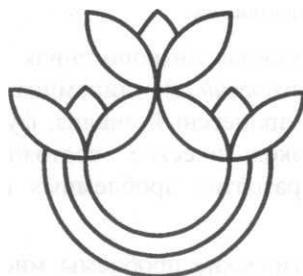


**Федеральное агентство научных организаций  
(ФАНО РОССИИ)**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЗАЩИТЫ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ»**



---

**СИСТЕМА ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ  
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ  
СБАЛАНСИРОВАННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ**

---

**Курск – 2014**

УДК 631.95:581.5

ББК 40

С 40

**Система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.** Коллективная монография/Под общ. ред. Масютенко Н.П. - Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2014.- 187 с.

**Авторский коллектив:** Масютенко Н.П., д.с.-х.н. - *введение, разделы 1-5, 6.1-6.5, заключение*; Кузнецов А.В. - *разделы 2, 4, 6.1, 6.2.2, 6.5*; Масютенко М.Н. – *разделы 3, 4, 6.4*; Чуян Н.А., д.с.-х.н. - *разделы 1, 6.3*; Брескина Г.М., к.с.-х.н. - *разделы 1, 6.5*; Дубовик Е.В., к.с.-х.н. – *разделы 1, 6.3*; Панкова Т.И., к.б.н. - *раздел 6.5*; Бахирев Г.И., к.с.-х.н. - *раздел 6.6 (в авторской редакции)*

В коллективной монографии рассмотрены основные термины, понятия, проблемы, связанные с нормированием антропогенной нагрузки и её оценкой, а также с экологическим нормированием качества почвы. На основе анализа, обобщения данных научной литературы, проведенных исследований обоснован методический подход и разработана система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Предложенная система включает критерии, методы и шкалы. Разработаны метод оценки и нормирования антропогенной нагрузки по её влиянию на трансформацию органического вещества почвы, методы нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по интегральному индексу экологического состояния почвы, по соответствию антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта, по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса, по устойчивости органического вещества почвы и координатный метод оценки нормируемых агротехногенных нагрузок в элементарных агроэкосистемах. Показаны результаты апробации разработанных методов.

Предназначена для специалистов в области земледелия, землеустройства, почвоведения, экологии, природопользования, преподавателей и студентов вузов.

*Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 декабря 1012 г. № 2237-р.*

**Рецензенты:**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ **А.И. Стифеев**,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Е.П. Проценко**

Одобрена и рекомендована к изданию Ученым советом ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии» (протокол № 6 от 11 ноября 2014 г.).

ISBN- 978-5-90562231-1

© ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии», 2014 г.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время масштабы хозяйственной деятельности человека стали соизмеримы с масштабами природных процессов. Интенсивная механизация и химизация земледелия, недостаточное поступление органического вещества в почву, а также эрозионные процессы способствовали снижению содержания в ней гумуса, ухудшению его качества, переуплотнению, распылению пахотного слоя, увеличению площадей кислых почв и т.п., то есть привели к деградации земель.

Стало совершенно очевидным, что процессы деградации почв представляют одну из самых больших угроз экологическому благополучию не только человечеству, но и всему живому на Земле. Они приводят к снижению почвенного плодородия, устойчивости, продуктивности и эффективности земледелия. Человечество не может бесконтрольно продолжать сокращать почвенные и земельные ресурсы, загрязнять окружающую среду, но оно не может и прекратить или хотя бы снизить темпы хозяйственной деятельности.

Единственно приемлемый путь выхода из сложившейся ситуации — установление рациональных взаимоотношений с окружающей природой, то есть использование природных ресурсов без ущерба, обеспечение их возобновления. Рациональное природопользование является условием сохранения окружающей среды и существования Человечества.

Необходимы регламентированные взаимоотношения с природой на основе количественных оценок ее состояния и регулирование величины антропогенной нагрузки. Нормирование антропогенных нагрузок на окружающую среду — одна из важнейших составных частей управления природопользованием.

Очевидно, что разнообразные последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды должны быть ограничены таким образом, чтобы природные (и природно-агрогенные) системы могли справляться с этими воздействиями. Для этого необходимо разработать систему требований (стандартов хозяйственной деятельности) для природопользователей.

Ныне действующая система экологического нормирования не обеспечивает сокращения антропогенной нагрузки на окружающую среду, в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (2008) в качестве одного из главных направлений определено поэтапное сокращение уровней воздействия на окружающую среду всех антропогенных источников. Основу действий в направлении сохранения и защиты природной среды будут составлять новые методы территориального планирования, землепользования, учитывающие экологические ограничения.

Для поддержания экологического равновесия, с одной стороны, необходимо способствовать повышению саморегулирующей способности антропогенно измененных природных систем, а, с другой, регламентировать антропогенные нагрузки на них. Но для этого необходимо оценить воздействие агрогенных нагрузок на почву, так как почвы являются важнейшим компонентом биосферы, основой обеспечения продовольственной безопасности страны.

Для обеспечения рационального природопользования, оценки качества природной среды, экологической безопасности, защиты окружающей среды и населения необходимо создание системы оценки и нормирования антропогенной нагрузки. Особенно это важно при экологизации земледелия, связанного с переводом его на адаптивно-ландшафтную основу и формированием экологически сбалансированных агроландшафтов. Проектирование экологически сбалансированных агроландшафтов должно проводиться с учетом нормирования антропогенных нагрузок. Следует отметить, что эта проблема актуальна, давно назрела, теоретически и практически значима, имеются определенные научные предпосылки для ее решения, но недостаточно изучена и сложна.

Целью данной работы является разработка системы оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.

## 1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Одним из важнейших путей оптимизации взаимоотношений человека и природы является нормирование антропогенной нагрузки на окружающую среду. Основные теоретические положения современного экологического нормирования на основе оценок природной емкости территорий и представлений об устойчивости природных систем, важнейшие направления нормирования антропогенных нагрузок на почвенно-земельные ресурсы, биоту представлены в работах Ю.А. Израэля (1979), Е.Л. Воробейчика, О.Ф. Садыкова, М.Г. Фарафонтова (1994), С.И. Колесникова, К.Ш. Казеева, В.Ф. Валькова (2003), Е.Л. Воробейчика (2003), А.Ю. Опекунова (2001, 2006), А.П. Хаустова, М.М. Рединой (2006, 2008), В.А. Черникова и др. (2000, 2004).

Под *экологическим нормированием* понимается научно обоснованное ограничение воздействия хозяйственной и иной деятельности на ресурсы биосферы, обеспечивающее как социально-экономические интересы общества, так и его экологические потребности (Опекунов, 2001). По Колесникову С.И. (2009), *экологическое нормирование* — нормирование антропогенного воздействия на экосистему в пределах ее экологической емкости, не приводящего к нарушению механизмов саморегуляции. При *экологическом нормировании* находят граничные значения экологических нагрузок для того, чтобы можно было установить ограничения для управляющих воздействий на объект нормирования и достигнуть целей нормирования.

Методологические особенности экологического нормирования по Е.Л. Воробейчику (2003) заключаются в том, что:

1. критерии оценки задает человек исходя из своих потребностей, причем потребность в здоровой окружающей среде – одна из важнейших;
2. при задании критериев оценки экосистем необходимо учитывать их полифункциональность (важнейшие функции – обеспечение необходимого вклада в биосферные процессы, удовлетворение экономических, социальных и эстетических потребностей общества);

3. нормативы предельных нагрузок должны быть “вариантными”, т.е. различными для экосистем разного назначения (необязательно требовать выполнение всех функций одновременно и в одном месте);

4. нормативы должны быть дифференцированы в зависимости от физико-географических условий региона и типа экосистем;

5. нормативы должны быть дифференцированы во времени: менее жесткие для существующих технологий, более жесткие для ближайшей перспективы, еще более жесткие для проектируемых производств и новых технологий;

6. нормировать необходимо интегральную нагрузку, которая может быть выражена в относительных единицах, а не концентрации отдельных загрязнителей;

7. среди показателей состояния биоты для нормирования необходимо выбрать основные, отражающие важнейшие закономерности ее функционирования, предпочтение необходимо отдавать интегральным параметрам;

8. нахождение нормативов может быть реализовано только в исследованиях реальных экосистем, находящихся в градиенте нагрузки, т.е. только на основе анализа зависимостей «доза – эффект» на уровне экосистем.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и совокупному воздействию всех источников, находящихся на этих территориях и (или) акваториях. При установлении нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду учитываются природные особенности конкретных территорий и (или) акваторий.

Потенциальная способность природной среды перенести ту или иную антропогенную нагрузку без нарушения основных функций экосистем называется *емкостью природной среды или экологической емкостью территории*.

*Экологическая емкость ландшафта* – это численность населения, которую ландшафт способен поддерживать своими естественными экологическими ресурсами без ущерба для собственного функционирования и экологиче-

ского потенциала (А.Г. Исаченко, 2000). Кирюшин В.И. (2005) отмечает, что под *экологической емкостью агроландшафта* понимают *антропогенную нагрузку*, которую способен воспринять агроландшафт, сохраняя экологическую и производительную устойчивость.

Состояние природной среды, биосферы подвержено непрерывным изменениям. Эти изменения носят различный характер, различны по своей направленности и величине, неравномерно распределены в пространстве и во времени. Антропогенные изменения приводят в отдельных случаях к резкому, быстрому изменению среднего состояния природной среды в данном регионе. Такие изменения могут быть подразделены: намеренные и ненамеренные. К намеренным антропогенным изменениям состояния природной среды можно отнести существенные антропогенные изменения, направленные на удовлетворение потребностей человеческого общества,— разработка сельскохозяйственных угодий, мелиорация земель, строительство городов и поселков (Ю. А. Израэль, 1979).

При экологическом нормировании необходимо учитывать совместное, коллективное сопротивление, реакцию экосистемы, биогеоценоза на любое воздействие, хотя при этом «критическим звеном» может оказаться какой-либо отдельный вид. Основным критерием при определении допустимой экологической нагрузки является отсутствие снижения продуктивности, стабильности и разнообразия системы; гибель отдельного организма, особи не представляется в этом случае критической. Такой подход может быть использован для выработки допустимой нагрузки на сообщество, биогеоценоз в пределах района или региона.

При осуществлении нормирования (Ю.А. Израэль, 1979) большое значение имеют понятия *приоритетности факторов* и эффектов воздействия (с точки зрения их критичности для данной ситуации). Именно приоритетность (с учетом экономических соображений и производственного эффекта) и обуславливает характер мероприятий по борьбе с негативными воздействиями, по их предотвращению, а также срочность этих мероприятий. Такие меро-

приятия направлены на регулирование качества среды (введение нормирования для различных природных условий, оптимальные распределения возможных источников воздействия в пространстве и во времени, технические и технологические меры по ограничению воздействий). Характер этих мер зависит от научно-технического уровня производства и, как уже отмечалось, экологических возможностей региона.

Выделяют 3 вида нормирования: санитарно-гигиеническое, экологическое, по экологическому риску.

*Санитарно-гигиеническое нормирование* — установление нормативов качества окружающей среды приемлемых для человека. Особенность санитарно-гигиенического нормирования заключается в том, что оно основано на антропоцентризме. Однако человек не самый чувствительный из биологических видов, и принцип «Защищен человек - защищены и экосистемы» неверен.

*Экологическое нормирование* — нормирование антропогенного воздействия на экосистему в пределах ее экологической емкости, не приводящего к нарушению механизмов саморегуляции. То есть, экологическое нормирование предполагает учет так называемой допустимой нагрузки на экосистему. Основными критериями экологического нормирования являются: сохранение биотического баланса, стабильности и разнообразия экосистемы.

*Экологический риск* — это вероятность появления негативных изменений в окружающей природной среде, вызванных негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера, с учетом величины возможных ущербов.

Мера экологической опасности рассматривается в двух основных аспектах:

- 1) вероятность нарушения природного равновесия;
- 2) вероятность негативного воздействия на человека.

Экологический риск может быть оценен количественно по формуле:

$$R = p \cdot y,$$

где  $R$  — экологический риск;

$p$  — вероятность негативного воздействия источника опасности на население, экосистемы или иные объекты;

$y$  — предполагаемая величина ущерба от воздействия.

Нормирование с использованием ПДК, ПДВ, ПДС, ПДУ и других нормативов основано на определении *количества загрязняющего вещества* или иного агента в окружающей среде.

