	0,24	360	0,67	468	0,27	570/ 682/ 950	0,45
40-60	140	0,47	350	0,52	475	0,22	570/ 645/ 959	0,48
60-80	155	2,04	315	0,84	462	0,19	559/ 620/ 938	0,95
80-100	120	0,80	340	0,67	421	0,15	540/ 630/ 941	0,74
Экстенсивная								
0-20	130	0,44	340	0,60	450	0,33	560/ 620/ 940	0,58
20-40	110	0,21	363	0,59	445	0,17	540/ 654/ 950	0,48
40-60	94	0,13	340	0,26	450	0,10	563/ 639/ 960	0,30
60-80	114	0,46	330	0,60	460	0,18	563/ 635/ 948	0,58
80-100	113	0,55	370	0,64	440	0,11	572/ 641/ 960	0,68
Компромиссная								
0-20	110	0,23	360	0,71	445	0,27	555/ 638/ 948	0,59
20-40	120	0,36	341	0,51	465	0,16	570/ 635/ 950	0,57
40-60	130	0,55	398	0,59	460	0,15	569/ 665/ 959	0,80
60-80	110	0,47	320	0,51	440	0,14	565/ 639/ 946	0,86
80-100	120	0,46	350	0,68	455	0,11	570/ 658/ 960	0,95
Деградированная								
0-20	120	0,25	350	0,48	451	0,21	565/ 634/ 946	0,52
20-40	115	0,26	328	0,35	437	0,14	551/ 650/ 950	0,50
40-60	129	0,42	342	0,51	440	0,12	521/ 640/ 960	0,76
60-80	125	0,40	353	0,49	442	0,10	526/ 641/ 950	0,56
80-100	135	0,42	329	0,27	420	0,23	550/ 640/ 940	0,41
Интенсивная								
0-20	100	0,25	350	0,82	465	0,27	580/ 690/ 940	0,63
20-40	100	0,21	360	0,66	465	0,26	567/ 650/ 950	0,53
40-60	141	0,87	340	0,48	450	0,22	590/ 631/ 939	0,82
60-80	135	0,59	343	0,69	440	0,13	570/ 638/ 960	0,82
80-100	100	0,49	342	0,57	455	0,08	560/ 654/ 945	0,83

Содержание глинистых минералов по всему профилю взятия образца практически одинаково и составляет примерно 1-1,5 %.

На кривых ДТА дерново-подзолистых почв в слое 0-20 см отмечается достаточно невыразительный эндотермический эффект при температуре 130°С, свидетельствующий об удалении гигроскопической влаги, характерный для минералов гидрослюд и монтмориллонита. Содержание гигроскопической влаги составляет 0,41 %.

При температуре выше 300°С сгорает органическое вещество. На кривой ДТА отмечается интенсивный экзоэффект при температуре 340°С. В этой же области температур отмечается еще один небольшой сглаженный экзоэффект при температуре 450°С. Несколько экзоэффектов в области температур от 300 до 500°С свидетельствует о разнокачественном состоянии органического вещества почвы.

В области более низких температур происходит термическое разрушение боковых алифатических цепочек, отщепление функциональных групп и частичное окисление образовавшихся продуктов, то есть происходит разрушение структурных компонентов входящих в состав периферической части молекул гумусовых кислот – это так называемое «молодое» органическое вещество, которое, по мнению ряда авторов, является наиболее доступным растениям. В нашем случае его содержание практически в 2 раза выше так называемого прочно связанного с минеральной частью органического вещества и поэтому практически не доступно растениям.

По кривым ДТГ и ТГ нами рассчитано количественное содержание органического вещества в исследуемых образцах. Для верхнего горизонта 0-20 см дерново-подзолистой почвы общее содержание органического вещества составляет 1,54 %, причем более доступного – 1,17 %, прочносвязанного – 0,37 %. При исследовании содержания гумуса по методике Тюрина оно составило 1,6 %.

Эндоэффекты в области 500-700°С связанные с удалением конституционной гидроксильной воды и частичной аморфизацией вещества,

характерны для глинистых минералов группы каолинита. Конституционная вода отличается исключительно высокой прочностью связи и неподвижностью в почве. Это химически связанная вода, недоступная растениям (рис. 14).

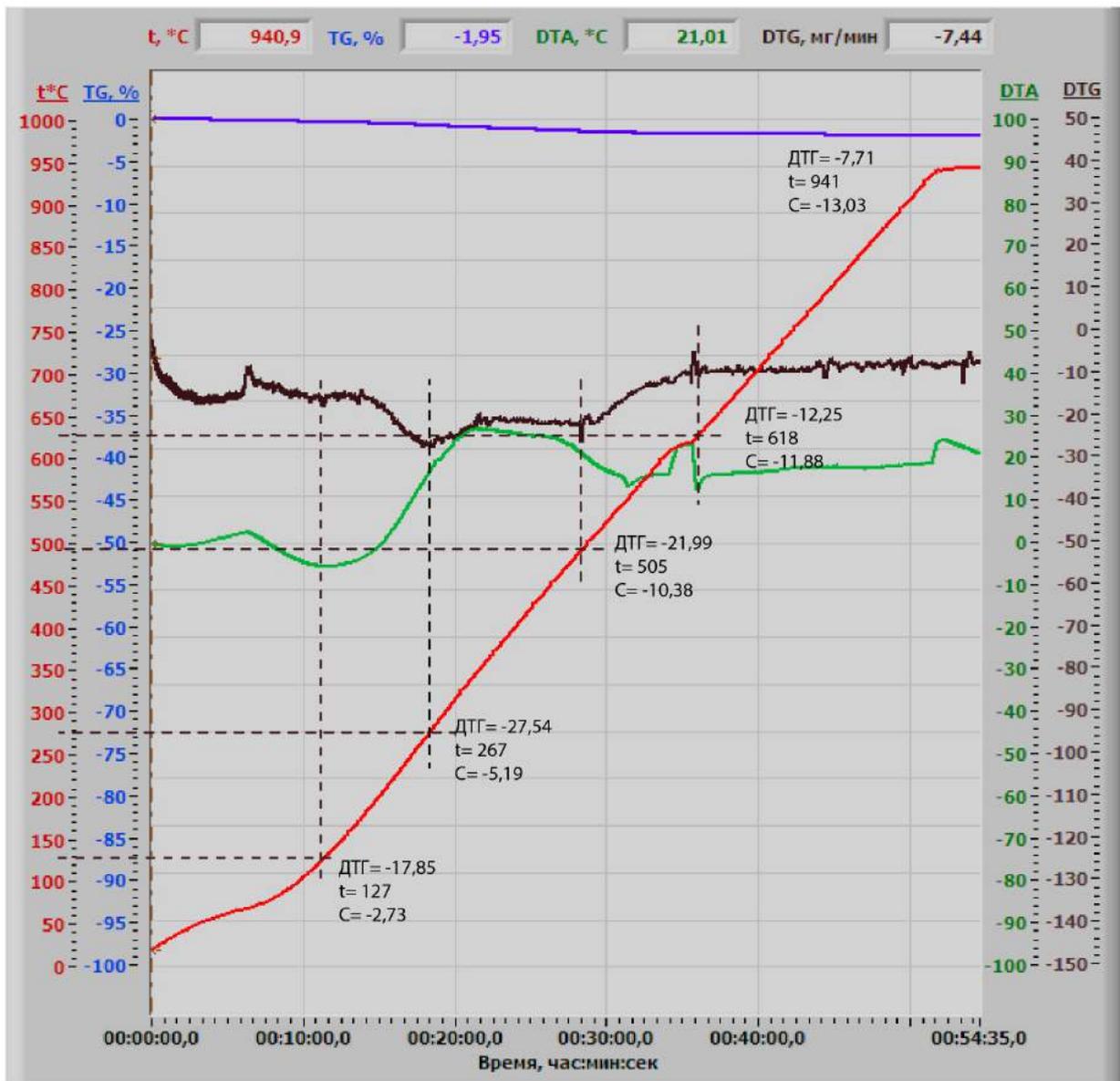


Рисунок 14. Кривые ДТА дерново-подзолистой почвы, слой 0-20 см

На кривой ДТА исследуемого образца слоя почвы 0-20 см в этой области отмечается эндотермический эффект при температуре 521 °С. Данный эффект сдвинут в сторону более низких температур, вследствие влияния насыщенности минералов монтмориллонитовой группы обменными

катионами. При более низких температурах минералы насыщены катионами алюминия, более высоких – катионами магния и железа.

Таким образом, можно предположить, что в составе исследуемого образца присутствует А1- монтмориллонит. В высокотемпературной области регистрируется экзотермический эффект при температуре 940°С – выделение оставшейся конституционной воды и разрушение минерала, характерное для минералов каолиновой группы. Эффекты, характерные для минералов группы каолинита более объемные и четче выражены на кривой ДТА, т.е. минералы данной группы преобладают над минералами монтмориллонито-гидролюдистой природы.

Все эффекты, характерные для глинистых минералов небольшие, сглаженные, что свидетельствует о невысоком их содержании. По кривым ТДГ и ТГ содержание смешено-слоистых минералов составляет 1,15%.

На кривой нагревания исследуемого образца отмечается эндоэффект при температуре 560°С, обусловленный присутствием кварца - изоморфное превращение альфа-кварца в бета-кварц. В этой же области температур присутствует достаточно интенсивный эндотермический эффект при температуре 620°С, характеризующий присутствие карбоната магния. По данным ТГ и ДТГ его содержание составляет 0,78 %.

Таким образом, минералогический состав дерново-подзолистой почвы в слое 0-20 см представлен, в основном, такими первичными минералами как кварц и карбонаты магния. Глинистые минералы выражены слабо и представлены гидролюдами, А1-монтмориллонитом и минералами группы каолинита. Общее содержание глинистых минералов невелико. По содержанию гигроскопической воды можно отметить невысокую гидрофильность данного горизонта.

По кривым нагревания ДТА слоя 20-40 см данного образца почвы можно отметить, что практически все термические эффекты, характерные для образца 0-20 см сохраняются. Отмечаются эндоэффекты в низкотемпературной области (110°С) - выделение гигроскопической воды,

характерные для минералов групп монтмориллонита и гидрослюд; эндоэффекты при температуре 540° С – выделение конституционной воды из минералов каолиновой группы; эндоэффекты, присущие первичным минералам: кварцу – (566° С) и карбонату магния (654°); в высокотемпературной области отмечается экзотермический эффект при температуре 950°, характерный для минералов каолиновой группы (рис. 15).