Нормирование на основе определения экологического риска базируется на оценке источников опасности и устойчивости экосистем и человеческого организма.

При оценке допустимости антропогенного воздействия на окружающую природную среду следует руководствоваться принципами допустимого экологического риска:

- 1) неизбежность потерь в природной среде;
- 2) минимальность потерь в природной среде;
- 3) реальная возможность восстановления потерь в природной среде;
- 4) отсутствие вреда здоровью человека и обратимость изменений в природной среде;
- 5) соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Существующие на сегодня представления о приемлемых, допустимых, недопустимых значениях рисков для многих ситуаций весьма расплывчаты. Можно в целом говорить о крайне недостаточной разработанности методологии оценок экологических рисков. В то же время, в зарубежной практике понятие экологического риска является одним из центральных при разработке регламентной экологической документации.

*Цель нормирования* — установление предельно допустимых норм (*экологических нормативов*) воздействия человека на окружающую среду при осуществлении хозяйственной или иной деятельности. Соблюдение экологических нормативов должно обеспечить экологическую безопасность населения, сохранение генетического фонда человека, растений и животных, рацио-

нальное использование и воспроизводство природных ресурсов (Колесников С.И., Казеев К. Ш., Вальков В.Ф., 2001).

*Объект экологического нормирования* (Хаустов А.П., Редина М.М., 2008) – экологическая система определенного пространственно-временного масштаба, то есть совокупность взаимодействующих живых и неживых элементов, обладающая определенной степенью общности и которую по определенным критериям можно отделить от других таких же совокупностей (разница с общим определением системы заключается лишь в том, что в экосистему обязательно входят элементы живой природы). Объектами экологического нормирования могут быть и вся биосфера, и небольшой участок леса, и территория города, и отдельная популяция конкретного вида, и среда обитания человека в узком смысле (жилище, производственные помещения и пр.) (Воробейчик, 2003), а также природные и агроландшафты.

Необходимо выявление безопасных пределов воздействия на экосистемы в процессе природопользования, а также оценка последствий эксплуатации различных природных ресурсов для других компонентов экосистем, включая человека. В качестве *предмета* экологического нормирования выступают безопасные пределы вредных воздействий на объекты (Опекунов, 2001).

*Критерии экологического нормирования* – выбранные субъектом оценки свойства (параметры, инварианты) объекта нормирования, для сохранения которых разрабатываются экологические нормативы.

По данным Хаустова А.П., и Рединой М.М. (2008) при выборе показателя оценки нормирования антропогенной нагрузки необходимо учитывать: информативность показателя (тесная корреляция между показателем и антропогенным фактором); высокая чувствительность показателя; хорошая воспроизводимость результатов; незначительное варьирование показателя; небольшая ошибка опыта; простота, малая трудоемкость и высокая скорость метода определения; широкая распространенность метода в стране и за рубежом; соответствие принятым стандартам и др.

Как отмечает Н.Ф. Реймерс (1990), *воздействие антропогенное* – это сумма прямых и опосредованных (косвенных) влияний человечества на окружающую среду, а *нагрузка антропогенная* – степень прямого или косвенного воздействия людей и их хозяйства на природу в целом или на её экологические компоненты и элементы (ландшафты, природные ресурсы и т.д.).

Рассмотрим существующие группы антропогенных нагрузок. По своему происхождению антропогенные нагрузки можно разделить на две основные группы: агрогенные (возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности человека) и техногенные (возникающие в результате работы промышленного производства или транспорта). Кроме того, нагрузки подразделяются: по степени воздействия – на сильные, умеренные, слабые; по периодичности действия – на кратковременные, периодические, долговременные; по географическим масштабам – на локальные, региональные, глобальные. А по влиянию на плодородие почвы агрогенные нагрузки могут быть положительными и негативными (Критерии и параметры..., 2005).

*Предельно допустимой экологической нагрузкой (ПДЭН)* является максимальная нагрузка, которая еще не вызывает ухудшения качества объекта нормирования. *Экологический норматив* – законодательно установленное (т.е. обязательное для субъектов управления) ограничение экологических нагрузок. В идеальном случае экологический норматив должен совпадать с ПДЭН.

*Нагрузку на природу* (окружающую природную среду) можно рассматривать как соотношение силы антропогенных воздействий и степени восстановительных способностей природы (Н.Ф. Реймерс, 1990). Она может быть определена по реакции отдельных экологических компонентов (изменением водности, видового состава растений, животных...) или по возможности достижения экосистемами определённых фаз развития (в ходе сукцессии).

При определённых значениях нагрузки на природу меняется характер экологического равновесия, сначала локально, затем регионально и в конечном итоге глобально. Усилия, в том числе экономические вложения, на ней-

трализацию нагрузки на природу, затрачиваются лишь с момента превышения силы антропогенных воздействий над восстановительными способностями природы, что регистрируется по изменению соотношения экологических компонентов в экосистемах (деградация почв и т.д.), исчезновению отдельных видов биоты и характеру «финальных» фаз сукцессионных смен. Восстановительная способность природы с её устойчивостью. В системном анализе принято выделять три вида устойчивости:

1) *инертную* – способность системы сохранять свое состояние при внешнем воздействии в течение некоторого периода времени;

2) *пластичную* – способность переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя свои внутренние связи;

3) *восстанавливаемую* – способность возвращаться в исходное состояние после внешнего воздействия.

Инертная и пластичная устойчивость рассматриваются как адаптационные. Они определяют способность экосистемы сопротивляться внешним воздействиям. Восстанавливаемая устойчивость характеризует регенерационную устойчивость – способность экосистемы восстанавливать свои свойства после разрушений, вызванных антропогенной нагрузкой. Сложности учета разнообразных видов устойчивости реальной экосистемы связаны, в частности, с тем, что различные ее элементы (подсистемы) используют различные механизмы для ее обеспечения:

- устойчивость геосистем обеспечивается разбавлением, обменной и необменной сорбцией, миграцией веществ, что в целом характеризует механизм регенерационной устойчивости;

- биота сохраняет устойчивость путем адаптации организмов к антропогенным воздействиям вследствие внутренней резистентности биохимической организации, разложения новообразований в результате обмена веществ и т.п., это сущность механизма адаптационной устойчивости.

Как указывает Е.Л. Воробейчик (2004), начало формирования системы экологических стандартов можно отнести к 70-м годам, когда появились пер-

вые документы серии ГОСТ «Охрана природы». Действующая в настоящее время система государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны окружающей среды устанавливает:

- требования, нормы и правила в области охраны окружающей среды к продукции, работам, услугам и соответствующим методам контроля;
- ограничения хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения ее негативного воздействия на окружающую среду;
- порядок организации деятельности в области охраны окружающей среды и управления такой деятельностью.

Современная система экологического нормирования достаточно обширна и в целом позволяет регламентировать взаимные влияния человека и окружающей среды по многим аспектам и с учетом многих факторов (региональные и местные условия, особенности конкретных производств и отдельных технологических процессов и др.). В нее включаются документы, регулирующие качество окружающей среды, воздействия хозяйственной деятельности, нормативы технологических процессов, нормативы качества продукции и организационно-управленческие нормативы.

В современных зарубежных исследованиях ключевыми понятиями являются биологическая оценка (Biological Assessment) и биологическая целостность (Biological Integrity). Биологическая оценка определяется как «состояние природного объекта, на основе биологических исследований и других прямых измерений для оценки состояния обитателей биоты».

Международные стандарты, разрабатываемые, например, ISO (Международная организация стандартизации), действуют в настоящее время и в России. В частности, это касается стандартов экологического управления и лесохозяйственных нормативов, а также документов, регламентирующих отдельные аспекты метрологии и качества измерений. Разработка же региональных нормативов, которые учитывали бы природные особенности почв или природных вод, в нашей стране лишь начинается. Так, до сих пор дейст-

вуют единые нормативы допустимых содержаний загрязняющих веществ в почвах для всей территории России.

Национальные системы стандартов (Опекунов А.Ю., 2006) во многих странах характеризуются значительными различиями как с точки зрения сферы регулирования, так и с точки зрения используемых подходов к разработке экологических нормативов. Прежде всего, в зарубежных регламентирующих документах учитываются назначение и история территорий, для которых сформулированы нормативные требования. Например, в Германии для содержания загрязняющих веществ в почвах устанавливаются четыре уровня: допустимые концентрации минимальны для почв детских площадок и увеличиваются соответственно для жилых зон и территорий промышленных площадок (мест размещения производств), в Дании требования выражены в общих терминах, загрязнение окружающей среды не выше пороговых значений (Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С., 2005).

В природоохранной практике Российской Федерации наиболее распространены и нормативно утверждены две шкалы ранжирования значений показателей качества и воздействия на окружающую природную среду (ОПС) – трехуровневая (Критерии оценки экологической обстановки, 1992) и пятиуровневая (Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба, 1999). Трехуровневая шкала включает следующие ранги: относительно удовлетворительная ситуация, чрезвычайная экологическая ситуация, экологическое бедствие. Пятиуровневая шкала включает следующие категории нарушенности экологического состояния территории: ненарушенные, слаборазрушенные, средне нарушенные, сильно нарушенные, катастрофически нарушенные. Критериальная таблица оценки экологического состояния территории содержит 5 уровней потери качества: условно нулевой, низкий, средний, высокий, катастрофический.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р утверждена “Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года”, в

которой по разделу “Экологическая безопасность экономики и экология человека” одним из направлений определено поэтапное сокращение уровней воздействия на окружающую среду всех антропогенных источников с использованием новой системы нормирования допустимого воздействия на окружающую среду, стимулирование процессов модернизации производства, ориентированных на снижение энергоемкости и материалоемкости, формирование сбалансированной экологически ориентированной модели развития экономики и экологически конкурентоспособных производств. Целевыми ориентирами этой Концепции и основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации определены снижение удельных уровней воздействия на окружающую среду в 3–7 раз (в зависимости от отрасли) и снижение уровня воздействия на окружающую среду в 2–2,5 раза.

## **2. К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ**

Е. Одум (1968) отмечает, что «... человек живёт лучше всего, когда он действует как часть природы, ... в противном случае, подобно неразумному паразиту, он может так использовать своего хозяина, что рискует погубить самого себя». В России почвы подвергаются различным видам деградации, что в свою очередь приводит к значительному ухудшению их естественных экофункций и снижению плодородия. Резкое снижение экологической культуры земледелия спровоцировало развитие утомления и засорённости почв. Широкое распространение получило явление «выпахивания чернозёмов» (Агроэкологическое состояние чернозёмов ЦЧО, 1996).

Поэтому оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы в настоящее время является одной из важнейших проблем прикладного почвоведения (А.В. Смагин, Н.А. Азовцева, М.В. Смагина, А.Л. Степанов, А.Д. Мягкова, А.С. Курбатова, 2006; В.А. Черников, И.Г. Грингоф, В.Т. Емцев и др., 2004). Изучение антропогенной трансформации почвенного покрова в настоящее время является очень актуальным, так как именно почвы объединяют в единую функционирующую систему все

компоненты наземных экосистем (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 2000; Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, М.Е. Ильина, 2003).

Любое антропогенное воздействие на почву оказывает влияние на целую группу почвенных свойств (компонентов) и процессов. Часто через некоторое время после разовых и систематических воздействий состав почвы и её свойства стабилизируются на определенном уровне, при этом устанавливается динамическое равновесие между антропогенным воздействием и противодействующими механизмами почвы как системы. Однако в результате повторяющегося воздействия возможен и кумулятивный эффект, когда показатель почвенного свойства изменяется с относительно постоянным трендом (А.С. Фрид, 2009).

При распашке и сельскохозяйственном использовании почв наблюдается значительное ухудшение их экологического состояния. Основными причинами этого являются: изменение условий аэрации в результате распашки целины, отчуждение значительной части биомассы и ограниченный видовой состав растений на полях по сравнению с природными экосистемами, потеря почвами Са, изменение сезонного ритма разрушения и новообразования части гумуса (Н.И. Сотнева, 1997).

В процессе сельскохозяйственного использования черноземные почвы на плакорах по сравнению с целиной потеряли 20-30 % гумуса. Это обусловлено недостаточным поступлением в почву органического вещества, повышенной минерализацией его и гумусовых веществ из-за обработок. При насыщении севооборотов пропашными культурами, недостаточном возделывании многолетних трав и нерациональных обработках его потери возрастают до 30-45 % от его запасов в целинной почве, а на склонах в условиях интенсивного проявления эрозионных процессов - до 60 % и более. Наряду со снижением запасов гумуса в пахотных почвах изменяется соотношение между содержанием гумуса и негумифицированного органического вещества, определяющее устойчивость органического вещества почвы к деградации (Масютенко Н.П., 2012).

Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин (1990) указывают, что периодически возникающие некоторые отклонения от нормы «...в достаточно устойчивых системах компенсируются в той или иной степени процессами возобновления». При этом они отмечают, что «более развитые, сложноорганизованные почвы, как правило, в меньшей мере изменяют характер своего функционирования при возмущающем (нарушающем) действии факторов среды, но при возникновении нарушений процессы возобновления в них идут медленнее и менее полно».

Оценку антропогенного влияния на свойства почв необходимо проводить комплексно на разных уровнях их организации (С.А. Балюк, Н.Н. Мирошниченко, А.И. Фатеев, 2008). Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, Д.А. Будаков (2007) в ходе исследований установили, что для оценки антропогенной трансформации почвенного покрова может быть использован набор разнообразных показателей, наиболее важными из которых являются: нарушение структуры почвенного покрова, изменение продукционного потенциала почв, накопление загрязняющих веществ. Авторами предлагается для характеристики состояния почвенных ресурсов и их продукционного потенциала использовать совокупность нескольких показателей: запас фитомассы, продуктивность, естественное плодородие почв, урожайность, почвенно-экологический индекс. Эти характеристики позволяют учитывать как естественные свойства почв, так и воздействие антропогенного фактора.

Для обобщения и наиболее детального изучения продуктивности почв предлагается использовать информационно-аналитическую систему с 100-бальной шкалой в форме почвенно-экологического индекса (ПЭИ) по И.И. Карманову (Л.Л. Шишов, И.И. Карманов, Д.Н. Дурманов, 1987), учитывающему климатические условия, физические, агрохимические свойства, увлажненность почв.

В то же время существует проблема совокупной оценки, которая заключается в том, что даже при наличии полной исходной информации очень трудно выделить строго формализованные обобщенные критерии комплекс-

ной антропогенной нагрузки, адекватно соизмеряющих степень влияния отдельных факторов с учетом их синергизма. Поэтому чаще всего для комплексной оценки антропогенной нагрузки используют «уравнивание» оценки воздействия или их результатов в баллах, которые затем просто суммируют или усредняют.

В последние десятилетия в нашей стране уделяется большое внимание разработке подходов к оценке экологического состояния почв, основанной на диагностике изменений биогенных и абиогенных компонентов (Виноградов, Орлов, Сакин, 1993; Левич, Булгаков, Рискин, Милько, 2013; Опекунов, 2006).

Существует множество методических подходов к оценке изменения экологического состояния окружающей среды в результате антропогенного воздействия (матрица Л. Леопольда, метод Бателле и др.). Большинство этих методических подходов сводится к выделению причинно-следственной связи между антропогенным воздействием и комплексом показателей состояния среды. А в качестве фоновых показателей состояния используют показатели объектов, не подверженных агрогенному воздействию. При этом в основе методов оценки состояния лежит выявление, отображение на шкале качества «норма-патология» показателя отклика «доза-эффект» и построение логистической функции «воздействие (нагрузка) – эффект» (М.Д. Гродзинский, 1988; Б.В. Виноградов, 1998; Н.Г. Булгаков, 2002).

В свою очередь методические подходы к экологической оценке можно разделить на две основные группы: 1) шкала нагрузки произвольно градируется на основе обобщения, теоретических соображений и эмпирических данных по отклику; 2) отклик на нагрузку отображается с использованием «функции желательности» (А.С. Яковлев, В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов, М.В. Евдокимова, Е.А. Шулакова, 2009).

Согласно методическому подходу, разработанному А.С. Яковлевым, В.М. Гендуговым, Г.П. Глазуновым, М.В. Евдокимовой, Е.А. Шулаковой (2009) экологическую оценку состояния почвы предлагается проводить в три стадии: 1) анализ отклика на нагрузку «доза-эффект», 2) по его результатам

расчет значения показателя состояния почвы, 3) далее на его основе произвести экологическую оценку качества почвы (или иной природной среды) по пятибалльной шкале. При этом предлагается исходить из аддитивности (свойство величин, состоящее в том, что значение величины чего-то равна сумме величин составных частей) одновременного действия разных нагрузок, а обобщенную оценку состояния рассчитывать методом суммирования вероятностей.

Агроэкологическая оценка качества почв должна включать частную оценку качества фазовой переменной, обобщающую оценку качества по функционально-диагностическим группам параметров и интегральную оценку качества почвенного покрова экосистемы. При этом частная оценка экологического качества производится по региональным логистическим уравнениям, аппроксимированным для интервалов критических-оптимальных значений параметров, обобщающая оценка рассчитывается формулы среднегармонических значений, а интегральная – по формуле среднегеометрических значений. Анализ необходимо производить по 8 основным функционально-диагностическим параметрам: агрохимическому фактору продуктивности сельскохозяйственных культур; агрофизическому фактору почвенных условий обработки; фактору пространственной неоднородности; морфогенетическому фактору устойчивости плодородия и потребности в мелиорации; санитарно-экологической буферности; санитарно-экологическому состоянию; эффективности использования энергии; биоэнергетической устойчивости. Полученные оценки ранжируются согласно разработанной интерпретационной таблице (И.И. Васенев, Д.А. Букреев, 1993; Агроэкологическое состояние чернозёмов ЦЧО, 1996).

При этом Li Yue-fen, Tang Jie, Lin Nian-feng, Yang You-de (2003) отмечают, что корреляционный метод Грея – наиболее реалистичный и удобный метод всесторонней оценки качества почв лугопастбищных угодий в КНР. В качестве оценочных индексов использовали содержание органического веще-

ства, общих N, P и K, доступных N, P и K, рН, насыщенность Na. Основные площади отнесены к категориям 3 и 4: категории 1 и 2 отсутствовали.

В заключение следует отметить, что в сложившейся экологической ситуации – усиливающейся деградации почв в процессе сельскохозяйственного использования – очень важно исследование и оценка экологического состояния почв, а для этого необходимо, с одной стороны, иметь объективные методы для оценки степени антропогенной нагрузки на почву, с другой стороны, интегральные методы оценки экологического состояний почв. Однако, как показал анализ научной литературы, если по изучению влияния сельскохозяйственного использования на свойства почв работ достаточно много, то вопросы оценки экологического состояния почв, методы его оценки, а также методы количественной оценки степени антропогенной нагрузки на почву разработаны недостаточно.

### **3. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЧВ**

Почвы – сложный природный и природно-антропогенно преобразованный объект, связующее звено в ряду компонентов окружающей среды. Вопросы экологического нормирования почв еще недостаточно изучены и, как отмечает А.С. Яковлев (2010), до настоящего времени не развита единая научная концепция нормирования в области охраны окружающей среды в целом и почв в частности. Существуют лишь отдельные научно-методические подходы к регулированию экологического качества почв, приведенные в работах отечественных и зарубежных исследователей.

Понятия «качество» и «состояние» природной среды и ее компонентов согласно ст. 1 ФЗ № 7 (2002) рассматриваются как синонимы. «Качество окружающей среды – состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью». Так как почва является одним из компонентов природной среды, то «экологическое качество почв – это экологическое состояние

почв, характеризующееся физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью».

А.С. Яковлевым (2013) разработаны принципы экологического нормирования почв, заключающиеся в обосновании критериев и уровней допустимого экологического состояния (качества) почв и антропогенного воздействия на них. К основным критериям, определяющим уровень допустимых значений качества почв, отнесены следующие: установление потери биоорганического потенциала почв, не превышающего определенного уровня (по данным экспертной оценки потеря биоорганического потенциала почв не должна превышать 30% его фоновых значений); установление пороговых значений загрязнения и деградации почв, при которых не возможен массивированный переход загрязняющих веществ и почвенной массы в сопредельные природные среды; различная устойчивость почв к антропогенному воздействию в зависимости от их природных свойств (гумусированности, кислотности, гранулометрического состава и др.); учет разнообразия видов хозяйственного использования земель.

Опираясь на указанные критерии и принятую в природоохранной практике пятиуровневую шкалу ранжирования экологического состояния окружающей среды и воздействия на окружающую среду, А.С. Яковлевым (2013) для почв разработана система консолидированных показателей «состояния-воздействия», представленных единичными относительными цифровыми значениями (табл.1). Предложенная система служит основой для установления диапазонов допустимых значений экологического состояния почв и антропогенного воздействия на них с учетом природных особенностей почв и видов хозяйственного использования земель.

Автор (А.С. Яковлев, 2013) исходит из предположения, что вред почве может быть нанесен как чрезмерным увеличением, так и уменьшением значений того или иного показателя ее специфических свойств. Согласно пятиуровневой шкале ранжирования, первый и второй уровни могут быть отнесены к периоду постепенного, слабо выраженного накопления негативного

**Оценка и ранжирование значений экологического состояния почв и окружающей среды и антропогенного воздействия\***

Признак	Единая количественная шкала ранжирования состояния окружающей среды и антропогенного воздействия					Источник
	±1	±2	±3	±4	±5	
Качественные признаки состояния ОПС	Отсутствие признаков: - угнетения естественных и антропогенных биocenозов; - нарушений состояния здоровья из-за влияния ОПС; - нарушений природных сфер и их функционального равновесия	Заметное угнетение естественных биocenозов, использование земель для производства пищевой продукции без ограничений. Природная среда в целом удовлетворительна для существования человека. Признаки нарушений отдельных природных сфер обратимого характера	Природные биocenозы сильно угнетены, производство пищевой продукции неэффективно из-за низкого качества и пониженного плодородия почв. Здоровье населения заметно ухудшено из-за неблагоприятных условий ОПС. ОПС не справляется с антропогенными нагрузками	Невозможность длительного существования искусственных насаждений, противополказанность использования земель для производства продовольственной продукции. Существенная деградация населения по состоянию здоровья. Необратимые нарушения природных сфер, исключая самовосстановление природной среды в целом	Биопродуктивность земель нулевая. Прямой контакт человека со средой опасен для здоровья и существования человека. Природные сферы необратимо нарушены и не могут выполнять своих функций в окружающей среде	Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. – М.: Госкомэкология России, 1999.
	Удовлетворительная экологическая ситуация			Чрезвычайная экологическая ситуация	Экологическое бедствие	

\* Ранжируется по пятибалльной шкале (1999) и определяется на основании «Методических рекомендаций по выявлению деградированных и загрязненных земель Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель» (2001).

признака, что соответствует относительно стабильному состоянию окружающей среды. Третий уровень соответствует неустойчивому состоянию природной системы (утрата около 30% качества окружающей среды), четвертый и пятый – катастрофическому и бедственному уровням (стремительная и необратимая потеря качества окружающей среды). Таким образом, за состояние окружающей среды и уровень воздействия на нее, близкие к допустимому уровню (экологической норме), можно принять промежуток от первого до начальных значений третьего уровня в рамках установленной системы ранжирования.

М.В. Евдокимовой (2013) обобщен и проанализирован отечественный и зарубежный опыт экологического нормирования состояния почв. Указано, что основными методологическими подходами к нормированию являются санитарно-гигиенический и экологический. Первый подход является исключительно антропоцентрическим и базируется на показателе вредности загрязняющих веществ, второй – предусматривает оценку отрицательного действия внешних факторов на комплекс показателей, характеризующих реакцию экосистемы (Матвеев Ю.М., Попова И.В., Чернова О.В., 2001; Управление качеством..., 2010).

Показано, что в ряде работ по выявлению нормы функционирования почв прослеживается следующая закономерность – при утрате более 30% биоорганического потенциала почв наступает катастрофическое нарушение устойчивого функционирования экосистемы (Виноградов Б.В., Орлов В.П., Снакин В.В., 1993; Anderson J.P.E., 1982; Яковлев А.С., Евдокимова М.В., 2011). А.С. Фрид (2011) указывает на потерю 20% качества пахотных почв, при которых нарушается их нормальное функционирование. В работе Н.Г. Зырина с соавт. (1985) принимается, что действие токсикантов является отрицательным, если оно достоверно снижает урожай на 5-10%.