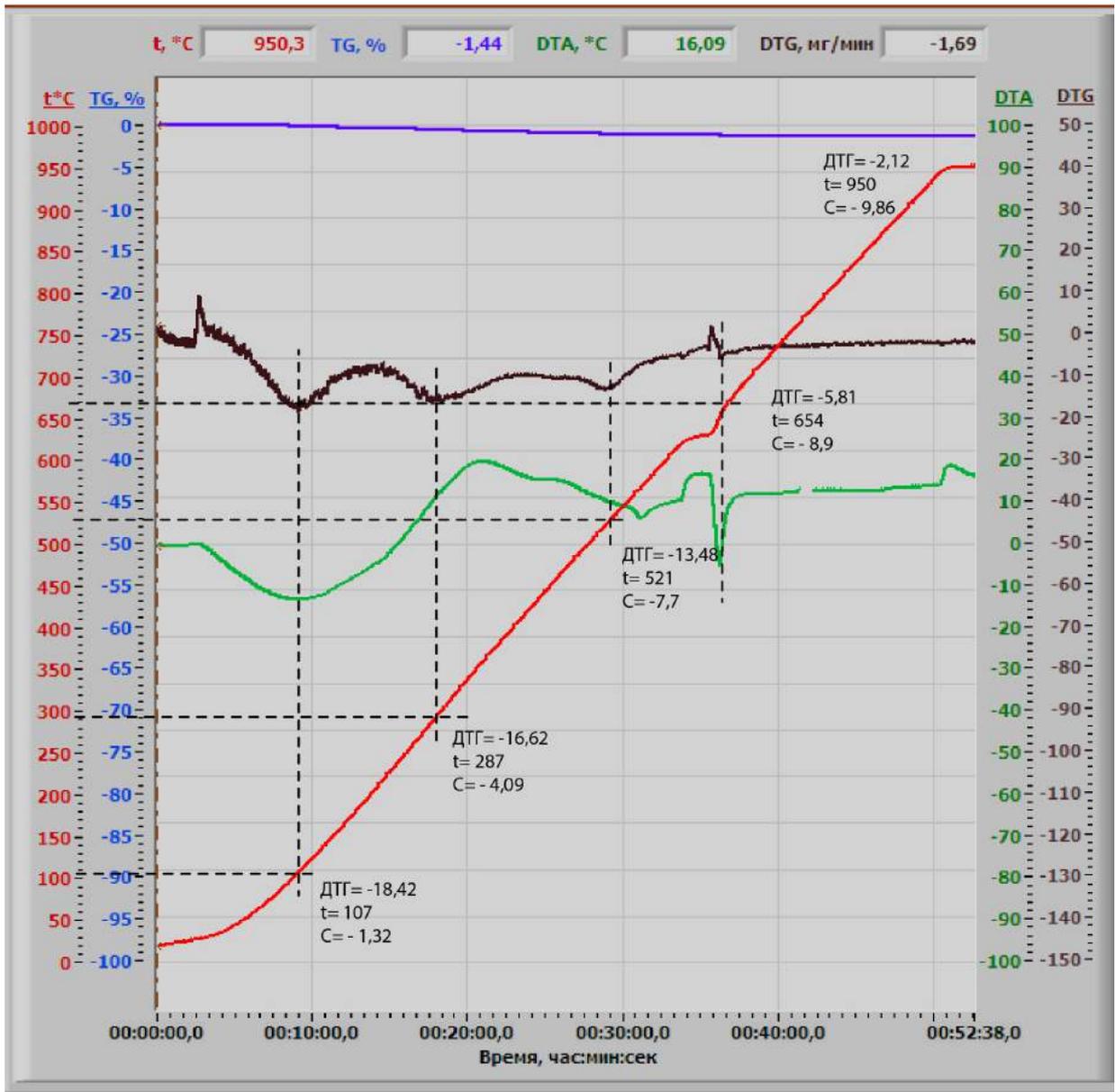


Рисунок 15. Кривые ДТА дерново-подзолистой почвы, слой 20-40 см

Органическое вещество представлено двумя экзоэффектами: более выраженный и объемный эффект при температуре 363°С, характерный для менее связанного с минеральной частью органического вещества периферической части молекул гуминовых кислот с большим содержанием

боковых алифатических цепочек. Его содержание как и в предыдущем слое практически в 2 раза выше, чем прочносвязанного и составляет 0,84 %. Второй экзоэффект менее выразительный при температуре 445°C, характерный для прочносвязанного органического вещества, в состав которого входят гуминовые кислоты более сложного строения с преобладанием структур ароматической природы, его содержание – 0,41 %. Общее содержание органического вещества – 1,25 %, гумус по Тюрину 1,3 %.

В данном слое по данным ДТГ уменьшается содержание гигроскопической влаги, которое составляет 0,19 %. Первичные минералы также представлены кварцем и карбонатами, содержание карбоната магния несколько ниже, чем в верхнем слое – 0,53 %. Глинистые минералы представлены смешено-слойными минералами монтмориллонитовой и каолинитовой групп с некоторым преобладанием минералов каолинитовой группы, их содержание составляет 1,07 %.

Термическая картина эффектов в слое почвы 40-60 см сохраняется. По данным ДТА и ДТГ отмечается уменьшение потери массы практически в два раза по сравнению с предыдущими слоями исследуемой почвы.

Это может быть связано с уменьшением количества органического вещества до 0,70 %, для которого также отмечается два экзоэффекта в области температур от 300 до 500°C, характерные для содержания разнокачественного органического вещества.

Температура выделения гигроскопической влаги более низкая и составляет 94°C, гигроскопичность данного слоя почвы уменьшается до 0,08 %, что в 5 раз меньше, чем в слое 0-20 см.

Первичные минералы – кварц и карбонаты магния представлены слабо, как и глинистые минералы (рис. 16).

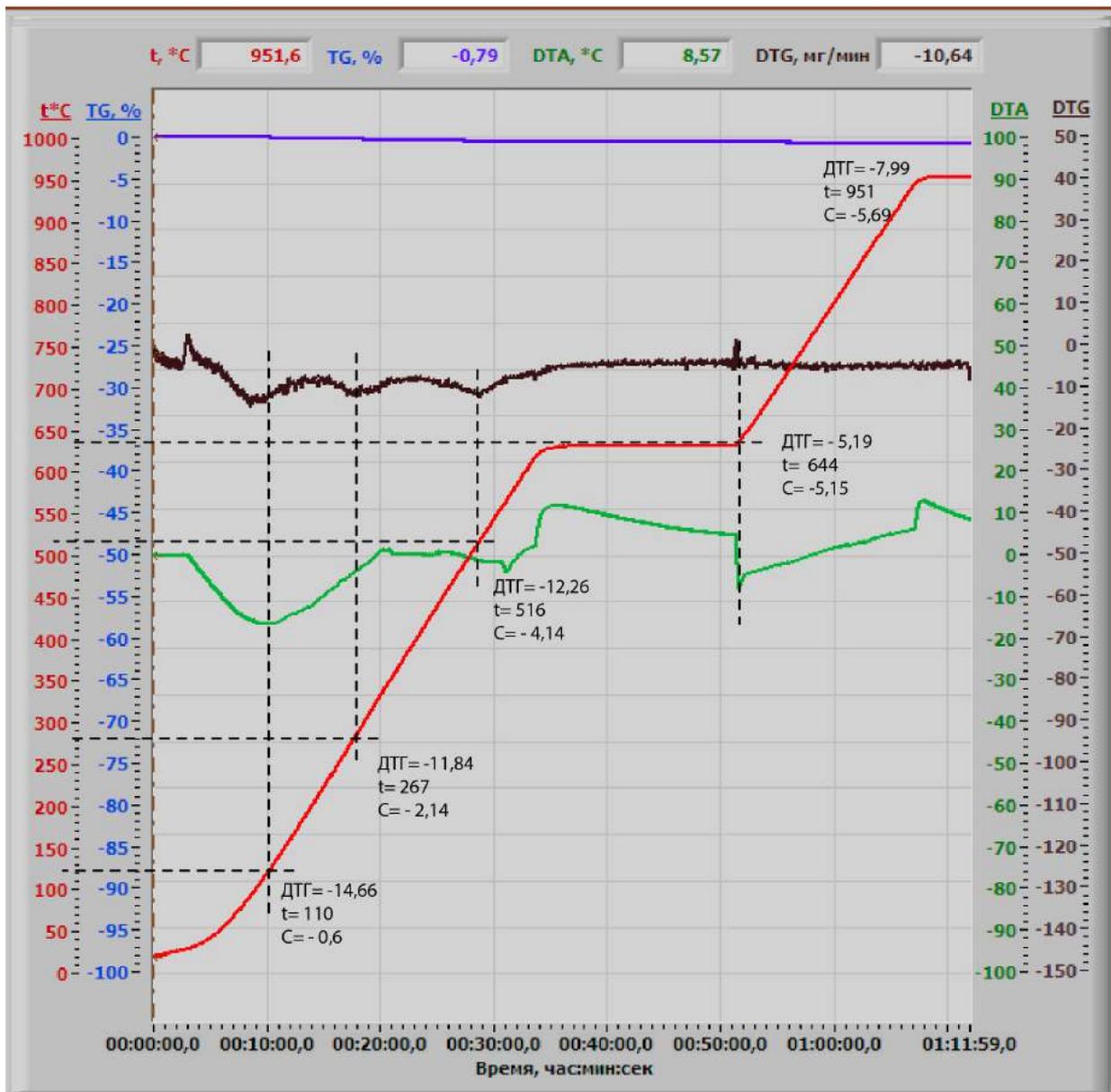


Рисунок 16. Кривые ДТА дерново-подзолистой почвы, слой 40-60 см

Термические эффекты слоя 60-80 см, характерные для других слоев данной почвы сохранены. По данным ТДГ потеря массы составляет 26,2 мг, т.е. в пределах двух верхних слоев. Эндотермический эффект выделения гигроскопической влаги, характерный для глинистых минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд отмечается при температуре 114°С. Гигроскопичность данного слоя увеличивается и составляет 0,75 % (рис. 17).

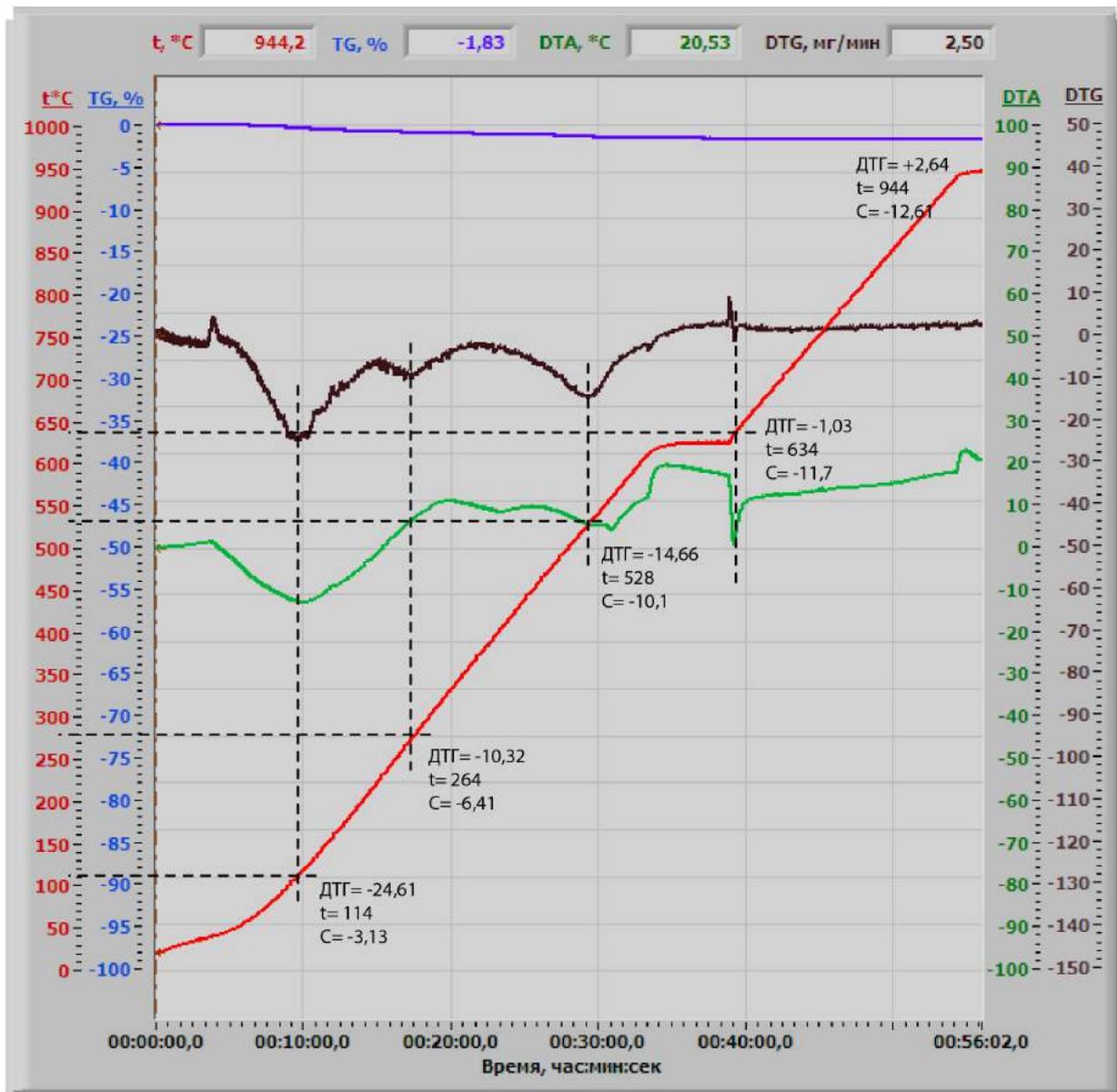


Рисунок 17. Кривые ДТА дерново-подзолистой почвы, слой 60-80 см

На кривой ДТГ в области температур, характерных для глинистых минералов монтмориллонитовой группы отмечается небольшая остановка при температуре 150°C, указывающая на вхождении в ППК почвы ионов кальция.