А.С. Фридом (2011) нормативы изменений свойств почв рассматриваются как: 1) допустимые границы изменений показателей структурно-

функциональных свойств почв и почвенного покрова, в пределах которых почва либо не меняют своего таксономического положения, либо продуктивность экосистем не становится ниже 20% от оптимальной, либо загрязнение почвы и сельскохозяйственной продукции не превышает существующих государственных нормативов; 2) прогноз изменений свойств почв при антропогенных воздействиях, дифференцированный не только территориально, но и по временным масштабам результатов воздействия.

В рамках данного подхода нормативы включают таксономические границы пахотных почв, показатели органического вещества, агрохимические и физико-химические показатели, физические показатели, показатели загрязнения почв тяжелыми металлами. Нормативы дифференцированы по природным зонам и провинциям, внутри них – по типам и подтипам почв, гранулометрическому составу. В качестве дополнительных нормативов изменений свойств почв предлагаются критические границы изменений показателей, при которых деградационные процессы приводят к необратимым изменениям. За оптимальные значения почвенного показателя принимаются такие значения, которые обеспечивают максимальную продуктивность при хорошем качестве растительной продукции. Соотношение между категориями границ на шкале значений показателя (Фрид А.С., Кузнецова И.В., Королева И.Е. и др., 2010) следующее: минимальное (критическое/допустимое) – оптимум – максимальное (допустимое/критическое).

С.А. Балюком и др. (2008) изложены основные концептуальные положения экологического нормирования в Украине, которые в целом аналогичны с таковыми в России. Экологическое нормирование заключается в обеспечении экологической и санитарно-гигиенической безопасности граждан путем определения требований к качеству земель, плодородию почвы и допустимой антропогенной нагрузки на них, их хозяйственному освоению.

Основными задачами экологического нормирования является поддержание продуктивных и экологических функций почв в оптимальных пределах, обеспечение устойчивости почв, восстановления их плодородия, сохра-

нение почвенного покрова и земельных ресурсов, минимизации отрицательного воздействия на почвы. Для этого устанавливаются такие нормативы: 1) предельно допустимого загрязнения почв, включающего предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов, нефти и нефтепродуктов, радионуклидов и других химических веществ, остаточных количеств пестицидов и агрохимикатов; 2) качественного состояния почв – уровень их загрязнения, гумусовое состояние, содержание питательных веществ, а также биологические, физические и физико-химические свойства; 3) деградации земель и почв – дегумификация, переуплотнение, эрозия, подтопление, засоление, осолонцевание и другие виды, для упреждающей диагностики развития этих процессов; 4) оптимального соотношения земельных угодий, в том числе «пашня-многолетние насаждения, луга и сенокосы», «богарные-мелиорированные (орошаемые и осушенные) угодья»; 5) интенсивности использования земель сельскохозяйственного назначения.

В мировой практике получила широкое развитие концепция критических нагрузок как необходимое руководство по рациональному ограничению антропогенных воздействий (Копцик Г.Н., 2004). Понятие «критическая нагрузка» (на рабочем совещании ООН) было определено как «количественная оценка воздействия одного или нескольких загрязняющих веществ, ниже которой не происходит существенного вредного воздействия на специфические чувствительные элементы окружающей среды в соответствии с современными знаниями» (Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д., 2003).

В природоохранной практике Евросоюза, США и Австралии в настоящее время широко распространен подход, основанный на оценке экологических рисков. Согласно «Рекомендациям по оценке экологических рисков» (U.S. EPA., 1998, 2000, 2004) оценка экологического риска – это процесс по определению вероятности негативного экологического последствия, которое может наступить в результате одного или нескольких совокупных негативных воздействий. Он применяется для систематической оценки и организации данных, информации, допущений и ошибок с целью распознавания и прогно-

зирования связи между воздействием и экологическим эффектом. Для оценки могут быть привлечены химические, физические и биологические показатели, а также их индивидуальное и совокупное воздействие. В основе оценки экологических рисков лежит анализ кривых доза-эффект с применением вероятностного подхода и математического моделирования для их описания и вычисления критических точек (U.S. EPA., 2000).

Сравнительные методы для целей решения задач по оценке состояния объектов окружающей среды и прогнозирования воздействия на них получили наибольшее развитие в США в начале 70-х гг. XX в. под общим названием «индексы/индикаторы качества окружающей среды». Для каждого рассматриваемого компонента окружающей среды в научно-исследовательском центре Бателле был разработан индекс качества с ранжированием от 0 до 1 с использованием метода значимой функции. При агрегировании частных индексов в обобщенный каждому из них присваивается вес, соответствующий важности компонента. В первых фундаментальных трудах на эту тему излагались основы теории индикаторов состояния окружающей среды и рассматривались возможности их применения (Пых Ю.А., Малкина-Пых И.Г., 1996).

В отчете Европейского агентства по охране окружающей среды (ЕЕА., 1999) отмечается, что современные системы индикаторов представляют собой набор физических, химических и биологических показателей. Использование индикаторов позволит проводить количественный анализ антропогенного воздействия на составляющие части экосистемы.

С увеличением разнообразия видов и способов воздействия человека на почвы возрастает роль комплексной оценки их состояния, как основы для принятия административных и технических решений, направленных на снижение воздействий и восстановление нарушенных почв (Виноградов Б.В. и др., 1993; Левич А.П. и др., 2004; Балюк С.А. и др., 2008; Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А., 2008).

Как видно из выше изложенного, научно-методические подходы к экологическому нормированию качества почв достаточно активно развиваются.

Однако методов оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов мало (Балюк С.А. и др., 2008).

Следует отметить, что агроландшафт - это часть природного ландшафта, выделенная по ведущим агроэкологическим факторам и предназначенная для организации производства сельскохозяйственных культур и удовлетворения потребностей сельскохозяйственных животных и человека. По Кирюшину В.И. (2005), агроландшафт – это геосистема, выделяемая по совокупности ведущих агроэкологических факторов (определяющих применение тех или иных систем земледелия), функционирование которой происходит в пределах единой цепи миграции вещества и энергии. Экологически сбалансированный агроландшафт должен обладать экологической устойчивостью. *Экологическая устойчивость агроландшафта* – это способность поддерживать сформированную структуру и заданные производительные, социальные функции при воздействии внешних факторов, сохраняя биосферные (Система оценки..., 2013). Для обеспечения экологической устойчивости агроландшафта необходимо задавать такие параметры производству, при которых технологические нагрузки находились бы в пределах экологической емкости агроландшафта.

Рассмотрим метод оценки антропогенной нагрузки на территорию по С.Н. Волкову (2001). *Критерием оценки антропогенной нагрузки на территорию является коэффициент антропогенной нагрузки ( $K_{АН}$ )*. Коэффициент антропогенной нагрузки ( $K_{АН}$ ) показывает, насколько сильно влияет деятельность человека на состояние природных систем. Его ( $K_{АН}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{АН} = \frac{\sum PБ}{\sum P},$$

где  $P$  – площадь земель с соответствующей антропогенной нагрузкой, га;

$B$  - балл, соответствующий площади с определенной антропогенной нагрузкой.

Баллы для оценки степени антропогенной нагрузки ( $B$ ) угодий представлены в таблице 2. Чем меньше антропогенная нагрузка, тем выше величина балла у угодья, для пашни он равен 4. Там же указаны коэффициенты экологической стабильности угодья ( $K$ ), для пашня он достаточно низкий (0,14).

Таблица 2

**Оценка экологических свойств земельных угодий (по Волкову, 2001)**

Название угодий	Коэффициент экологической стабильности угодья ( $K$ )	Балл для оценки степени антропогенной нагрузки ( $B$ )
Леса и древесно-кустарниковая растительность	1,0	1
Болота	0,79	1
Водные объекты	0,79	2
Сенокосы	0,62	3
Пастбища	0,68	3
Пашня	0,14	4
Залежь	0,70	2
Фруктовые сады, кустарники, многолетние насаждения	0,43	4
Застроенная территория и дороги, нарушенные земли	0,0	5
Прочие земли (пески, овраги, свалки и др.)	0,0	5

Принято допущение, что  $K_{АН}$  менее 3,0 соответствует относительно *низкой* антропогенной нагрузке на территорию,  $K_{АН} = 3,1-3,5$  – *умеренной*,  $K_{АН}$  более 3,6 – *высокой*.

Как видно из таблицы 2, вся пашня по степени антропогенной нагрузки оценивается одним количеством баллов, то есть, не дифференцирована в зависимости от нагрузки. Поэтому использовать данный подход для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов некорректно. Необ-

ходимы подходы и методы, позволяющие проводить дифференцированную оценку и нормирование антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. В данной работе предпринята попытка разработать систему оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, опираясь на имеющиеся научно-методические подходы и собственные изыскания и исследования.

#### **4. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования проводились в течение 2007-2014 гг. на территории многофакторного полевого опыта, заложенного в 1984 году, ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Курская область, Медвенский район) на склоне северной экспозиции крутизной до 3° на пашне в бессменном пару, в посевах бессменных многолетних трав, в зернотравяном, зерновом, зернопаропропашном севооборотах, в лесополосе и на залежи; а также на водораздельном плато, северном и южном склонах в 7 ротацию зернотравяного и зернопаропропашного севооборотов при отвальной и безотвальной системах земледелия.

##### **4.1. Геоморфологические и климатические условия**

Центрально-Черноземный район, в который входят Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая и Тамбовская области, расположен в лесостепи и степи Европейской части России на склонах Среднерусской возвышенности и части Окско-Донской низменности (Агроклиматические ресурсы Курской области, 1971). Земельный фонд ЦЧР составляет 16,8 млн. га (О.Г. Котлярова, 1995).

Курская область находится на юго-западных склонах Среднерусской возвышенности. Территория области вытянута с запада на восток. Расстояние

между крайними восточной и западной точками – 305 км, между северной и южной – 175 км (Агроклиматические ресурсы Курской области, 1971).

По занимаемой территории Курская область находится на третьем месте среди областей Центрального Черноземья после Воронежской и Тамбовской областей. Общая площадь Курской области составляет 2999,7 тыс. га, или около 18% территории Центрального Черноземья (В.Д. Муха, А.Ф. Сулима, В.И. Чаплыгин, 2006).

*Геоморфологические условия.* Опытное поле ВНИИ земледелия расположено на Среднерусской возвышенности и относится (по характеру растительности) к Центральной лесостепной и степной области, которая характеризуется равнинным или слабоволнистым рельефом.

Основными геоморфологическими элементами, составляющими территорию исследований, являются водоразделы (междуречья и межбалочные пространства), надпойменные террасы и современные поймы рек и ручьев. В результате длительного развития эрозионно-аккумулятивных процессов территория оказалась значительно расчленённой речной и овражно-балочной сетью, сформировались склоны разной длины, крутизны и экспозиции. В районе исследования наибольшей крутизной отличаются склоны северной и северо-западной экспозиции (3-5°). В настоящее время продолжается дальнейшее расчленение территории за счет роста оврагов. Оврагами разрушаются преимущественно днища и склоны балок, а также приводораздельные пахотные склоны.

*Почвы.* Около 81% территории Курской области занимают черноземы и лесные почвы. Черноземы относятся к числу наиболее плодородных почв, представлены на территории области на 2/3 сельскохозяйственных земель следующими основными подтипами: типичные, выщелоченные и слабовыщелоченные, оподзоленные, карбонатные и др. Черноземные почвы расположены преимущественно в восточной и юго-западной части области (к югу от р. Сейма и к востоку от бассейна р. Гускарь).

Основными преобладающими почвообразующими породами являются лёссовидные глины и суглинки четвертичного периода, реже встречаются лёссы, аллювиальные и древнеаллювиальные отложения, а также продукты разрушения, выветривания таких пород, как известняки, мел, мергель.

По данным В.М. Володина, И.В. Опенлендера, С.А. Шульги, И.П. Здоровцова, А.Е. Шевцова (1982) на территории опытного хозяйства ВНИИ земледелия насчитывается шестнадцать различных почвенных разновидностей, при этом более 90% всех земель – почвы чернозёмного типа почвообразования. Почвенный покров многофакторного полевого опыта представлен чернозёмом типичным среднесильным, чернозёмом типичным слабосмытым, чернозёмом типичным мощным и чернозёмом типичным карбонатным мощным тяжелосуглинистого и среднесуглинистого гранулометрического состава.

*Климатические условия.* Климатические условия оказывают влияние на рельеф местности, на почвообразовательный процесс и на формирование растительного и животного мира. По результатам метеорологических наблюдений метеостанции Петринка (табл.3), расположенной на расстоянии 5 км от опытного поля ВНИИЗиЗПЭ, среднемноголетняя температура воздуха составляет 5,7 °С, а сумма активных температур более +10 °С – 2425 °С. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 185-188 дней.

Среднемноголетнее количество осадков равно 545±50 мм, из них около 60 % их выпадает в период вегетации растений. Обычно бездождливые периоды продолжаются 8-10 дней, а в засушливые годы они могут длиться более 30-35 дней. Кроме того, в мае-июне опасность для растений представляют суховеи юго-восточного направления.

Весна чаще всего дружная. Осень в первой половине сухая и теплая, а во второй – дождливая и туманная. В начале октября обычно бывают первые заморозки. В зимнее время высота снежного покрова составляет 25-30 см, и сохраняется он около 120 дней в году. Максимальная глубина промерзания почвы в зимний период – 128 см, средняя – 67 см, минимальная – 33 см.

**Средние многолетние значения количества осадков и среднесуточной температуры воздуха (по данным Петринской метеостанции)**

Месяц	Средняя многолетняя температура, °С	Средняя многолетняя сумма осадков, мм
Январь	-10,3	34
Февраль	- 8,0	33
Март	- 2,9	32
Апрель	6,7	35
Май	13,8	50
Июнь	17,3	59
Июль	18,9	71
Август	18,1	64
Сентябрь	12,4	44
Октябрь	6,4	41
Ноябрь	0,1	41
Декабрь	- 4,3	41
Год	5,7	545

Рельефу принадлежит значительная роль в формировании местного климата. Так, склоны северной экспозиции получают меньше тепла, чем склоны южной экспозиции. Именно поэтому склоны южной экспозиции в весенний период раньше освобождаются от снега, и на них обработка почвы раньше начинается.

Таким образом, климатические условия на территории опытного поля в целом типичны для лесостепной зоны и благоприятны для выращивания большинства сельскохозяйственных культур.

*Метеорологические условия в годы исследований.* Погодные условия в период проведения исследований различались по годам. Общая характеристика агроклиматических условий в годы исследования приводится по данным метеостанции Петринка, расположенной на расстоянии 5 км от опытного поля ВНИИЗиЗПЭ (рис. 1 и 4).

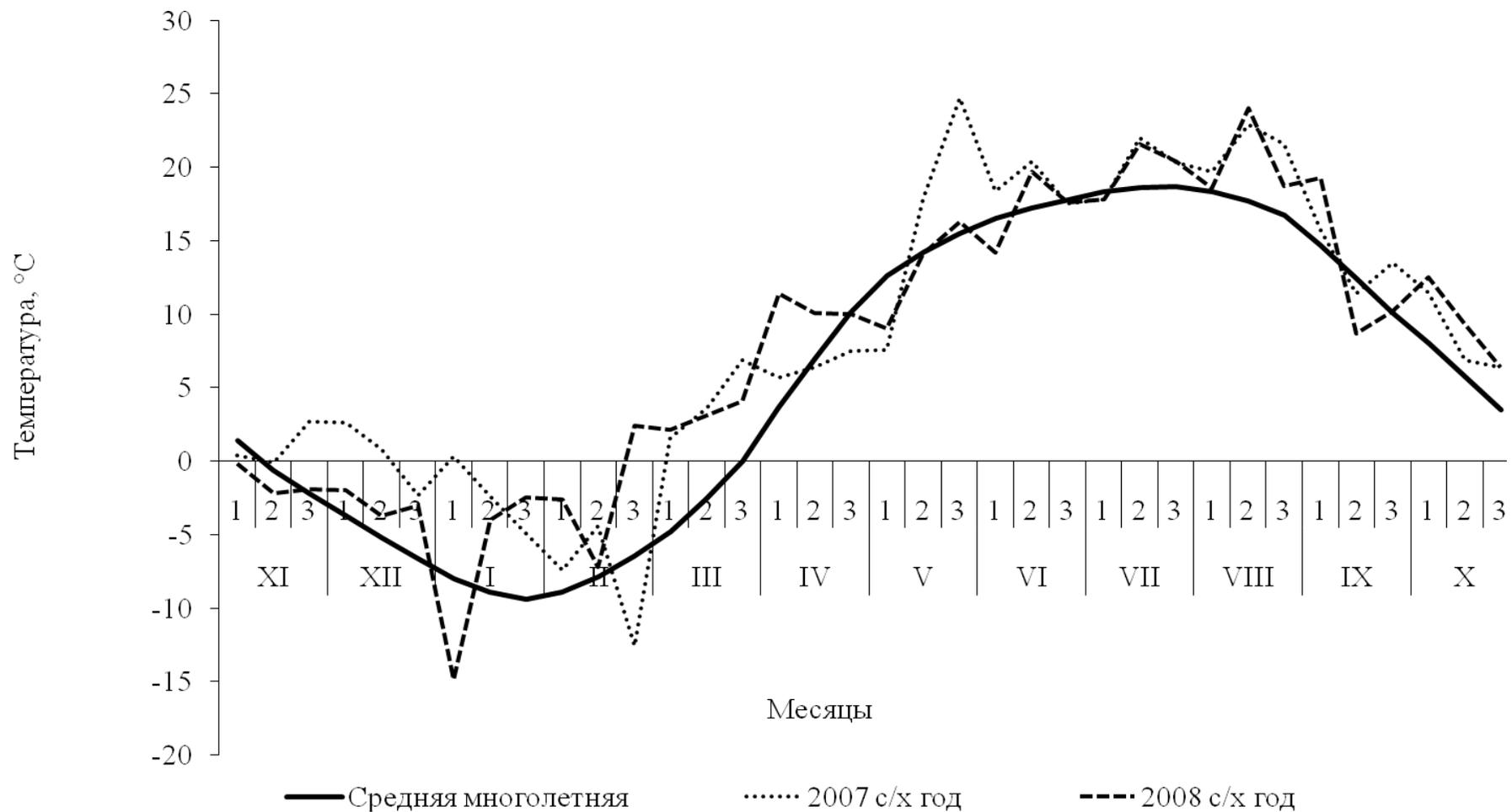
*Погодные условия в 2007 сельскохозяйственном году.* Сельскохозяйственный год (с ноября 2006 г. по октябрь 2007 г.) был рекордно теплым. Сред-

негодовая температура воздуха составила  $+8,5^{\circ}\text{C}$ , что выше среднемноголетних на  $2,6^{\circ}$  (рис.1,2). Осадки в течение года распределялись неравномерно. Значительный недобор в осадках (40-70% от среднемноголетних) наблюдался в ноябре – декабре 2006 г., а также в вегетационный период (с апреля по август). Значительные осадки (в 1,5-2 раза выше среднемноголетних) выпали в январе, феврале, сентябре и октябре. В целом за год осадков выпало ниже нормы на 62,9 мм.

Быстрее обычного проходило накопление тепла. Так, в конце вегетационного периода сумма эффективных температур выше  $5^{\circ}\text{C}$  составила  $2134^{\circ}$ , а сумма активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  –  $2722^{\circ}$ , что больше среднемноголетней на 18,7% и 12,2%, соответственно.

Зимний режим погоды (переход среднесуточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ ) установился на 1-1,5 месяца позже средних многолетних данных. Аномально теплая погода, сохранявшаяся такой длительный период (с ноября по январь), наблюдалась впервые за всю историю метеорологических наблюдений в Курской области. Температура воздуха в среднем за декабрь-январь и февраль составила минус  $2,8^{\circ}\text{C}$ , на  $5^{\circ}$  превысив среднемноголетнюю. В целом за декабрь за декабрь, январь и февраль количество осадков оказалось в пределах среднемноголетних – 117 мм.

Снежный покров установился на 40-50 дней позже обычных сроков. Из-за аномально теплой погоды промерзание почвы началось лишь во второй половине декабря. К концу декабря граница мерзлого слоя почвы проходила на глубине 5-20 см, что значительно (до 10-35 см) меньше обычных значений.



**Рис. 1. Температура воздуха в годы проведения исследования (по данным метеостанции Петринка) и среднемноголетия**

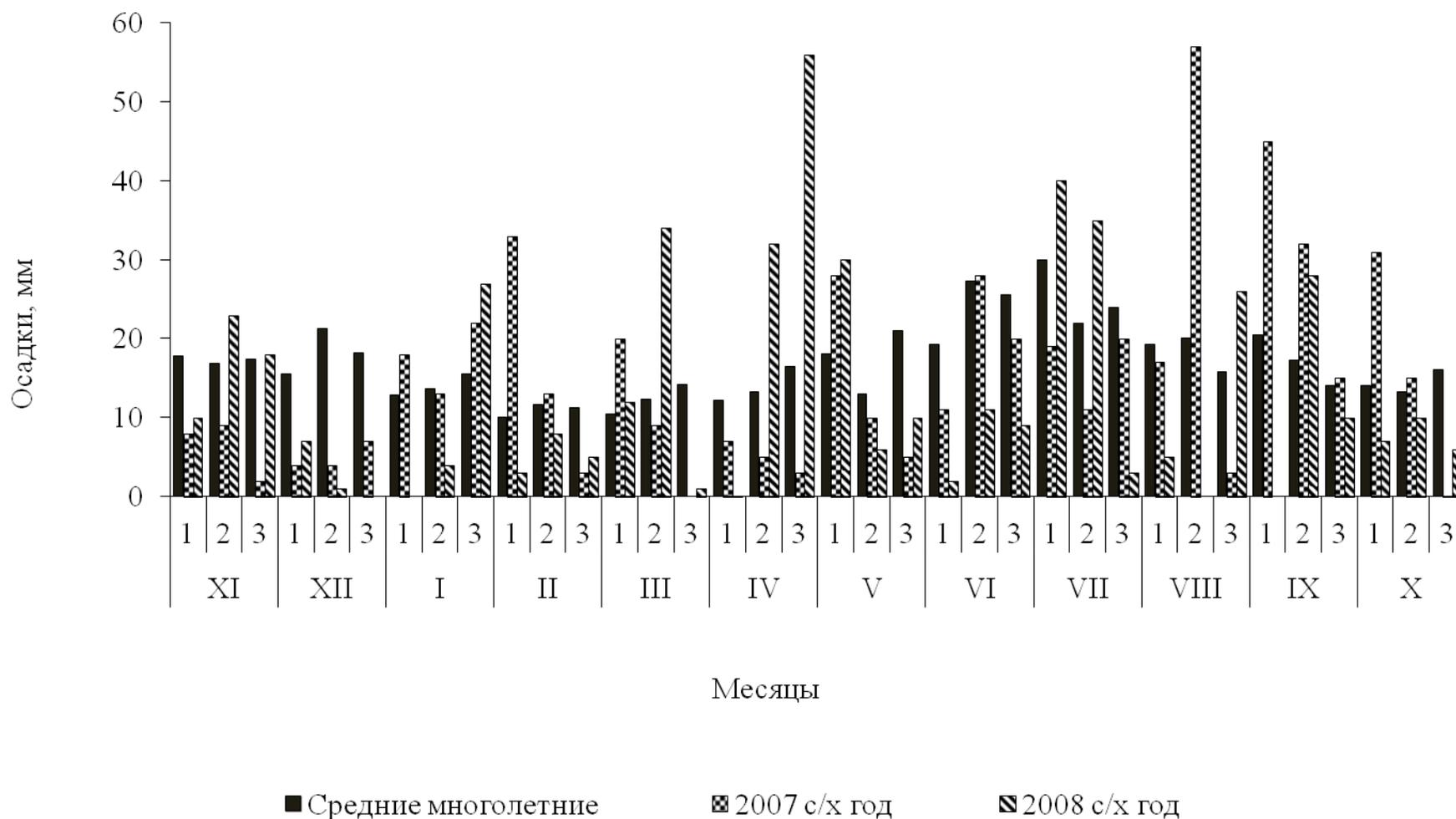


Рис. 2. Количество осадков в годы проведения исследований (по данным метеостанции Петринка)

В конце зимы (в третьей декаде февраля) граница мерзлого слоя опустилась до максимальных за зиму значений – 35-60 см, что в среднем в 1,5-3 раза меньше обычных значений.