Органическое вещество представлено двумя экзоэффектами (+330 и +460°C), что говорит о его разнокачественном составе и составляет по данным ДТГ – 0,78 %, причем основная масса органики представлена периферической частью гуминовых кислот – 0,60 %.

Первичные и вторичные минералы представлены кварцем, карбонатом кальция и смешено-слоистыми минералами групп монтмориллонита и

каолинита, их содержание в этом слое несколько увеличивается и составляет 1,26 %.

По данным ДТА в исследуемом образце слоя почвы 80-100 см сохраняются все термоэффекты, присущие предыдущим слоям (рис. 18).

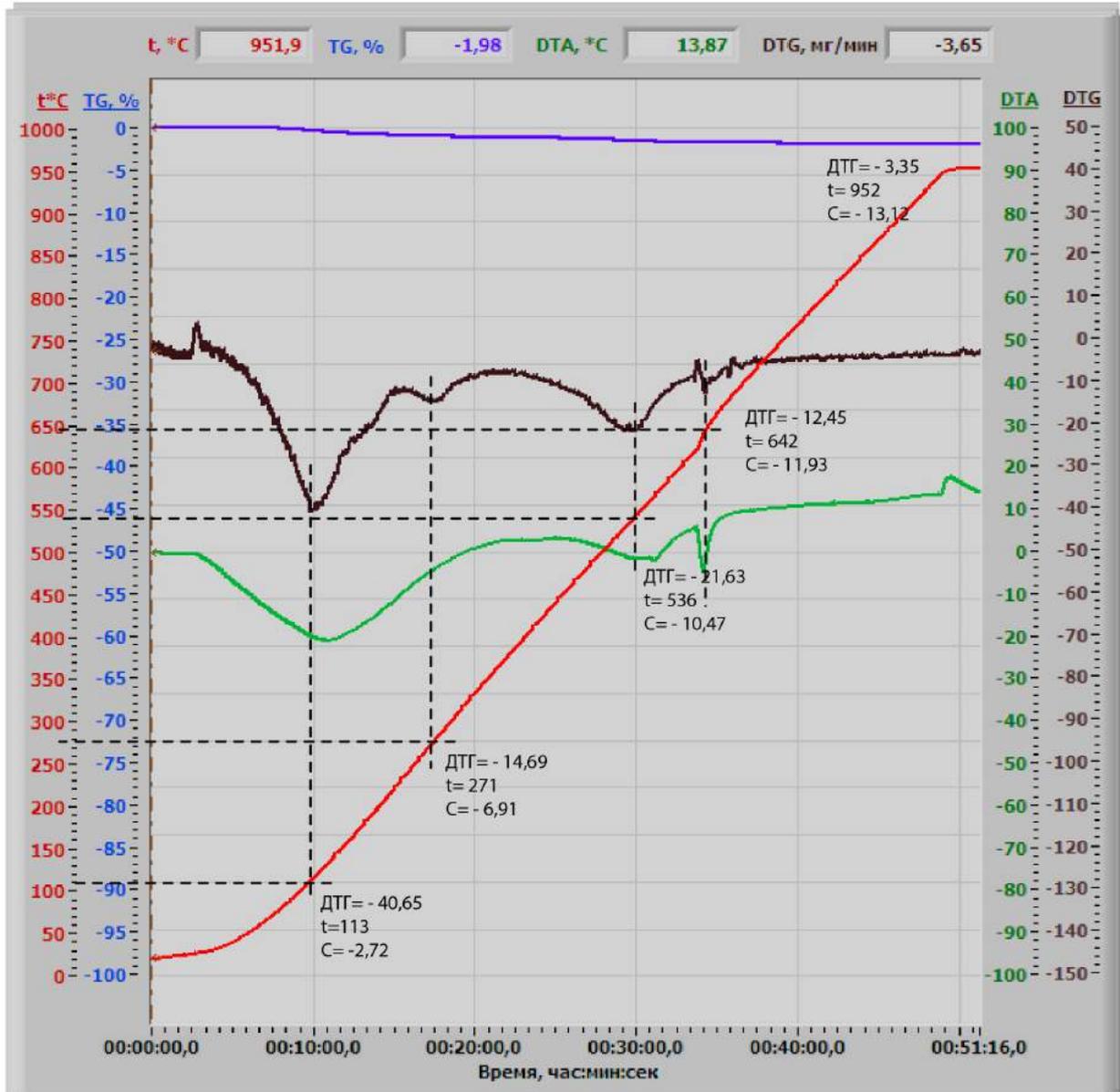


Рисунок 18. Кривые ДТА дерново-подзолистой почвы, слой 80-100 см

Эндотермический эффект при температуре 113°С более объемный, чем в верхних слоях и составляет 0,55 %, т.е. гигроскопичность с глубиной несколько увеличивается.

Уменьшается количество органического вещества. Практически вся «органика» сгорает при температуре 370°. По данным ДТГ ее содержание составляет 0,64 %.

Увеличивается содержание как первичных, так и вторичных минералов – эффекты становятся более четкими, объем их увеличивается. Содержание карбоната магния составляет 0,54 %. Глинистые минералы представлены смешено-слоистыми монтмориллонитово-гидроалюминатной природы с преобладанием минералов группы каолинита, их содержание – 2,4 %, практически в 2 раза больше, чем в верхних слоях исследуемой почвы.

Обобщенные данные термического анализа можно также представить в виде таблицы с вычленением долей основных компонентов (табл. 11).

Таблица 11

Термический анализ почвы деградированной агроэкосистемы

Вариант опыта, глубина, см	Навеска, мг	Потеря массы, мг	Гигроскопическая вода, %	Содержание органических компонентов, %	Содержание минеральных компонентов, %
0-20	668,0	27,5	0,41	1,54	98,09
20-40	683	21,5	0,19	1,25	98,56
40-60	722	13,1	0,08	0,70	99,21
60-80	689	26,2	0,75	0,78	98,47
80-100	663	28,1	0,55	0,75	98,70

По данным приведенной выше таблицы можно отметить невысокую потерю массы образца в ходе анализа, что характеризует исследуемую почву, как почву, обладающую низким содержанием как органического вещества, так и вторичных минералов. Содержание гигроскопической воды низкое, немного увеличивается с глубиной взятия образца. Исключение составляет слой 40-60 см, где содержание гигроскопической воды ничтожно мало – 0,08%. Содержание органического вещества также достаточно низкое, с глубиной взятия образца, как и следовало ожидать, уменьшается. В составе первичных минералов преобладают кварц и карбонат магния. Глинистые минералы представлены смешено-слоистыми минералами гидроалюминатно-

монтмориллонитовой группы с преобладанием, особенно вниз по профилю, минералов группы каолинита.

Наши исследования показали, что минералогический состав дерново-подзолистых почв слабо дифференцирован как по изучаемым агроэкосистемам, так и по профилю.

В составе первичных минералов почв компромиссных и других агроэкосистем преобладают такие минералы как кварц (небольшая остановка на кривой ДТА при температуре 550-600°C), причем по всем вариантам опыта, в верхних слоях она наиболее выражена. Эндотермические эффекты, характерные для карбоната магния (600-700°C) по сравнению с почвой деградированных агроэкосистем, увеличиваются, но не превышают 0,6-1,0%. Причем, их содержание практически не меняется по профилю почвы.

Содержание глинистых минералов невысокое и слабо дифференцировано по профилю почвы. В составе вторичных минералов преобладают минералы группы каолинита (экзоэффекты высокотемпературной области 900-1000°C), что характеризует исследуемую почву как легкосуглинистую по гранулометрическому составу.

Нами отмечены некоторые изменения в изучаемых агроэкосистемах по содержанию гигроскопической влаги и органического вещества.

В экстенсивных агроэкосистемах в верхних слоях почвы 0-20 см, 20-40 см содержание гигроскопической влаги уменьшается по сравнению с деградированными до 0,23 %, в нижних слоях ее содержание практически не меняется и составляет 0,40-0,45%. Содержание органического вещества несколько ниже и в слое 0-20 см оно составляет 1,49 %. Сгорание органического вещества на кривой ДТА представлено двумя экзотермическими эффектами с преобладанием эффекта с более низкой температурой, характерное для органического вещества с менее связанной с минеральной частью структурой.

В почве интенсивных агроэкосистем в верхних слоях до 40 см содержание гигроскопической влаги в два раза ниже по сравнению с

деградированными и составляет 0,22 %, вниз по профилю ее содержание увеличивается, а в слое 40-60 см достигает 0,74 %. Органическое вещество разнокачественного состава, с преобладанием «молодого» органического вещества. В верхнем слое почвы 0-20 см его содержание составляет 1,5 %, а вниз по профилю несколько уменьшается.

Глава VI. Изменение численности и активности почвенной биоты в агробиоценозах разной интенсивности

В мониторинге экологического состояния почв особое место занимает оценка количественных и качественных изменений жизнедеятельности микробного сообщества, а также соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов в нём.

В основе трансформации органического вещества почвы лежит деятельность почвенной биоты, ведущая роль среди которой принадлежит различным группам микроорганизмов. Численность микрофлоры обусловлена как экологическими характеристиками почвы, так и количеством привнесённой энергии в агроэкосистемы за счёт использования различных форм агрохимикатов.

Исследованиями установлено, что численность и разнообразие микрофлоры обуславливались как агрометеорологическими факторами, так и наличием источников питания, а также интенсивностью агроэкосистем. В деградированных агроэкосистемах с отсутствием растительного покрова, единственным источником питания микроорганизмов является органическое вещество почвы, что привело, как указывалось ранее, к уменьшению его содержания за столетний период с 2,02 до 0,98% и изменению его качественного состояния, которое выразилось в снижении содержания лабильной части и усложнении строения молекул гумусовых веществ в следствие гидролиза боковых цепей. Это снизило доступность органического вещества для микрофлоры.

Нами установлено, что в зависимости от интенсивности функционирования агроэкосистем изменяется соотношение численности микроорганизмов, использующих минеральные или органические формы азота. В деградированных агроэкосистемах преобладала группа микроорганизмов, использующих в пищевых целях минеральный азот, в интенсивных – их численность примерно равная, а в сверхинтенсивных резко

уменьшается доля сообщества, использующего органические соединения (табл. 12).

Таблица 12.

Влияние интенсивности использования пашни на численность микроорганизмов, (КОЕ/г), в среднем за 2012-2014 гг.

Показатель	Агроэкосистемы			
	Деградированная	Экстенсивная	Интенсивная	Сверхинтенсивная
Общее число микроорганизмов, (среда МПА)	14,1x10 ⁴	28,9x10 ⁴	54,9x10 ⁴	43,2x10 ⁴
Число микроорганизмов, (среда КАА)	43,4x10 ⁴	54,5x10 ⁴	56,2x10 ⁴	79,8x10 ⁴
Коэффициент минерализации	3,08	1,88	1,02	1,85
Число аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов, % (среда Гетчинсона)	1,10	2,50	14,20	7,40

Коэффициент минерализации, отражающий направленность биохимических процессов разложения органического вещества и рассчитанный по отношению численности микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота на КАА к численности аммонифицирующих бактерий на МПА, во всех исследуемых агробиоценозах в годовом цикле имеет значение более единицы, что указывает на доминирование биохимических процессов распада органического вещества над его синтезом и приводит к снижению продуктивности и экологической устойчивости агроэкосистем.

Далее установлено, что общая численность и соотношение различных групп микроорганизмов в структуре микробного сообщества изменяется не только при длительном воздействии природных и антропогенных факторов, но и в годичном цикле на разных этапах функционирования агроэкосистем. Общая численность микроорганизмов возрастала ко времени достижения

максимальной продуктивности агробиоценозами и снижалась к этапу затухания роста и отмирания растительного покрова (табл. 13).

Таблица 13

Сезонная динамика численности микроорганизмов, использующих органические соединения (среда МПА), КОЕ/г $\times 10^4$, в 2012-2014 гг

Агроэкосистемы	Этапы функционирования агроэкосистем		
	формирование	продуцирование биомассы	затухание и отмирание
Деградированная	18,0	82,5	34,0
Экстенсивная	22,5	78,0	37,0
Интенсивная	29,0	121,0	62,5
Сверхинтенсивная	25,5	138,0	70,5
Компромиссная	28,0	94,0	54,5

При этом на начальном этапе формирования продуктивной части агроэкосистем в структуре микробного сообщества всех изучаемых агроэкосистем, кроме деградированной, численность микроорганизмов, усваивающих минеральный азот была в 2,1 - 3,1 раза выше, чем микробов, использующих органические соединения.

В деградированных агроэкосистемах, которые не получают свежее органическое вещество, на всех этапах их функционирования преобладала группа микроорганизмов, усваивающих органические соединения. Их сезонная динамика четко коррелировала с температурой почвы, ее влажностью и плотностью сложения.

В компромиссной агроэкосистеме, представленной многолетней залежью из разнообразных злаковых трав с замкнутым циклом круговорота органического вещества, в сезонной динамике изменяется лишь численность микроорганизмов, усваивающих органические соединения при стабильной численности микробов, усваивающих минеральный азот ($65,5 - 69,5 \times 10^4$ КОЕ на г почвы).

Положительное влияние биоразнообразия полевых культур, минеральных и органических удобрений проявилось в увеличении количества микроорганизмов на этапе продуцирования накопленной биомассы, что связано с большей массой поступающих пожнивно-корневых остатков и более качественным их составом. В интенсивных агроэкосистемах общая численность микроорганизмов увеличилась в 1,82 раза, а в сверхинтенсивных – в 2,18 раза (табл. 14).

Таблица 14

Динамика численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (среда КАА), КОЕ/г

Агроэкосистемы	Этапы функционирования агроэкосистем		
	Формирование	Пик продуктивности	Затухание
Деградированная	8,5	25,5	17,0
Экстенсивная	48,0	66,0	85,0
Интенсивная	90,5	94,5	72,0
Сверхинтенсивная	47,5	97,0	81,0
Компромиссная	67,5	69,5	65,5

На этапе затухания жизнедеятельности агроэкосистем общая численность микроорганизмов уменьшается, особенно сильно в 2,42 и 2,10 раза в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах.

Таким образом, степень интенсивности воздействия на агроэкосистемы различными антропогенными факторами (культивируемые растения, удобрения, мелиоранты) усиливает рост численности микрофлоры, учитываемой на МПА и КАА. При этом в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах преобладают группы микроорганизмов, усваивающих органические соединения, а в интенсивных и сверхинтенсивных – минеральные формы азота, что подтверждается расчетом коэффициента направленности биохимических процессов превращения органических соединений в сезонном цикле (рис. 19).

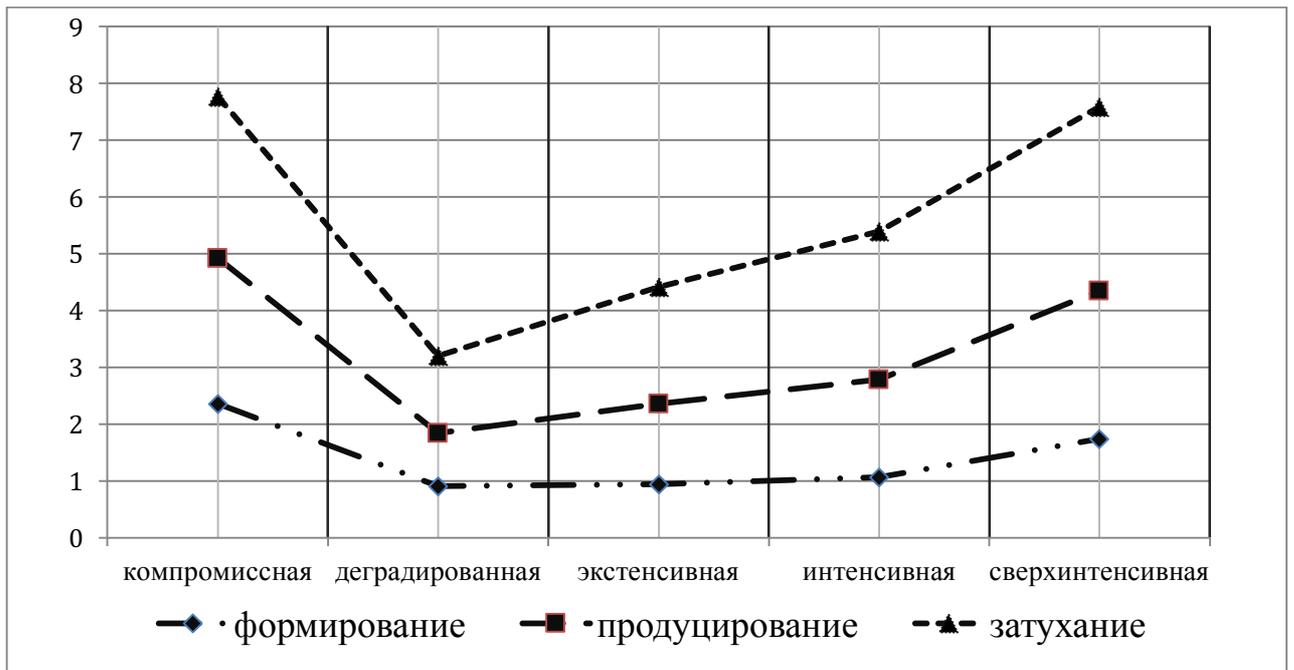


Рисунок 19. Сезонная динамика коэффициента минерализации органического вещества в разных агроэкосистемах.

Наши расчеты показали, что на этапе формирования биохимические процессы преобразования органического вещества в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах направлены на гумусонакопление, а в компромиссных и сверхинтенсивных – на слабую минерализацию. На этапе продуцирования биомассы, а также затухания и отмирания во всех изучаемых агроэкосистемах преобладают процессы минерализации, которые имеют разную интенсивность в зависимости от количества органического вещества, поступающего в агроэкосистему. Наиболее высокая степень минерализации органических соединений присуща компромиссным и сверхинтенсивным агроэкосистемам с более широким круговоротом веществ.

Интенсивность жизнедеятельности микробного сообщества целлюлозоразлагающих микроорганизмов также изменялась в зависимости как от интенсивности функционирования агроэкосистем, так и в сезонных циклах их функционирования.

Усредненные данные годового цикла определения интенсивности деятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов показали, что наиболее высоким уровнем (41 и 47%) обладают почвы интенсивных и

сверхинтенсивных агроэкосистем, а наиболее низким – деградированные (5,1%) и экстенсивные (6,8%). В сезонном цикле функционирования агробиоценозов интенсивность целлюлозоразлагающих микроорганизмов усиливалась от формирования до периода максимального продуцирования биомассы компонентами агроэкосистемы, особенно значительно в сверхинтенсивных (8,4 раза) и интенсивных (17,6 раза) (табл. 15).

Таблица 15

Динамика интенсивности деятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов (среда Гетчинсона), %

Агроэкосистемы	Этапы функционирования агроэкосистем		
	формирование	продуцирование биомассы	затухание и отмирание
Деградированная	1,95	6,05	7,30
Экстенсивная	2,35	8,50	9,45
Интенсивная	3,70	65,30	72,30
Сверхинтенсивная	6,65	56,0	59,6
Компромиссная	3,25	7,65	8,45

В агроэкосистемах меньшей интенсивности увеличение их активности было менее значимым и составило 3,1 раза в деградированных, 3,6 раза в экстенсивных и 2,35 раза в компромиссных. Такая же закономерность по интенсивности целлюлозоразлагающих микроорганизмов сохранялась до отмирания агробиоценозов.

Одним из основных экологических показателей при изучении микробиологического ценоза является метаболический коэффициент, по которому можно судить об устойчивости микробного сообщества почвы. Чем ближе он к 0, тем в более устойчивом состоянии находится биоценоз (Звягинцев Д.Г., и др., 2005).

В исследуемых агроэкосистемах коэффициент устойчивости изменялся от 0,29 в экстенсивных агробиоценозах до 0,18 в интенсивных, до 0,12 – в

сверхинтенсивных и до 0,08 – в компромиссных, что свидетельствует о более высокой экологической устойчивости последних к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды (табл. 16).

Таблица 16

Базальное (БД), субстрат-индуцированное (СИД) и метаболический коэффициент (qCO_2) в агроэкосистемах

Агроэкосистема	БД мкг С-СО ₂ /г/ч	СИД мкг С-СО ₂ /г/ч	qCO_2 мкг С-СО ₂ /мг С мик/ч
Экстенсивная	0,39± 0,03	1,36±0,25	0,29±0,05
Интенсивная	0,27±0,02	1,47±0,17	0,18±0,03
Сверхинтенсивная	0,28±0,03	2,26±0,21	0,12±0,02
Компромиссная	0,45±0,08	5,24±0,43	0,08±0,01

Таким образом, наибольшая интенсивность базального и субстрат-индуцированного дыхания, 0,45 и 5,24 мкг С-СО₂/г/час соответственно, и наименьший метаболический коэффициент (0,08) отмечены в компромиссной агроэкосистеме многолетней травянистой залежи, что обусловлено многовидовым разнообразием компонентов биоценоза, а также непрерывным процессом накопления и отмирания растительной массы.

Глава VII. Сравнительная оценка энергоемкости агроэкосистем разной интенсивности.

Биоэнергетический метод оценки состояния различных агроэкосистем позволяет проследить изменение направленности потоков антропогенной энергии в них и вычленить доленое участие разнообразных антропогенных факторов в формировании общей энергоемкости, что позволяет разработать экспериментально обоснованные нормы допустимой антропогенной нагрузки, гарантирующие сохранение экологической устойчивости агроэкосистемы в целом и всех составляющих ее элементов от разрушения.

В агроэкосистемах сливаются потоки различных видов энергии и обобщаются в системе «почва – агробиоценоз – атмосфера», где кинетическая энергия солнечных лучей преобразуется в потенциальную энергию органического вещества растений и формирует биологический круговорот биофильных элементов. Почва, выступая в агроэкосистеме как биокосное тело, требует необходимости учета энергетических потоков при постоянно протекающих почвообразовательных процессах.

Агроэкосистемы, являясь искусственными формированиями, могут продуктивно функционировать только за счет внешних затрат определенного количества антропогенной энергии.

Биоэнергетический подход предполагает анализ баланса вещества и энергии в определенной агроэкосистеме по следующим показателям: содержание энергии в почве с учетом интенсивности её использования в предшествующие годы (гумус, содержание элементов питания); ежегодное приращение энергии за счет пожнивно-корневых остатков, вносимых минеральных и органических удобрений; отчуждение энергии при минерализации органического вещества, а также с основной и побочной продукцией.