Весенний режим погоды установился на 3-4 недели раньше обычных сроков после устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в сторону дальнейшего повышения и продолжался 73-74 дня, на 15-20 дней дольше обычного. Средняя температура его (из-за раннего наступления весны, холодной погоды в апреле и в первой декаде мая) оказалась на 2,5-3,5° ниже среднемноголетней и составила 5,5-6 °С. Весной преобладала погода с недобором осадков. Однако в целом за весенний сезон осадков оказалось в пределах среднемноголетних – 70-100 мм. Это произошло за счет существенных и частых осадков в первой декаде марта и в первой половине мая. В условиях аномально теплой, сухой и ветреной погоды в марте весенние процессы в среднем на 2-3,5 недели опережали обычные сроки. Снег с полей сошел 4-7 марта. Почва оттаяла на глубину 20 см в основном в середине второй декады марта, полностью – в конце второй – начале третьей декад марта.

Летний режим погоды установился 14-15 мая, на 7-12 дней раньше средних многолетних сроков. Лето характеризовалось умеренно тёплой, в начале – конце периода аномально жаркой погодой. В целом, средняя температура воздуха за сезон на 2,3°С превысила норму и составила 20,3 °С. Лето 2007 года характеризовалось не только теплой, но и сухой погодой. С середины мая и до конца первой декады июня (в течение 23-25 дней) эффективных осадков не было. В целом за летний период осадков выпало 246 мм, что близко к среднемноголетним значениям. Аномально жаркая и сухая погода во второй половине мая и августа способствовала возникновению на территории области суховейных явлений.

Осенний режим погоды (устойчивое снижение среднесуточной температуры воздуха через 15 °С) установился на 2-4 дня позже средних многолетних сроков. Переход среднесуточной температуры воздуха через 10 °С в сторону

дальнейшего понижения произошёл на 10-12 дней позже обычного. Средняя температура воздуха за сентябрь составила 13,5 °С (на 0,9°С выше среднеемноголетней), за октябрь 8,3 °С (на 2,5°С выше среднеемноголетней). С 7 сентября и до конца первой декады октября преобладала дождливая погода, в отдельные дни осадки были интенсивными. Во второй половине октября наблюдалась сухая погода без существенных осадков. За осенний период (сентябрь-октябрь) выпало 138 мм осадков, что превышало среднеемноголетние значения на 46,8%.

#### *Погодные условия в 2008 сельскохозяйственном году*

Для сельскохозяйственного года (с ноября 2007 по октябрь 2008 года) была характерна погода с колебаниями температурного режима и неравномерным выпадением осадков (рис.1,2). За счёт аномально тёплых периодов средняя температура воздуха за сельскохозяйственный год оказалась на 2,1° выше среднеемноголетней и составила 7,7 °С. Осадков в целом за год выпало 479 мм (78,5% от климатической нормы). Наблюдался дефицит осадков от среднеемноголетних значений: в декабре 2007 года – 85,5%; в 2008 году в феврале - 51,5%, июне - 69,4%, августе 43,6% и октябре - 46,5% (рис. 1 и 2).

Теплообеспеченность вегетационного периода оказалась несколько выше средней многолетней. Сумма эффективных температур выше 5 °С составила 2035°, сумма активных температур выше 10 °С – 2654°, превысив средние значения на 13,2% и 9,4%, соответственно.

Зимний режим погоды (переход среднесуточной температуры через 0 °С) установился на 1-1,5 недели раньше обычных сроков и продолжался 108-109 дней, что на 20-28 дней короче обычного. Для большего периода зимы была характерна теплая погода с положительными аномалиями температуры воздуха. Средняя температура воздуха за сезон составила 3-4,5° мороза, что на 1,5-2° выше среднеемноголетней. В сумме за ноябрь-февраль (по 2 декаду) отмечено от 30 до 43 дней с оттепелью, что на 10-17 дней больше средних многолетних значений.

В целом за зиму осадков выпало 60% нормы (110 мм). Снежный покров установился на 32-37 дней раньше обычных сроков. С середины января частые, хотя и слабые по интенсивности осадки способствовали постепенному увеличению снежного покрова.

На фоне слабо отрицательных значений температуры и незначительного снежного покрова промерзание почвы в ноябре и декабре было неглубоким. К концу декабря граница мерзлого слоя почвы проходила на глубине 10-20 см, что на 15-20 см меньше обычных значений. На конец января толщина мерзлой прослойки почвы приблизилась к обычным значениям. В конце зимы граница мерзлого слоя почвы опустилась до максимальных за зиму значений – 65-80 см.

Продолжительность весны составила 84-85 дней, на 24-29 дней дольше по сравнению с среднемноголетней. В среднем за весенний сезон температура воздуха составила 7,4 °С, что выше среднемноголетней на 3,8°С. В течение весеннего периода распределение осадков было неравномерное. Осадки выпадали часто в последней декаде февраля и в марте, но более интенсивными они были во второй декаде марта. За весенний сезон в среднем выпало 146 мм или 122% от нормы.

Аномально тёплая погода, удерживающаяся в феврале, способствовала преждевременному освобождению полей от снега. К концу февраля, на месяц раньше средних многолетних сроков, снежный покров растаял, и началось быстрое оттаивание почвы. Средняя температура почвы на глубине 5 и 10 см в начале апреля составляла 9-10 °С.

Летний режим погоды установился на 5-10 дней раньше средних многолетних сроков. Продолжительность летнего сезона оказалась на 12-20 дней длиннее обычной и составила 117-118 дней. Первая половина лета характеризовалась неустойчивым, вторая половина повышенным температурным режимом. За летний период (14, 16-18 августа, 8 сентября) был перекрыт абсолютный максимум температуры воздуха. В целом за сезон средняя температура воздуха на 1° превысила среднемноголетнюю и составила 18,5 °С. В це-

лом за летний период осадков выпало 147 мм (56,8% среднемноголетних). Влажность воздуха в течение лета была невысокой. Средние значения влажности воздуха были ниже среднемноголетних на 8-12%.

Лето закончилось 10-11 сентября, с переходом среднесуточной температуры воздуха через 15 °С в сторону дальнейшего понижения. Средняя температура воздуха за сентябрь составляла 12,7 °С (выше среднемноголетних на 0,3°С), за октябрь – 9,4 °С (выше среднемноголетних на 4,4 °С). Аналогичный температурный режим за последние 35 лет наблюдался в 1974 году. Переход среднесуточной температуры воздуха через 10 °С в сторону дальнейшего понижения осуществился на 11-15 дней позже обычного – 8-9 октября. Осень была сухая. Дожди проходили в основном во второй декаде сентября, в первой и второй декадах октября. В остальные периоды лишь в отдельные дни выпадали незначительные осадки. За два осенних месяца осадков выпало 61 мм (64,9% от среднемноголетних за этот период).

#### *Погодные условия в 2011 сельскохозяйственном году*

Сельскохозяйственный год (с ноября 2010 г. по октябрь 2011 г.) теплее, чем среднегодовая температура воздуха на 0,89°С (рис.3,4). За год выпало 444,1 мм осадков, что на 100,9 мм меньше по сравнению с многолетними данными. Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову (ГТК) составил 0,91. Недостаток осадков наблюдался почти в течение всего года, за исключением ноября и декабря, в остальные месяцы выпало осадков меньше многолетней нормы. Следует отметить, что в марте осадков выпало в 11,2 раза меньше среднемноголетней нормы, а в декабре почти в два раза больше.

Температура воздуха в среднем за декабрь-январь и февраль составила минус 8,7 °С, что ниже на 0,93° среднемноголетней. За зимний период количество осадков оказалось выше на 12 мм среднемноголетней нормы.

Весенний режим погоды установился с первой декады апреля. При этом количество осадков за апрель выпало в два раза меньше среднемноголетней нормы.

Летняя погода установилась со второй декады мая. В целом, средняя температура воздуха за сезон была выше нормы на 1,4°C. Всего за летний период выпало на 26,6 мм осадков больше по сравнению со среднемноголетними показателями.

Осенний режим установился в первой декаде сентября. Температурой ниже среднесуточной 10°C ознаменовалась вторая декада октября. Средняя температура за сентябрь была практически такой же как многолетняя норма (выше на 0,1°C), в октябре – 5,8°C, что точно совпадает с многолетней нормой. В сентябре выпало мало осадков, т.е. в 3,27 раза меньше, по сравнению со среднемноголетней нормой, в октябре - в 1,46 меньше нормы. За осенний период количество осадков превысило норму на 15,77%.

#### *Погодные условия в 2012 сельскохозяйственном году*

Сельскохозяйственный год (с ноября 2011 г. по октябрь 2012 г.) более теплым по сравнению со среднемноголетними данными (рис.3,4). Среднегодовая температура воздуха составила +7 °С, что выше среднемноголетних на 1,3 °С. За год выпало 468,7 мм осадков, что на 76,3 мм ниже нормы. Гидротермический коэффициент составил 0,92. Осадки в течение года распределялись неравномерно. Недобор в осадках наблюдался в феврале-апреле, а также в сентябре и ноябре. Значительные осадки (в 1,5-2 раза выше среднемноголетних) выпали в октябре, январе и августе.

Температура воздуха в среднем за декабрь-январь и февраль составила минус 6,3 °С, на 1° превысив среднемноголетнюю норму. В целом за декабрь, январь и февраль количество осадков оказалось немного выше среднемноголетних – 143 мм. Весенний режим погоды установился с апреля, при этом среднемесячные показатели превысили среднегодовые на 3,8 °С. Количество осадков в целом за весенний период соответствовало среднемноголетнему показателю.

Летний режим установился со второй декады мая. В целом средняя температура воздуха за сезон была выше нормы на 1,5 °С. За летний период

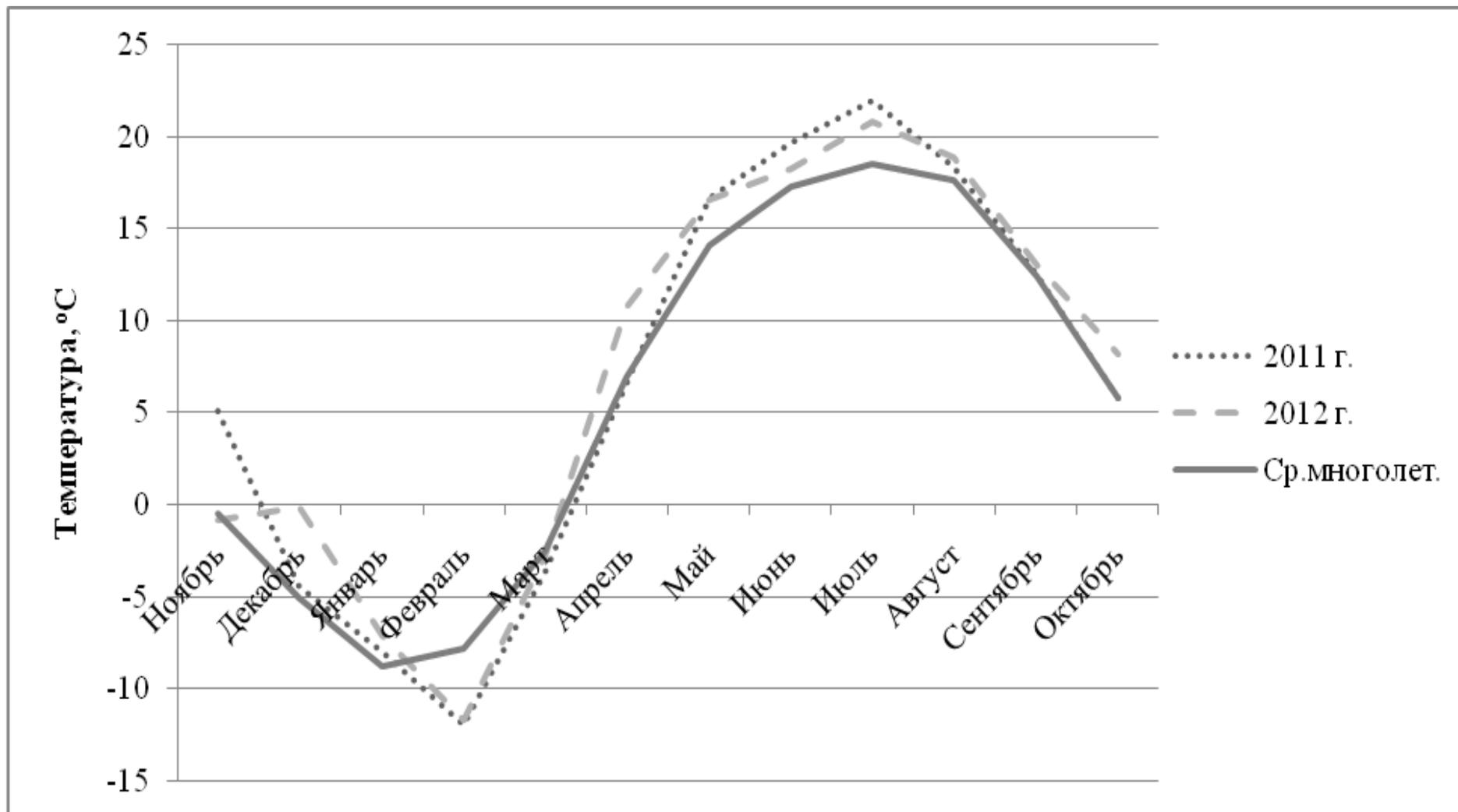


Рис. 3. Температура воздуха в 2010-2012 годы проведения исследования (по данным метеостанции Петринка) и среднемноголетия