Для объективной оценки баланса энергетических потоков в агроэкосистемах нами была сформирована база данных Длительного опыта РГАУ-МСХА, в которой определены параметры накопления и распределения

органического вещества в компонентах агробиоценоза, включая товарную и дополнительную продукцию, растительные и корневые остатки; коэффициенты минерализации органического вещества почвы под выращиваемыми культурами и коэффициент гумификации органических удобрений и растительных остатков; оптимальное соотношение биологических и антропогенных ресурсов, обеспечивающее экологическую эффективность продукционных процессов и воспроизводства плодородия почв.

7.1. Энергетический эквивалент органического вещества и запасов биофильных элементов почвы

Как в естественных экосистемах, так и в агроэкосистемах происходит аккумуляция энергии в органическом веществе и биофильных элементах почвы, запасы которых изменяются в зависимости от положительного и отрицательного влияния антропогенных факторов. Наши исследования показали, что наибольшее количество энергии накапливается в запасах гумуса в почве, которое колеблется от 854,5 тыс. МДж/га в деградированных до 1835,4 тыс. МДж/га в сверхинтенсивных. Такая же закономерность наблюдается и в накоплении энергии в запасах биофильных элементов в пахотном слое почвы.

Потери энергии органического вещества и биофильных элементов как в естественных экосистемах, так и в агросистемах имеют горизонтальное и вертикальное направление.

В южно-таёжной зоне при промывном типе водного режима вектор энергетического потока направлен в большей степени вертикально вниз. Эти потери происходят за счет разложения органического вещества и миграции элементов питания вследствие протекающих биологических, физико-химических и химических процессов, которые могут использоваться почвенной биотой для построения своего тела, а в дальнейшем и корневой системой растений. Небольшая часть (5-10%) в зависимости от гранулометрического состава почвы вымывается в грунтовые воды (табл. 17).

Энергия почвы, накопленная за предшествующие годы в запасах гумуса и биофильных элементов, тыс. МДж/га

Агроэкосистемы	Гумус		Подвижный фосфор		Обменный калий		Сумма тыс. МДж/га
	Запасы т/га	Энерг. сод. тыс. МДж/га	Запасы т/га	Энерг. сод. тыс. МДж/га	Запасы т/га	Энерг. сод. тыс. МДж/га	
Деградированные	37,1	854,5	0,126	1,58	0,272	2,26	1094,4
Компромиссные	59,6	1307,8	0,571	7,19	0,261	1,91	1398,0
Экстенсивные	56,2	1292,6	0,201	2,53	0,101	0,89	1296,0
Интенсивные	59,2	1361,6	0,891	11,21	0,496	4,12	1376,9
Сверхинтенсивные	79,8	1835,4	0,882	11,11	0,348	2,89	1849,4

Наиболее низким содержанием энергии гумуса и биофильных элементов характеризуются деградированные агроэкосистемы (1094,4 тыс. МДж/га), а наиболее высоким (1849,4 тыс. МДж/га) – сверхинтенсивные.

7.2. Определение энергетических затрат на минеральные и органические удобрения и энергетического эквивалента растительных остатков

Технологические затраты энергии на подготовку и внесение минеральных и органических удобрений, а также их энергетический эквивалент берут из справочных материалов. Энергетический эквивалент удобрений может быть переведен на действующее вещество или физическую массу.

В наших исследованиях норма внесения минеральных удобрений составляла $N_{100}P_{150}K_{120}$ д.в., а навоза – 20 т/га. Энергетический эквивалент одного кг действующего вещества азотных удобрений составляет 86,8 МДж, фосфорных – 12,6, калийных – 8,3 и навоза при 70% влажности – 630 МДж/т.

Следовательно, в интенсивные и сверхинтенсивные агроэкосистемы ежегодно поступает 8,68 тыс. МДж/га с азотными, 1,89 – с фосфорными, 1,01 – с калийными и 12,6 тыс. МДж/га – с навозом. Поступление энергии с удобрениями составляет 24,18 тыс. МДж/га (табл. 18).

Таблица 18

Поступление энергии с удобрениями и пожнивно-корневыми остатками,
тыс. МДж/га

	Удобрения	Масса израсходованных материалов, кг		Энергетический эквивалент, МДж/кг		Совокупное поступление энергии, тыс. МДж/га
		Физическая	д.в.	Физическая	д.в.	
1	Азотные	345	100	27,6	86,8	8,680
2	Фосфорные	326	150	6,4	12,6	1,890
3	Калийные	200	120	20,8	8,3	0,996
4	Навоз	20	6,2	630	20,3	12,60
5	Всего с удобрениями:					24,18
6	Пожнивно-корневые остатки	Деград.	0,22	-	14,8	3,2
		Компром.	6,27	-		92,8
		Экстен.	1,23	-		18,2
		Интенсив.	2,23	-		33,0
		Сверхинт.	3,22	-		47,7

Пожнивно-корневые остатки значительно влияют на энергетический потенциал почвы, а их масса в наших исследованиях определялась способом использования пашни (монокультура, биоразнообразие растений) и продуктивностью агробиоценозов. В наших исследованиях максимальное поступление энергии (92,8 тыс. МДж/га) отмечали в компромиссных агроэкосистемах с замкнутым циклом круговорота органических веществ, а минимальное (3,2 тыс. МДж/га) – в деградированных.

7.3 Энергия, отчуждаемая из агроэкосистем в процессе её функционирования

В годовом цикле функционирования различных агроэкосистем потери энергии происходят как за счет минерализации органического вещества, так и за счет отчуждения из них с основной и побочной продукцией агрофитоценозов. В наших исследованиях ежегодные потери энергии за счет минерализации органического вещества определялись интенсивностью антропогенного воздействия на почву и были наименьшими в компромиссных агроэкосистемах с замкнутым круговоротом биофильных элементов (9,74 тыс. МДж/га). По мере усиления внешнего воздействия на агроэкосистемы они возрастали до 26-30 тыс. МДж/га в интенсивных и сверхинтенсивных, а в деградированных до 34 тыс. МДж/га (табл. 19).

Таблица 19

Ежегодное отчуждение энергии из различных агроэкосистем
(тыс. МДж/га), 2012-2015 гг.

	Агроэкосистема	Минерализация гумуса				Энергия продукции		Всего отчужд., тыс. МДж/га
		Исходн. запасы т/га	Коэф. минерал.	Потери		Основн.	Побоч.	
				т/га	МДж/га			
1	Компромиссная	59,6	0,8	0,48	9,7	-	-	9,7
2	Деградированная	37,1	4,5	1,67	33,9	-	-	33,9
3	Экстенсивная	56,2	2,2	1,24	25,2	33,0	4,7	62,9
4	Интенсивная	59,2	2,6	1,54	31,3	54,9	13,4	99,6
5	Сверхинтенсивная	79,8	1,6	1,28	26,0	62,8	15,1	103,9

Вторым фактором снижения энергоемкости агроэкосистем является отчуждение энергии с основной и побочной продукцией, рассчитанной по энергетическим эквивалентам. По нашим данным, максимальное накопление и

отчуждение энергии с продукцией отмечается в сверхинтенсивных агроэкосистемах и составляет 77,9 тыс. МДж/га, в интенсивных оно снижается на 12,3 % и в экстенсивных – на 51,6%.

Итоговые расчеты показали, что естественные травянистые биоценозы, которым присущ более расширенный круговорот органических веществ и замедленная скорость их разложения по совокупной энергоемкости превосходят агрофитоценозы различной интенсивности (табл. 20).

Таблица 20

Баланс энергопотоков в различных агроэкосистемах, тыс. МДж/га

Компоненты агроэкосистемы	Агроэкосистема				
	Компромис.	Деградирован.	Экстенсивн.	Интенсивн.	Сверхинтенс.
<i>И. Накопленное за 102 года в запасах:</i>					
гумуса	1307,8	854,5	1292,6	1361,6	1835,4
подвижного фосфора	7,2	1,6	2,5	11,2	11,1
обменного калия	2,3	1,9	0,9	4,1	2,9
<i>Всего</i>	1317,3	858,0	1296,0	1376,9	1849,4
<i>II. Ежегодное поступление с:</i>					
удобрениями	-	-	12,6	24,2	24,2
растительными остатками	92,8	3,2	18,2	33,0	47,7
<i>Всего</i>	1410,1	861,2	1326,8	1434,1	1921,3
<i>III. Ежегодное отчуждение с:</i>					
минерализацией гумуса	9,7	33,9	25,2	31,3	26,0
основной продукцией	-	-	33,0	54,9	62,8
побочной продукцией	-	-	4,7	13,4	15,1
<i>Всего</i>	9,7	33,9	62,9	99,6	103,9
Энергетический баланс	<u>1400,4</u> 100	<u>827,3</u> 58	<u>1263,9</u> 90	<u>1334,5</u> 95	<u>1817,4</u> 123

Наибольшие потери энергии за 102-летний период (42%) отмечаются в деградированной и экстенсивной (10%) агроэкосистеме. Дополнительное поступление энергии с минеральными и органическими удобрениями повышает энергоёмкость почвы интенсивно используемого агроландшафта до уровня компромиссного, а сверхинтенсивного – увеличивает её на 23%.

В общей структуре энергоёмкости различных агробиоценозов 90-95% приходится на накопленную в предшествующие годы энергию органического вещества, 2,6-9,1% – на энергию подвижных форм фосфора, 0,6-2,6% – обменного калия, 0,8-1,0% – на энергию ежегодно вносимых удобрений, 1,1-3,0% – на растительные остатки и 2,8-4,1% – на накопленную агрофитоценозом биомассу растений.

С усилением уровня антропогенного воздействия снижается энергетический эквивалент участия органического вещества с 91,7% в деградированных, до 84,8% в интенсивных агробиоценозах, при этом вырастает доля участия энергии биофильных элементов в 3,2-3,6 раза.

Выводы

1. Длительное природное и антропогенное воздействие разной степени интенсивности на почвенный покров снижает продуктивность и экологическую устойчивость различных агроэкосистем по сравнению с естественными биогеоценозами. При этом динамика содержания углерода в деградированных агроландшафтах имеет ярко выраженный убывающий характер в первые 25-30 лет, а в дальнейшем сглаживается, достигая экологического равновесия, присущего конкретному агробиоценозу (0,6-0,8% $C_{орг}$).
2. Систематическое обогащение почвы деградированных и экстенсивных агроэкосистем органическим веществом в дозе 14,6 т/га навоза ежегодно замедляет процессы минерализации, обеспечивая стабилизацию содержания углерода на уровне 1,23 – 1,24% $C_{орг}$, что соответствует его содержанию в компромиссных агроэкосистемах, представленных многолетними травянистыми биоценозами.
3. В компромиссных экосистемах с замкнутым круговоротом биофильных элементов содержание органического вещества стабилизируется на уровне: 1,96-2,26%, в экстенсивных 1,82-1,87%, в интенсивных и сверхинтенсивных снижается до – 1,52-1,60%, что связано с усилением процессов минерализации и более высокой энергией, отчуждаемой с агроландшафта.
4. Усиление уровня антропогенного воздействия на агроландшафт за счет расширения биоразнообразия культур изменяет не только массу органического вещества растительных остатков, но и направленность биохимических процессов их превращения в сторону минерализации, что в экстенсивных агроэкосистемах приводит к значительным потерям запасов гумуса (3,8-5,7 т/га), в интенсивных – обеспечивает их стабилизацию с колебаниями по годам ($\pm 1,5$ т/га), а в сверхинтенсивных – они из года в год возрастают.

5. Длительное использование пахотных земель влияет на параметры качественных характеристик состояния органических соединений дерново-подзолистой почвы, изменяя соотношение центральной и периферической части гуминовых кислот. Наибольшей степенью участия центральной группировки в построении характеризуются гуминовые кислоты деградированных экосистем ($Z=0,52$), а наименьшей – интенсивных ($Z=2,67$) и сверхинтенсивных ($Z=3,01$).
6. В компромиссных и экстенсивных агроэкосистемах распределение гумуса и биофильных элементов в верхней части почвенного профиля носит резко выраженный по глубине гетерогенный характер, а в сверхинтенсивных – близкий к гомогенному, что свидетельствует о вертикальной сезонной миграции лабильной части органического вещества и элементов питания из корнеобитаемой зоны в нижележащие горизонты. Запасы гумуса в деградированных агроэкосистемах за 102 года снизились в метровом слое на 34,3 т/га, в экстенсивных – на 10,5 т/га и в сверхинтенсивных на 2,8 т/га по сравнению с компромиссными.
7. При низком уровне обеспечения энергетическим материалом в деградированных и экстенсивных агроэкосистемах численность микроорганизмов, усваивающих как органические, так и минеральные формы азота, уменьшается в 1,3 -1,5 раза по сравнению с интенсивными. Дополнительное обогащение почвы органическим веществом за счет внесения навоза (17,8 т/га) увеличивает их количество 2,3 раза, что повышает энергетическую устойчивость сверхинтенсивных агроэкосистем в 2,42 раза по сравнению с экстенсивными и в 1,5 раза в сравнении с интенсивными.
8. Интенсивность жизнедеятельности микробного сообщества целлюлозоразлагающих микроорганизмов тесно коррелировала с массой органического вещества, поступающего в агроэкосистемы с навозом и пожнивно-корневыми остатками, и была наиболее высокой в интенсивных (41%) и сверхинтенсивных (47%) агробиоценозах. При резком уменьшении

массы поступающей органики этот показатель снижается до 5,1% в деградированных и 6,8% в экстенсивных агроэкосистемах.

9. Длительное, более 100 лет, экстенсивное использование пахотных земель снижают общую энергоемкость различных агроэкосистем на 12-43% по сравнению с природными травянистыми биоценозами. Интенсивное и сверхинтенсивное воздействие на агроландшафт технологическими приемами повышает энергоемкость агроэкосистем на 10-30%, при этом доля накопленной энергии в гумусе составляет 80-82%, запасах биофильных элементов 10,8%, антропогенных факторах 2,0% и отчуждаемой энергии 4,5-6,5%.

Список литературы

1. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. – Новосибирск: Сиб. НИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва, 2002. – 388 с.
2. Авдонин, Н.С. Повышение плодородия почв / Н.С. Авдонин. – М.: Сельхозгиз, 1969. - 303 с.
3. Ананьева, Н.Д. Оценка способности почвы к самоочищению от пестицидов и ее устойчивости к антропогенным воздействиям / Н.Д. Ананьева // Агро XXI. – 2003/2004. - N 7/12. - С. 155-158.
4. Ананьева, Н.Д. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) / Н.Д. Ананьева, Е.А. Сусьян, И.М. Рыжова, Е.О. Бочарникова, Е.В. Стольникова // Почвоведение. – 2009. – N 9. - С. 1108-1116.
5. Аристовская, Т.В. Микробиологические аспекты плодородия / Т.В. Аристовская // Почвоведение. – 1988. – N 9. - С. 53-63.
6. Аргунова, В.А. Исследование форм и миграции фосфора в дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Аргунова Валентина Андреевна. - М.: ТСХА, 1974. – 19 с.
7. Афонин, М.И. Результаты научно-исследовательской работы по льну-долгунцу в Белорусской ССР / М.И. Афонин // В кн. : Наука – льноводству. Труды ВНИИЛ. - Торжок. – 1970. - Вып. VIII. - С. 57-72.
8. Афонин, М.И. Справочник льновода / М.И. Афонин. – Минск: Урожай, 1973. – С. 61-65.
9. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. - 287 с.
10. Ахметов, Ш.И. Средства химизации и биоэнергетическая эффективность агрофитоценозов : учеб. пособие / Ш. И. Ахметов, Н. В. Смолин. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1997. – 52 с.
11. Аюпов, З.З. Динамика гумуса в интенсивном земледелии / З.З. Аюпов, М.Б. Амиров. - Уфа, 1998. - С. 122-127.

12. Банников, В.Н. Изменение свойств дерново-подзолистых почв Московской области при применении минеральных удобрений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Банников Владимир Николаевич. - М., 2003. - 18с.
13. Белолипский, В. А. Концептуальные основы экологически безопасного земледелия / В.А. Белолипский, Л.Д. Форощук // Аграр.наука. – 1995. – N 5. - С. 36-38.
14. Берг, Л.Д. Параметры минерального питания, эффективность удобрений и урожай яровой пшеницы в условиях интенсивной технологии в Кустанайской области. Интенсив. технология возделывания зерн. культур в зоне освоения целины / Л.Д. Берг, А.И. Брушков, М.В. Попова, Л.А. Кроненберг. – М.: Географиздат, 1988. - С. 209-229.
15. Будыко, М. И. Эволюция биосферы / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 488 с.
16. Булаткин, Г. А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов / Г.А. Булаткин. – Пушкино: Ин-т почвоведения и фотосинтеза, 1986. - 209 с.
17. Булаткин, Г. А. Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем / Г.А. Булаткин. – М.: НИА-Природа, 2008. – 366 с.
18. Бурлакова, Л. М. Стратегическое управление земельными ресурсами в системе управления устойчивым развитием аграрного природопользования / Л.М. Бурлакова // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. – 2007. – N 10. - С. 5-9.
19. Вальков, В. Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений / В.Ф. Вальков. – М.: Агропромиздат, 1986. - 207 с.
20. Вербицкая, С. А. Пути повышения эффективности отрасли льноводства в БССР / С.А. Вербицкая, З.М. Ильина. – Минск: БелНИИ ТЭИСХ, 1978. – 39 с.
21. Витковская, С. Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов / С.Е. Витковская. – СПб.: АФИ, 2011. – 52 с.

22. Витковская, С. Е. Изменение строения профиля и агрохимических параметров дерново-подзолистой почвы при окультуривании / С.Е. Витковская, А.И. Иванов, П.А. Филлипов // Агрохимия. –2014. – N 7. – С. 9-16.
23. Веденяпина, Н. С. Динамика биологической активности почвы в зависимости от ее обработки / Н.С. Веденяпина, Л.А. Халимова, И.И. Лисниченко, Е.К. Муковникова // Сб. науч. тр. - Волгоградский СХИ, 1985. – Т. 90. - С. 57-61.
24. Возбуцкая, А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбуцкая. – М.: Высш. шк., 1964. – 397 с.
25. Володин, В.М. Агроэкологические принципы построения систем земледелия. Расшир. воспроизводство плодородия почв в интенсив. земледелии / В.М. Володин. – М.: ВАСХНИЛ, 1988. - С. 18-24.
26. Володин, В.М. Ландшафтные системы земледелия: Пробл.и пути освоения. Вопр. ландшафт. земледелия и животноводства / В.М. Володин, А.П. Щербаков. - Владикавказ, 1995. - С. 13-26.
27. Володин, В.М. Конструирование экологически устойчивых агроэкосистем / В.М. Володин, И.П. Здоровцев // Земледелие. – 1999. – N 1. - С. 18 – 20.
28. Володин, В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв [Оценка потенциального и реального плодородия и систем земледелия на биоэнергетической основе] / В. М. Володин. – Москва: ЦИНАО, 2000. - 334 с.
29. Вражнов, А.В. Разработка ландшафтно-адаптивных систем земледелия в Челябинской области. Природ.-ресурс.и экон.потенциал горн.и предгорн.регионов России и принципы создания "устойчивых" агроландшафтов / А.В. Вражнов, А.А. Агеев, Л.П. Шаталина. - Владикавказ, 1996. - С. 62-63.
30. Ганжара, Н.Ф. Содержание, состав и свойства лабильных форм органических веществ в почвах. Актуал. вопр. агроном. почвоведения / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, А.В. Шевченко, Хамиду Диаби. – М.: ТСХА, 1988. - С. 50-56.
31. Геннадиев, А.Н. Почвоведение и почвоохранная политика за рубежом / А.Н. Геннадиев, В.О. Таргульян, Т.А. Соколова, Е.В. Шеин // Почвоведение. – 2005. – N 8. - С. 924-929.

32. Глазовская, М.А. Методология эколого-геохимической оценки устойчивости почв как компонента ландшафта / М.А. Глазовская // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1997. – N 3. - С. 18-30.
33. Глущенко, Л.Т. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожай и качество льна-долгунца в условиях малого Полесья УССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Глущенко Лариса Тимофеевна. – Дубляны, 1969. – 23 с.
34. Гогмачадзе, Г.Д. Изменение параметров плодородия длительно используемых дерново-подзолистых пахотных почв / Г.Д. Гогмачадзе, Н.С. Матюк, В.Д. Полин, Е.В. Коваленко // АгроЭкоИнфо. – 2015. – N 1. http://agroecoinfo.narod.ru/jornal/СТАТУИ/2015/1/st_07.doc
35. Голомзин, Р.С. Плодородие почвы и продуктивность агробиоценозов в полевых севооборотах лесостепи Поволжья: монография / Р.С. Голомзин, В.И. Морозов, М.И. Подсевалов, С.В. Шайкин, А.В. Карпов, Е.А. Петухов. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012. – 98 с.
36. Гомонова, Н.Ф. Структура комплекса актиномицетов дерново-подзолистой почвы в условиях длительного применения минеральных удобрений, извести и навоза / Н.Ф. Гомонова, Д.Г. Звягинцев, Л.Е. Сорокина, Г.М. Зенова // Вестн. Моск. ун-та. – М., 1991. – Т. 1. - С. 47-53.
37. Грачева, Н.П. Биологическая активность почвы под различными культурами севооборота и ее связь с урожайностью. Науч. основы повышения урожайности зерновых культур в Краснодарском крае / Н.П. Грачева, Ю.Р. Долгих, Т.М. Мирошникова. – Краснодар, 1986. – С. 37-41.
38. Гудкова, Н.П. Лен-долгунец в севооборотах южной части северо-западного района России. Земледелие на рубеже XXI века. Сборник докладов Международной научной конференции / Н.П. Гудкова. – М.: Изд-во МСХА, 2003. – С. 264-267.
39. Девятова, Т.А. Агрогенная динамика физико-химических и агрохимических свойств черноземов / Т.А. Девятова // Плодородие. – 2007. – N 1. - С. 6-7.

40. Дедов, А.В. Основные приемы повышения плодородия черноземов / А.В. Дедов // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. – 2011. – N 4. - С. 9-13.
41. Демиденко, Т.Т. Из области питания и обмена веществ у льна в связи со льноутомлением питательного субстрата / Т.Т. Демиденко // Научно-агрономический журнал. – М.: Гостехиздат, 1928. – N 12. – С. 8-14.
42. Добровольский, Г.В. Экологические функции почвы: учеб. пособие / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 137 с.
43. Докучаев, В.В. Избранные сочинения. В трех томах : Труды по геологии и сельскому хозяйству / В.В. Докучаев. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. – 1949. – Т. 2.
44. Донец, Н.В. Концепция устойчивого развития и создание системы рационального природопользования на Российском Дальнем Востоке (ЕРТ/PFF проект) / Н.В. Донец. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – С. 93-111.
45. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта : (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. - Изд. 6-е, стер. Москва: Альянс, 2011. - 351 с.
46. Егоров, В.В. Освоение засоленных орошаемых почв и охрана почвенного покрова : сборник / отв. ред. В.В. Егоров. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1980 (вып. дан. 1981). - 119 с.
47. Егоров, В.Г. Агроэкологический мониторинг пахотных земель и растениеводческой продукции в условиях Чувашской Республики / В.Г. Егоров, В.М. Мутиков, Г.Н. Янеев, Л.Н. Михайлов, Т.А. Ильина, О.А. Васильев. – Чебоксары: РГУП «ИПК «Чувашия», 2002. – 123 с.
48. Ефимов, В.Н. Система применения удобрений / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, Г.И. Сеницин. – М.: Колос, 1984. – 270 с.
49. Жуков, А.И. Анализ зависимости урожая зерновых культур от агрохимических свойств почвы по отчётным данным колхозов и совхозов / А.И. Жуков // Химия в сельском хозяйстве. – 1978. – N 12. – С. 30-33.
50. Жученко, А.А. Адаптивная стратегия в интенсивном растениеводстве / А.А. Жученко // Природа. – 1982. – N 12. – С. 100-104.