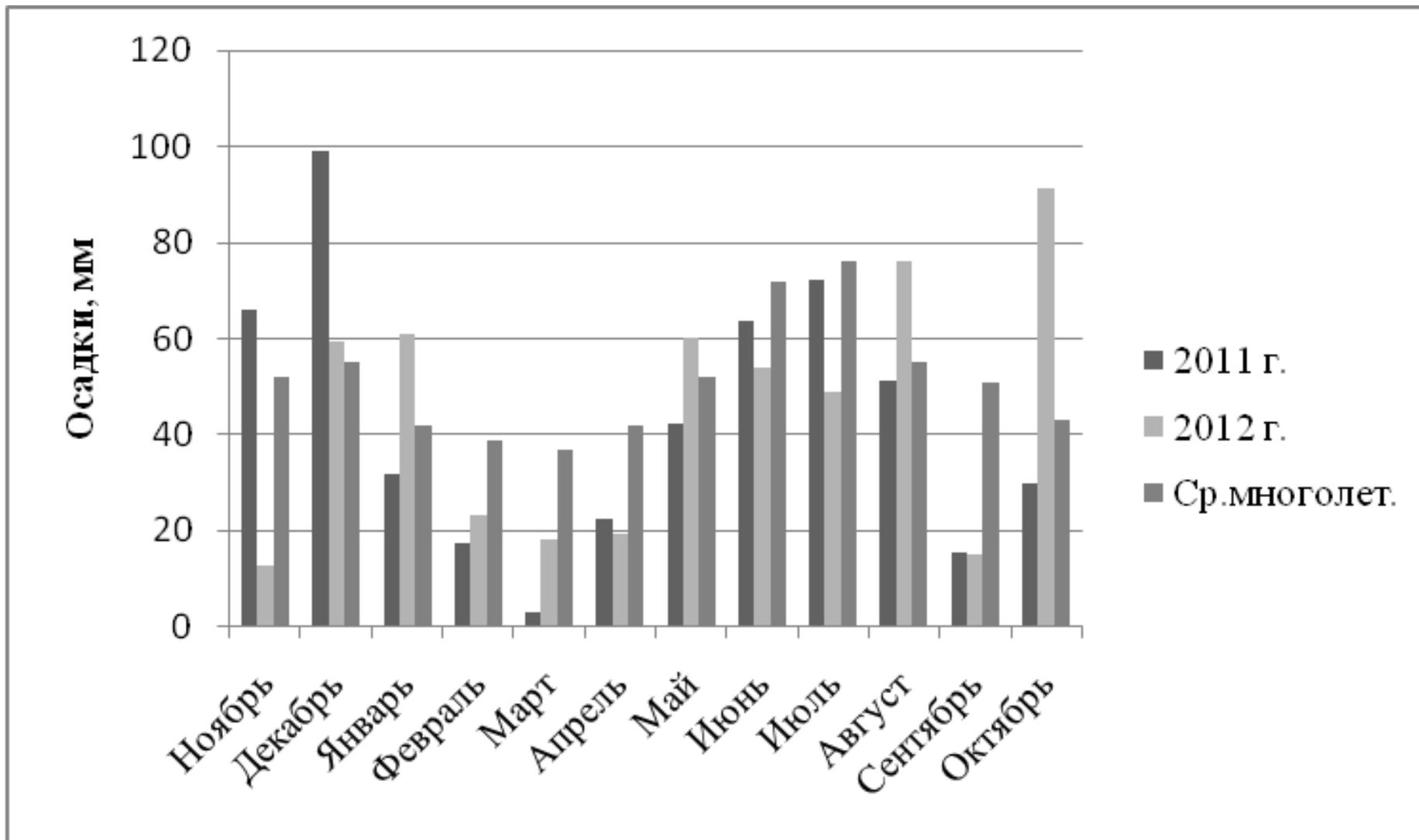


Рис. 4. Количество осадков в 2010-2012 годы проведения исследований (по данным метеостанции Петринка)

выпало 179 мм, что на 12% процентов ниже нормы.

Осенний режим установился в первой декаде сентября. Переход среднесуточной температуры через 10 °С произошел во второй декаде октября. Средняя температура за сентябрь составила 13 °С, что близко к среднемугодовым показателям (12,4 °С), за октябрь 8,2, что выше нормы на 2,6 °С. Сентябрь отметился засушливостью, выпало всего 15,3 мм (по сравнению с 51 мм). В октябре же напротив, осадки превысили в 2,1 раза норму. В целом за осенний период, количество осадков превысили норму на 13%.

Таким образом, погодные условия в 2007-2008 гг. по сравнению со средними многолетними характеризовались дефицитом осадков (меньше на 10,3-21,5 %) и повышенной среднегодовой температурой воздуха (выше на 47,4-35,1%). При этом в целом за 2008 год по сравнению с 2007 годом осадков выпало меньше на 12,4% (68 мм), а средняя температура воздуха была ниже на 8,3% (0,7 °С). А в 2011-2012 гг. погодные условия по сравнению со среднемугодовыми отличались дефицитом осадков (меньше на 10,8-18,5 %) и повышенной среднегодовой температурой воздуха (выше на 15,6-22,8 %). Из рассматриваемых трех лет наиболее засушливым 2011, наиболее теплым – 2012 год. По показателю увлажненности территории 2011 и 2012 годы были недостаточно увлажненными (ГТК=0,91-0,92).

#### **4.2. Объекты и методика проведения исследований**

Для апробации метода оценки и нормирования антропогенной нагрузки по её влиянию на трансформацию органического вещества почвы в агроландшафте, метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества), метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по её влиянию на устойчивость органического вещества почвы исследования проводились на чернозёмах типичных среднесиловых тяжелосуглинистых в лесополосе (27-28 лет); на залежи (23-24

года) и на пашне (23-24 года) на пяти вариантах (три вида севооборота, бес-  
сменные многолетние травы и бессменный пар). Предметом изучения явля-  
лись органическое вещество и химические, физические, биологические свой-  
ства черноземных почв.

Залежь расположена на склоне северной экспозиции ниже водорегули-  
рующей лесополосы (вариант 14 бывшего эрозионного блока), не пашется с  
1983 года. Растительный покров залежи представлен плотнокустовой разно-  
травно-злаковой растительностью. Почва – чернозем типичный среднемош-  
ный среднегумусный тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суг-  
линках. К залежи примыкает пашня с зерновым севооборотом (ЗС). В начале  
закладки эрозионного блока с 1984 до закрытия в 1996 гг. на этом варианте  
был введён зернопаропропашной севооборот с безотвальной вспашкой без  
удобрений, после 1996 года – зерновой севооборот (табл.1). Почва – чернозем  
типичный среднемошный малогумусный тяжелосуглинистый на карбонатных  
лессовидных суглинках.

Водорегулирующая лесная полоса представлена смесью евро-  
американских гибридов тополей «Робуста – 236» и «Заря». Данные подвиды  
относятся к подроду бальзамического тополя, отличаются свето- и влаголю-  
бием, требовательны к плодородию почвы. В период исследований тополевые  
полосы находились во втором возрастном периоде (Лукьянчикова М.И.,  
1997), отличающемся усиленным ростом, резко выраженной дифференциаци-  
ей по высоте и диаметру стволов, усыханием нижних боковых ветвей во  
внутренних рядах. Средняя высота лесополос варьирует в пределах 14,5-20 м,  
средний диаметр 15,1-30,2 см, средний запас древесины 166-672 м<sup>3</sup>/га. Со-  
хранность насаждений на момент учёта составила 36-62%; количество де-  
ревьев на единицу площади колебалось по вариантам от 1194 до 2083 шт./га,  
что близко и даже несколько превышает рекомендуемую в этом возрастном  
периоде (1,1-1,3 тыс. шт./га). Почва – чернозём типичный среднемошный ма-  
логумусный тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суглинках.

Кроме того, исследования проводили на пашне в многолетнем многофакторном полевом стационарном опыте ГНУ ВНИИЗиЗПЭ на следующих вариантах: без удобрений, зернопаропропашной севооборот, 6-я ротация, отвальная обработка севооборота (ЗППС); без удобрений, зернотравяной севооборот, 6-я ротация, отвальная обработка (ЗТС); в блоке 3 (бессменные посеы) на вариантах: без удобрений, многолетние бессменные травы (МТ); без удобрений, бессменный пар, отвальная обработка (БП).

Чередование сельскохозяйственных культур в севооборотах представлено в таблице 4. Система отвальной обработки заключалась в проведении вспашки почвы под пропашные культуры на глубину 25-28 см (под кукурузу), а под остальные культуры севооборотов – на 20-22 см.

Почва – чернозем типичный среднemocный малогумусный тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суглинках. Свойства почв изучаемых объектов подробно представлены в разделах 6.2, 6.3 данной работы.

Таблица 4

**Чередование культур в севооборотах многолетнего многофакторного стационарного полевого опыта ВНИИЗиЗПЭ**

Севообороты	Год			
	2006	2007	2008	2009
Зернопаропропашной (ЗППС)	Чистый пар	Озимая пшеница	Кукуруза	Ячмень
Зернотравяной (ЗТС)	Травы	Озимая пшеница	Ячмень + травы	Травы
Зерновой (ЗС)	Озимая пшеница	Ячмень	Гречиха	Ячмень

Для апробации метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества) изучали гумусное состояние почвы, агрохимические свойства, содержание микробной биомассы на всех объектах исследования. Для этого отбор смешанных почвенных образцов проводили по диагонали делянок из 6 точек буром в слоях 0-25 см и 25-50

см. Отбор образцов почвы отбирали один раз за вегетационный сезон после уборки урожая. Содержание негумифицированного органического вещества и плотность почвы определяли бурами объемами 500 см<sup>3</sup> и 250 см<sup>3</sup> в слоях 0-10 см, 10-20 см, 20-25 см, 25-35 см, 35-45 см, 45-50 см согласно методике.

Почвенную мезофауну определяли методом почвенных раскопок с послойной ручной разборкой почвы в трехкратной повторности после уборки урожая. Надземную фитомассу и урожайность сельскохозяйственных культур определяли вручную методом пробных площадок в 5-ти кратной повторности.

Изучались следующие характеристики почвы:

А. Биологические показатели:

- Содержание углерода микробной биомассы в свежих почвенных образцах – регидратационным методом (С.А. Благодатский, Е.В. Благодатская, А.Ю. Горбенко, Н.С. Паников, 1987).
- Надземная фитомасса и урожайность – вручную, методом пробных площадок (Б.А. Доспехов, 1973).
- Почвенная мезофауна – методом почвенных раскопок с послойной ручной разборкой почвы (М.С. Гиляров, 1975).

Б. Показатели гумусного состояния почвы:

- Содержание гумуса – по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Д.С. Орлову и Н.М. Гриндель (Б.А. Никитин, 1972; Б.А. Никитин, 1983).
- Групповой и фракционный состав гумуса – по схеме И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономарёвой и Т.А. Плотниковой (1980).
- Лабильные гумусовые вещества и их состав в 0,1 н вытяжке NaOH по методике Почвенного института с предварительным компостированием (Рекомендации для исследования..., 1984).
- Негумифицированное органическое вещество – методом монолитов с последующим отмыванием на ситах (Б.А. Доспехов и др., 1987).

В. Физические свойства:

- Влажность почвы – весовым методом (А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986).
- Плотность сложения почвы – буровым методом по Н.А. Качинскому (А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986).
- Структурно-агрегатный состав почвы – по методу Н.И. Саввинова (А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986; Теории и методы физики почв, 2007).