51. Жученко, А.А. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства / А.А. Жученко // Доклады Российской академии с.-х. наук. – 1999. – N 2. – С. 5-11.
52. Жученко, А.А. Экологическая генетика культурных растений / А.А. Жученко. – Кишинёв: Штиинца, 1990. – 586 с.
53. Заварзин, Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии [Микроорганизмы водных сред, воздуха и почвы] / Г.А. Заварзин. – М.: Наука, 2004. – 348 с.
54. Заварзин, Г.А. Россия в условиях глобальных изменений окружающей среды и климата. Пробл. окружающей среды и природ. ресурсов: обзор. информ. / Г.А. Заварзин, Ю.А. Израэль, С.А. Пегов, Н.Л. Добрецов, А.В. Николаев, Г.С. Голицын // ВИНТИ. – 1995. – Вып. 7. - С. 1-52.
55. Захаренко, А.В. Теоретические и технологические основы формирования высокопродуктивных агроландшафтов / А.В. Захаренко // Земледелие. – 2004. – N 4. – С. 16-19.
56. Звягинцев, Д.Г. Микроорганизмы и охрана почв / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1989. - 206 с.
57. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. - 256 с.
58. Звягинцев, Д.Г. Успехи и современные проблемы почвенной микробиологии / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1987. – Т. 10. - С. 44-52.
59. Иванов, В.П. Растительные выделения и их значения в жизни фитоценозов / В.П. Звягинцев. – М.: Наука, 1973. - 295 с.
60. Казаков, Г.И. Влияние основной обработки почвы на трансформацию органических остатков и содержание гумуса. Интенсификация использ. удобрений и хим. средств защиты растений в земледелии / Г.И. Казаков, М.Ф. Мухутдинов. – Ульяновск, 1989. - С. 46-50.
61. Канивец, В.И. Поверхностное оглеение в почвах с текстурно дифференцированным профилем / В.И. Канивец // Почвоведение. – 1987. – Т. 11. - С. 118-126.

62. Кидин, В.В. Действие рыхления и аэрации почвы разных горизонтов на ее биологическую активность, аммонификацию и денитрификацию / В.В. Кидин, В.В. Зенкина // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – N 1. - С. 44-50.
63. Ковальский, В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: избранные труды / В. В. Ковальский. – М.: Россельхозакадемия, 2009. - 356 с.
64. Ковда, В.А. Биосфера, почвы и их использование: доклад Президента Междунар. о-ва почвоведов / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
65. Кононова, М.М. Химический демонстрационный эксперимент / М.А. Иванова, М.А. Кононова; под ред. С.А. Щукарева. – М.: Высшая школа, 1969. - 248 с.
66. Коринец, В.В. Энергосберегающие пути в растениеводстве: Системно-энерг. подход / В.В. Коринец. – Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1988. - 64 с.
67. Коринец, В.В. Эффективность энергоциклов земледелия. Повышение эффективности использ. мелиорир. земель в Волгогр. обл. / В.В. Коринец, В.В. Захаров. – Волгоград, 1988. - С. 111-120.
68. Коринец, В.В. Системно-энергетический подход к теоретическим основам севооборотов / В.В. Коринец // Земледелие. – 1991. – Т. 2. - С. 46-49.
69. Косицына, Е.В. Структурно-логические модели как основа для улучшения экологического образования и природоохранной деятельности. Зеленая кн. Арханг. обл. / Е.В. Косицына, Е.И. Горшкова. – Архангельск, 1992. - С. 113-118.
70. Костычев, П.А. Почвы Черноземной области России: их происхождение, состав и свойства / П.А. Костычев. – Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. – 233 с.
71. Костычев, П.А. Почва, её обработка и удобрение : Практ. руководство / Сост. П.А. Костычев; С предисл. проф. Моск. СХИ Д.Н. Прянишникова. - 2.изд. М.: Типо-лит. Кушнерев, 1905. – VIII. – 316 с.
72. Кошелева, Л.Л. Физиология питания и продуктивности льна-долгунца / Л.Л. Кошелева. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 200 с.

73. Кукреш, С.П. Агрохимические приемы формирования высоких урожаев льна-долгунца на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Могилевской области / С.П. Кукреш С.П., С.Ф. Ходянкова. – Горки, 1998. – 128 с.
74. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев : Достижения науки и техники - в производство / Т.Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. - 272 с.
75. Курчева, Г.Ф. Роль почвенных животных в разложении и гумификации растительных остатков / Г.Ф. Курчева, отв. ред. М.С. Гиляров. – Москва: Наука, 1971. - 156 с.
76. Лобков, В.Т. Биоразнообразие в агроэкосистемах как фактор оптимизации биологической активности почвы / В.Т. Лобков // Почвоведение. – 1999. – N 6. - С. 732-737.
77. Лопачев, Н.А. Теоретические основы биологизации земледелия / Н.А. Лопачев, В.Н. Наумкин, В.А. Петров // Агрхим. вестн. – 1998. – N 5-6. - С. 32-33.
78. Лошаков, В.Г. Накопление органического вещества в почвах при бесменном возделывании зернофуражных культур и в зерновых специализированных севооборотах / В.Г. Лошаков, Ф. Элмер, Ю.Н. Синих // Изв.Тимирязев.с.-х.акад. – 1997. – Вып.2. - С. 18 - 26.
79. Лыков, А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне / А.М. Лыков. – М.: Россельхозиздат, 1982. - 143 с.
80. Лыков, А.М. Гумус и плодородие почвы / А.М. Лыков. – М.: Московский рабочий, 1985. - 192 с.
81. Лыков, А.М. Органическое вещество как решающий фактор плодородия дерново-подзолистых почв в интенсивном земледелии: пробл. лекция / А.М. Лыков. – М.: Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева, 1981. - 22 с.
82. Лыков, А.М. Органическое вещество почвы как важнейшее звено продукционного процесса в современных системах земледелия / А.М. Лыков // Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. – С. 23-32.

83. Майсямова, Д.Р. Влияние способа обработки на микробиологический состав серых лесных почв. Материалы науч. чтений, посвящ.100-летию закладки первых полевых опытов И.И. Жилинским / Д.Р. Майсямова. - Новосибирск, 1997. - С. 107 - 109.
84. Макаров, Б.А. Улучшение и использование естественных горных сенокосов. Пути интенсификации кормопроизводства и пастбищ. хоз-ва Казахстана / Б.А. Макаров. – Алма-Ата, 1989. - С. 93-107.
85. Мамилов, А.Ш. Влияние трудногидролизуемых источников углерода на динамику микробной биомассы и дыхание почвы / А.Ш. Мамилов, Ш.З. Мамилов, Д.Г. Звягинцев // Вестн. Моск. ун-та. – 1999. – N 1. - С. 51-54.
86. Мамина, Г.А. Биологическая активность почвы и урожайность растений при антропогенных воздействиях в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Биодинамика почв / Г.А. Мамина, А.М. Беляков, Н.С. Веденяпина. – Таллин, 1988. - С. 59.
87. Масютенко, Н.П. Структура чернозема типичного и содержание органического углерода и лабильных гумусовых веществ в почвенных агрегатах / Н.П. Масютенко, Т.И. Панкова, Б.М. Когут, О.В. Киселева, Е.В. Дубовик, Г.П. Глазунов. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2008. - 34 с.
88. Мерецкая, Е.Ф. Влияние симбиоза микрофлоры почвы и растений на почвенное плодородие/ Е.Ф. Мерецкая. – М.: Изд-во «Современные тетради», 2006. – С. 122-126.
89. Минеев, В.Г. Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений в разных почвенно-климатических условиях СССР на свойства почв / В.Г. Минеев, Э.А. Бабарина, Л.М. Жукова, Л.К. Шевцова // Бюл. ВИАУ. – 1977. – N 35. – С. 29-38.
90. Мирчинк, Т.Г. Почвенная микология / Т.Г. Мирчинк. – М.: Изд-во МГУ. – 1988. – 220 с.
91. Мишустин, Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1975. - 107 с.

92. Муртазина, С.Г. изменение энергopotенциала органических веществ серой лесной почвы в длительных опытах с удобрениями. Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: материалы всероссийской науч.- практ. конф. / С.Г. Муртазина. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. – Т II. – С. 212-214.
93. Наплекова, Н.Н. Влияние внешних факторов на антагонизм бактерий в ризосфере льна к фитопатогенным грибам / Н.Н. Наплекова, Ю.В. Чудинова // Вестник КрасГАУ. – 2009. – Вып.5. – С. 62-65.
94. Небольсин, А.Н. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов) / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. – СПб.: ЛНИИСЗ РАСХН, 2010. – 254 с.
95. Ничипорович, А.А. Фотосинтез, почва и единая система питания и продуктивности растений. Параметры и модели плодородия почв и продуктивности агроценозов / А.А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1985. - с. 5-28.
96. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии. Фотосинтез и продукционный процесс / А.А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1988. - С. 5-28.
97. Новиков, М.Н. Регулирование фосфорного и калийного режима дерново-подзолистой супесчаной почвы / М.Н. Новиков, Э.А. Бабарина, Л.В. Никитина, Н.К. Панкова, С.М. Лукин // Агрoхимия. – 1990. – Т. 5. - С. 21-26.
98. Ознобихин, В.И. Некоторые общие вопросы рационального использования почвенного покрова. Мониторинг лесных и сельскохозяйственных земель Дальнего Востока: матер. науч.-практич. конф. / В.И. Ознобихин. – Владивосток: ДВО ДОП, 1997. – С. 190-191.
99. Ознобихин, В.И. Некоторые аспекты оценки почв в системе рационального природопользования / Геоэкологические проблемы почвоведения и оценки земель: материалы науч.-практич. конф. / В.И. Ознобихин. – Барнаул: АГАУ, 2003. – С. 125-128.

100. Ознобихин, В.И. Почвенный покров в системе рационального природопользования / Тез. докл. III съезда Докучаевского общества почвоведов / В.И. Ознобихин. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2000. – Кн. 3. – С. 163-164.
101. Орлов, А.П. Новый способ послепосевного прикатывания озимых культур / А.П. Орлов, С.В. Валяйкин, С.А. Молгачев, О.Н. Суслов, В.Н. Тупицын, Н.В. Тупицын, О.Г. Зейнетдинова // Аграр.наука. – 2002. – N 2. - С. 23.
102. Орлов, Д.С. Теоретическое обоснование организации почвенного мониторинга как составной части агроэкологического мониторинга в современной земледелии. Экол. пробл. химизации в интенсив. Земледелии / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина, Г.В. Добровольский. – М.: Наука, 1990. - С. 109-114.
103. Павлова, О.Ю. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой песчаной почвы при окультуривании и последующем исключении из хозяйственного оборота / О.Ю. Павлова, Д.В. Чернов, А.С. Фомина, А.В. Литвинович // Агрохимия. – 2004. – N 8. – С. 13-19.
104. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников. – М.: Колос, 1977. – 416 с.
105. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 511 с.
106. Пахненко, О.А. Образование и восстановление закиси азота почвенными микроскопическими грибами / О.А. Пахненко, А.В. Кураков, Н.В. Костина, М.М. Умаров // Почвоведение. – 1999. – N 2. - С. 235-240.
107. Пилюян, Г.О. О количественной взаимосвязи кристаллохимических и термических свойств каолинита / Г.О. Пилюян, Н.С. Бортников, А.П. Жухлистов, В.М. Новиков, А.Д. Савко, А.Г. Беркета // Докл. АН/РАН. – 2009. – N 4. - С. 515-518.
108. Пироговский, Г.В. Влияние различных систем удобрения на изменение минеральной части дерново-подзолистой песчаной почвы / Г.В. Пироговский, С.Д. Астапова, А.Ф. Санько // Почвоведение. – 2004. – №1. – С. 92-103.

109. Пономарева, В.В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова, отв. ред. Орлов. – Ленинград: Наука, 1980. - 222 с.
110. Пономарева, В.В. Теория подзолообразовательного процесса / В.В. Пономарева. – Москва: Наука, 1964. – 380 с.
111. Прокошев, В.Н. Повышение плодородия песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа / В.Н. Прокошев. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 429 с.
112. Пронько, В.В. Биологическая активность южного чернозема Поволжья в ландшафтной системе земледелия. Материалы науч. - практ. конф. «Земледелие в XXI в. пробл. и пути их решения» / В.В. Пронько, Г.К. Соловова, Н.Ф. Климова, И.В. Назаров, Т.М. Ярошенко. – Курск: КГУ, 2001. - С. 237-243.
113. Прудникова, А.Г. К вопросу о допустимом техногенном воздействии на агроценозы на дерново-подзолистых почвах / А.Г. Прудникова // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Агротехнологии XXI века». М.: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – С. 29-35.
114. Русакова, И.В. Альтернативная система земледелия с применением растительных остатков на серых лесных почвах Владимирского Ополя. Совершенствование технол. и техн. обеспечения пр-ва и применения орган. удобрений / И.В. Русакова, Н.А. Кулинский, А.А. Мосалева. - Владимир, 2003. - С. 133-137.
115. Рыбакова, В.А. Современные методы определения фосфора и подвижный фосфор в почвах / В.А. Рыбакова, Е.М. Шафирян, А.И. Карпучин. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1981. – 47 с.
116. Савич, В.И. Баланс вещества и энергии в пахотной дерново-подзолистой почве / В.И. Савич, Е.В. Трубицина, А.Г. Замаев, В.И. Кобзаренко, Ю.А. Духанин, Ю.Н. Никольский // Изв.Тимирязев.с.-х.акад. – 2005. – N 4. - С. 11 - 23.
117. Сидоренко, О.Д. Оценка окислительно-восстановительного состояния в системе почва-растений : методич. указания для студентов СНО / О.Д. Сидоренко, Е.В. Трубицина, Н.Г. Улько, В.И. Савич. – М.: ТСХА, 1984. - 93 с.

118. Сербентавичюс, А.И. Роль удобрений в окультуривании песчаных почв / А.И. Сербентавичюс // Агрохимия. – 1987. – № 11. – С. 78-84.
119. Серета, Н.А. Оценка изменения плодородия почв при сельскохозяйственном использовании на основе сезонной и многолетней динамики их свойств. Устойчивость почв к естеств. и антропог. воздействиям / Н.А. Серета. – М.: Мир, 2002. - С. 102-103.
120. Скроманс, А.А. Энергетическая оценка удобрений / А.А. Скроманс, П.И. Анспок, Р.Я. Тимбаре, И.И. Балашова // Земледелие. – 1988. - № 11. - С. 58 - 60.
121. Снакин, В.В. Толковый словарь по охране природы. Рос. экол. Федер. информ. агентство / В.В. Снакин, Ю.Г. Пузаченко, С.В. Макаров, Н.Г. Добрынина, И.О. Алябина, П.П. Кречетов, А.Ю. Пузаченко, Т.В. Гусева, В.В. Снакина. – М.: Экология, 1995. - 191 с.
122. Судаков, В.Д. Баланс фосфора и калия в земледелии Брестской области за 35 лет / В.Д. Судаков // Актуальные проблемы плодородия почв в современных условиях. Минск. – 2001. – Кн 2. – С. 282-285.
123. Тихвинский, С.Ф. Приемы повышения урожайности льна-долгунца в качестве льнопродукции: обзор. информ / С.Ф. Тихвинский, В.Я. Тихомирова. – М.: ВНИИ ТЭИСХ, 1977. – 56 с.
124. Тейт, Р. Органическое вещество почвы : пер. с англ. / Р. Тейт, Л. Роберт. – М.: Мир, 1991. - 399 с.
125. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии: издание второе, переработанное и дополненное / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Колос, 1979. - 216 с.
126. Трифонова, Т.А. Использование информационно-аналитической системы в почвенно-экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, Д.А. Будаков // Почвоведение. – 2007. – N 1. - С. 23-30.
127. Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 320 с.

128. Тюрюканов, А.Н. Почвы – природный базис человечества / А.Н. Тюрюканов, В.М. Федоров // Вестник с.-х. науки. – 1990. – №7. – С. 42-50.
129. Фокин, А.Д. О роли органического вещества почв в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем / А.Д. Фокин // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 40-45.
130. Фокин, А.Д. Состав органического вещества, состояние полуторных окислов и фосфатов в водах, дренирующих подзолистые почвы / А.Д. Фокин, В.А. Аргунова, И.С. Кауричев // Изв. ТСХА. – 1973. – Вып. 2. – С. 99-105.
131. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев; отв. ред. Р.Г. Минибаев. – М.: Наука, 1982. – 203 с.
132. Цыганова, Н.А. Особенности формирования плодородия легких дерново-подзолистых почв при окультуривании и длительном применении различных систем удобрения в условиях Северо-Запада РФ: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 6.00.00 / Цыганова Надежда Александровна. – Пушкин, 2007. – 39 с.
133. Черкасов, Г.Н. Проблемы почвенных ресурсов центрального Черноземья. Материалы науч - практ конф. / Г.Н. Черкасов, Н.П. Масютенко, О.Г. Чуян. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2010. – С. 3-6.
134. Черников, В.А. Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев А.В.; под ред. В.А. Черникова и А.С. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
135. Чертов, О.Г. Об оценке экологического потенциала почв / О.Г. Чертов, В.К. Владимирова, С.Н. Чуков, М.А. Надпорожская, Н.В. Ковш, И.Н. Лапшина // Вестн. С.-Петербург. ун-та. – 1992. – Вып.4. – С. 91-97.
136. Шевцова, Л.К. Влияние длительного применения удобрений на способность органического углерода почв к минерализации / Л.К. Шевцова, В.А. Романенков, С.О. Канзыва, М.З. Шаов // Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. – С. 43-51.
137. Штабель, Ю.П. Агрофитоценоз льна-долгунца. Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / Ю.П. Штабель Ю.П., Н.Н. Попеляева // V

Международная научно-практическая конференция. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – Кн. 2. – С. 414-416.

138. Шушкевич, Н.И. Разработка и апробация методов ранней биологической диагностики состояния почвы / Н.И. Шушкевич, М.А. Мазиров, А.А. Корчагин, О.М. Селивестрова, Н.В. Верховцева // Актуальные вопросы экологии и природопользования: сборник материалов II-й международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2011. – С. 69-71.

139. Щербаков, А.П. Агроэкологический биомониторинг: влияние удобрений на структуру комплекса микромицетов Чернозема / А.П. Щербаков, И.Д. Свистова, Н.В. Малыгина // Вестник ВГУ. – 2001. – С. 168-171.

140. Щербаков, А.П. Новые подходы к развитию фундаментальных исследований в земледелии / А.П. Щербаков, В.М. Володин // Земледелие. – 1989. – № 9. – С. 33 - 40.

141. Щербаков, А.П. Характеристика биологической активности черноземов Центрально-Черноземной зоны / А.П. Щербаков, Н.Я. Кутовая, Т.А. Девятова // Агроэкологические принципы земледелия. – М.: Колос, 1993. – С. 197-218.

142. Храмцов, Л.И. К концепции ландшафтного земледелия / Л.И. Храмцов // Земледелие. – 1996. – № 1. – С. 13-16.

143. Юркин, О.Н. Потери элементов питания в земледелии и охрана окружающей среды / О.Н. Юркин, Е.Н. Благовещенская, Н.Б. Макаров, Е.Л. Пименов. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1987. – 54 с.

144. Юршис, И.А. Влияние глубины и способа внесения минеральных удобрений под лен / И.А. Юршис // Земледелие и растениеводство в БССР. Сб. науч. тр. БелНИИЗ. – Минск, 1985. – Вып. 29. – С. 41-44.

145. Allison, F.S. Advances in Agronomy (Австралия). J. Plant Nutrit / F.S. Allison. – 1966, Vol. 18. – №4. – P. 219-258.

146. Alvarez, R. Mineralizacion de carbono en un suelo agricola: relacion entre la disponibilidad del substrato y la biomasa microbiana / R. Alvarez, P.E. Daniel, O.J. Santanatoglia, R. Garcia // Agrochimica. – 1993. – Vol. 37. – N 1/2. - P. 55-62.

147. Blaizot, F. les perspectives et les possibilités d'action. C. F. Arad. Agr. / F. Blaizot. – France, 1980. – V.66. – No 10. – p. 913-921.
148. Buchanan, M. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus, and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems / M. Buchanan, L.D. King // Biol. Fertil. Soils. – 1992. – Y. 13. – P. 211-217.
149. Chapin, F.S. Plant functional types as predictors of transient responses of arctic vegetation to global change / F. S. Chapin, M.S. Bret-Harte, S.E. Hobbie, H. Zhong // J. Veget. Sci.- 1996. V. 7. - N3. - P. 347 - 358.
150. Ilavaska, B. Soil Information System of Soil Science and Conservation Research Institute Bratislava / B. Ilavaska, R. Lasur // Почвозн., агрохим. и экол. – 2001 - № 4/6. – С. 77 -78.
151. Grassert, P. Lin: Avoir la fibre / P. Grassert // Jeunes Agriculturs. – 1985. – N 389. – P. 58-60.
152. Helleman, N. Spindhormaske en alternative ofgroode i den danske platepproduktion / N. Helleman // Godningen. – 1987. – Vol. 79. – №4. – P. 10-11.
153. Yaalon, D.H. Pedogenic palygorskite in some arid brown (Calciorthids) soas in Israel. Clay mineral. / D.H. Yaalon, M.Wieder. – 1976. – Ll.–73-80.
154. Ladd, J.N. Microbial biomass formed from ¹⁴C, N labeled plant material decomposition in soils in the field / J.N. Ladd, J.M. Oades, M. Amato // Soil Biol Biochem. – 1981. – V. 13. – P. 119-126.
155. Maddens, K. Lin: Actualités en matiere de technigue culturale / K. Maddens // Betteravier. – 1983. – V 17. – № 140. – P. 6-7.
156. Melander, B. Apea spica-venti population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop rotation, location and herbicide programmes / B. Melander, N. Holst, P.K. Jensen, E.A. Hansen, J.E. Olesen // Weed Research. – 2008. – №1. – P. 48-57.
157. Poulton, P.R. The Rothamsted long-term experiments: Are they still relevant? / P.R. Poulton // Canad. J. Plant. Sc. – 1996. – Vol. 76. – № 4. – P. 559-571.
158. Ramakumar, R. Ranewable energy sources and rural development in developing countrees / R. Ramakumar, W.L. Hughes // LEEE Trans Educ. – 1981. – V. 2, 4. – N 3. – P. 242-251.

159. Sumner, M.E. Field Experimentation: Changing to Meet Current and Future Needs / Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation / M.E. Sumner // SSSA Special Publication № 21 Soil Science Society of America, Inc. – Madison, Wisconsin, USA. – 1987. – P. 119-132.
160. Trinchera, A. Humic substances along the profile of two typic haploxerert / A. Trinchera, M.T. Dell'Abate, A. Benedetti, C. Dazzi // Geoderma. – 2002. – Vol. 107. – N 3/4. - P. 281-296.
161. Zwart, J. Vlas, een veelzijdig gewas / J. Zwart, F. Oudshoorn // Ekoland. – 1986. – V. 6. - №2. – P. 44-45.