Г. Показатели химических свойств:

- Содержание общего азота – по Кьельдалю (Агрохимические методы исследования почв, 1975).
- Щелочногидролизуемый азот – по методу Корнфильда (Агрохимические методы исследования почв, 1975).
- Подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91) (Агрохимические методы исследования почв, 1975).
- Обменные основания – трилонометрическим методом (Агрохимические методы исследования почв, 1975) (ГОСТ 27821-88).
- рН солевая и рН водная – потенциометрическим методом (Л.Н. Александрова, О.А. Найденова, 1976) (ГОСТ 26483-85).

Для апробации метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по её влиянию на устойчивость органического вещества почвы были отобраны смешанные почвенные образцы по диагонали делянок из 6 точек буром в слоях 0-25 см и 25-50 см после уборки урожая. В почвенных образцах определяли содержание гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Д.С. Орлову и Н.М. Гриндель (Б.А. Никитин, 1972; Б.А. Никитин, 1983). Содержание негумифицированного органического вещества и плотность почвы определяли бурами объемами 500 см<sup>3</sup> и 250 см<sup>3</sup> в слоях 0-10 см, 10-20 см, 20-25 см, 25-35 см, 35-45 см, 45-50 см согласно методике.

Для апробации метода нормирования антропогенной нагрузки по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса исследования проводили в 2011-2012

гг. в многофакторном полевом стационарном опыте ГНУ ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии на чернозёме типичном тяжелосуглинистом на водораздельном плато, склонах северной и южной экспозиции в 7-ю ротацию четырехпольных севооборотов [зернопаропропашного (ЗППС) и зернотравяного (ЗТС)] при отвальной и безотвальной системах обработки, без внесения удобрений. Варианты опыта, на которых проводили исследования, представлены в таблице 5. Глубина обработки под кукурузу – 25-28 см, а под остальные культуры севооборотов – на 20-22 см.

Таблица 5

**Варианты многофакторного полевого стационарного опыта**

Экспозиции	№ варианта	Удобрения	Обработка	Севооборот
Северная экспозиция	18	-	Отвальная	Зернопаропропашной
	32	-	Безотвальная	Зернопаропропашной
	110	-	Отвальная	Зернотравяной
Южная экспозиция	10	-	Отвальная	Зернопаропропашной
	1	-	Безотвальная	Зернопаропропашной
	46	-	Отвальная	Зернотравяной
Водораздельное плато	1	-	Отвальная	Зернопаропропашной
	10	-	Безотвальная	Зернопаропропашной
	55	-	Отвальная	Зернотравяной

Чередование сельскохозяйственных культур в севооборотах представлено в таблице 6. Общая площадь делянки 100 м<sup>2</sup>, учетная - 54 м<sup>2</sup>, повторность двухкратная.

Почва – чернозем типичный среднесплодный малогумусный тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суглинках.

**Чередование культур в севооборотах многофакторного  
полевого стационарного опыта ГНУ ВНИИЗиЗПЭ**

Севообороты	Год			
	2010	2011	2012	2013
Зернопаропропашной (ЗППС)	Ячмень	Чистый пар	Озимая пшеница	Кукуруза
Зернотравяной (ЗТС)	Травы	Травы	Озимая пшеница	Ячмень + травы

В многофакторном полевом опыте изучали для апробации метода нормирования антропогенной нагрузки по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса следующие характеристики почвы:

- Выделение  $\text{CO}_2$  из почвы в полевых условиях методом адсорбции в модификации Л.О. Карпачевского (1977) с изоляторами определяли ежемесячно в течение мая-сентября в 3-кратной повторности. Потоки эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы рассчитывались за день, сутки, декаду, месяц с учетом полученных экспериментальных результатов и ранее проведенных исследований по суточной и подекадной его динамике на данном опыте (Нагорная О.В., 2007). При расчете потери С из органического вещества почвы учитывали микробное дыхание почвы, составляющее 2/3 от дыхания почвы (Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. и др., 2007). Эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы чистого пара соответствует микробному дыханию.

- Содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Д.С. Орлову и Н.М. Гриндель (Б.А. Никитин, 1972; Б.А. Никитин, 1983). Отбор смешанных почвенных образцов проводили по диагонали делянок из 6 точек буром в слоях 0-20 см и 20-40 см ежегодно после уборки урожая.

- Плотность почвы определяли буровым методом по Н.А. Качинскому в слоях 0-10 см, 10-20 см, 20-30 см, 30-40 см, 40-50 см согласно методике (А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986).

Для обработки полученных данных применяли статистические методы анализа (Е.А. Дмитриев, 1972; Б.А. Доспехов, 1985) с использованием программных средств Microsoft Office EXCEL, STATISTICA.

## **5. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И СИСТЕМА ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ**

На основе анализа и обобщения научной литературы (Реймерс Н.Ф., 1990; Виноградов Б.В., Орлов В.В., Снакин В.В., 1993; Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г., 1994; Кирюшин В.И., 1996; Банников А.Г., 1999; Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. и др., 2000, 2004; Сизов, 2000; Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С. и др., 2003; Черкасов Г.Н., Масютенко Н.П., Дегтева М.Ю. и др., 2005; Опекунов А.Ю., 2006; Яковлев А.С., Макаров О.А., 2006; Яковлев А.С., Гендуков В.М., Глазунов Г.П., 2009; Яковлев А.С., Евдокимова М.В., 2010, 2011; Масютенко Н.П., Кузнецов А.В., 2010; Рискин Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г., Левич А.П., 2012; Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рискин Д.В., Милько Е.С., 2013; Терехова В.А., Пукальчик М.А., Яковлев А.С., 2013, 2014; Dawson and Fry, 1998; Lefrou et al., 1999; McNeely and Scherr, 2003; Mitsch and Jorensen, 2003; Dore et al., 2011; Wesel E. et al., 2009; Malezieux, 2012 и др.) по нормированию антропогенной нагрузки в агроландшафтах, проведения собственных исследований предложен методический подход к разработке системы оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, основными положениями которого являются:

1. Для предотвращения чрезвычайной экологической ситуации, рационального использования почв, сохранения почвенных и земельных ресурсов необходимо создание системы оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов с целью обеспечения получения заданного количества и качества сель-

скохозяйственной продукции.

2. Сложность в развитии системы экологического нормирования почв состоит в том, что до настоящего времени в стране не развита единая научная концепция нормирования в области охраны окружающей среды в целом. Существуют лишь отдельные научно-методические подходы к регулированию экологического качества почв.

3. В природоохранной практике наиболее распространены и нормативно утверждены две шкалы ранжирования значений показателей качества и воздействия на окружающую природную среду (ОПС) – трехуровневая (Критерии оценки экологической обстановки, 1992) и пятиуровневая (Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба, 1999), целевая функция которых направлена на выявление зон бедствия, а не на *предупреждение негативных последствий антропогенных воздействий на окружающую среду*. Поэтому важно проводить экологическое нормирование антропогенной нагрузки, так как экологическое нормирование - это нормирование антропогенного воздействия на экосистему в пределах ее экологической емкости, не приводящего к нарушению механизмов саморегуляции. Предельно допустимая экологическая (антропогенная) нагрузка (ПДЭН) на окружающую среду (максимальная интенсивность антропогенного воздействия на окружающую среду) не должна вызывать нарушения нормального функционирования данной экосистемы и приводить к нарушению её устойчивости.

4. Показатели и критерии экологического нормирования антропогенной нагрузки должны отвечать следующим требованиям: информативность (тесная корреляция между показателем и антропогенным фактором), высокая чувствительность, незначительное варьирование показателя, доступные методики их определения, их хорошая воспроизводимость.

5. Основную роль в стабилизации биогеоценотического процесса в ландшафтах и агроландшафтах играют почвы, выступающие в качестве своеобразного связующего звена, регулятора и преобразователя различных веще-

ственно-энергетических потоков. Критерии экологического нормирования антропогенной нагрузки должны быть тесно связаны со сбалансированностью почвенных процессов, устойчивостью и производительной способностью почвы. Как указывает В.И. Кирюшин (Агроэкологическая оценка земель..., 2005), экологическая устойчивость агроландшафтов реализуется режимами: органического вещества, биогенных элементов, реакции среды, окислительно-восстановительных условий, структурного состояния и сложения почвы, воздуха, влаги, тепла, биогенности, биологической активности почвы, фитосанитарного состояния агроценозов.

6. Органическое вещество почвы играет значительную роль в обеспечении устойчивости процесса трансформации энергии и вещества в агроэкосистеме. Интегральным показателем экологической устойчивости почвы и её экологического равновесия является сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества почвы. Достаточно значимым количественным показателем интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы может служить интенсивность потери C из органического вещества почвы с эмиссией CO<sub>2</sub>, а процессы гумусообразования связаны непосредственно с поступлением в почву органического вещества в виде растительных, пожнивно-корневых остатков, органических удобрений и т.п.

7. Экологически сбалансированный агроландшафт – это агроландшафт, обладающий экологическим равновесием и устойчивостью. Равновесие биогеоценозов складывается в результате баланса противоположно направленных процессов: продукционного и деструкционного; гумификации и минерализации; образования и разрушения структуры почвы; уплотнения и разуплотнения почв; поступления и выноса веществ; поступления токсикантов и их разложения; эрозионных процессов и почвообразования; соотношения биологических видов; соотношения процессов, определяющих подвижность биогенных элементов (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

8. Для обеспечения экологической устойчивости агроландшафта не-

обходимо задавать такие параметры производству, при которых технологические нагрузки находились бы в пределах экологической емкости агроландшафта. Допустимая антропогенная нагрузка должна соответствовать определенным критериям, чтобы обеспечивать экологическую и производительную устойчивость агроландшафта. Если в агроландшафте не будет должного соответствия между его компонентами или же будут нарушаться земледельческие технологии, то все это отразится на балансе вещества и энергии, почвенном плодородии и продуктивности.

9. К показателям, характеризующим экологическую сбалансированность и устойчивость агроландшафтов, относится соотношение угодий в нем. Для обеспечения устойчивости агроландшафтов необходимо, чтобы его основой служил экологический каркас из экологически устойчивых экосистем по своему функционированию и параметрам близких к природным. Необходимо оценивать и нормировать антропогенную нагрузку для всех угодьев агроландшафта. Одним из показателей устойчивости агроландшафта является его способность сохранять производительную устойчивость при воздействии внешних факторов. Этот показатель может быть критерием нормирования антропогенной нагрузки.

10. Экологические нормативы должны разрабатываться на локальном и региональном уровнях, обеспечивая тем самым экологическое равновесие в глобальном масштабе.

11. Для каждой природно-сельскохозяйственной провинции должны разрабатываться параметры агроэкологической нагрузки, которую выдерживают различные категории агроландшафтов, сохраняя экологическую и агрономическую устойчивость.

Разработана система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, включающая

1. критерии оценки и нормирования антропогенной нагрузки,
2. методы оценки и нормирования антропогенной нагрузки,

3. шкалы оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах.

*Объектами* экологического нормирования являются агроландшафты и угодья в них. *Предмет* экологического нормирования –безопасные пределы воздействия антропогенной нагрузки на агроландшафты и их угодья в процессе природопользования.

Предложены следующие *критерии* оценки и нормирования антропогенной нагрузки:

- степень интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы,

- интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества почвы),

- комплекс показателей, отражающих направленность почвенных процессов (уровень их воспроизводства), качество почвы (агрохимические, агрофизические и биологические параметры), уровень деградации (степень эродированности, величина смыва, химическое загрязнение), производительную устойчивость агроландшафта,

- показатель устойчивости органического вещества почвы,

- соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса (сбалансированность процессов, показатель устойчивости почвы),

- оптимальность размера пашни в структуре агроландшафта и близость показателя эколого-экономической эффективности агротехнологии к эталонному значению для элементарной агроэкосистемы.

Разработано шесть методов оценки и нормирования антропогенной нагрузки:

1. Метод, позволяющий оценить комплексное воздействие пяти факторов (вид растительности, сельскохозяйственной культуры; применение севооборотов, система обработки почвы, внесение органических удобрений, внесение минеральных удобрений) на трансформацию органического веществ-

ва почвы в баллах, и на этой основе провести её нормирование. Метод рекомендуется использовать для оценки, прогнозирования и нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

2. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества). Рекомендуется для проведения контроля агроландшафтов по антропогенной нагрузке и при формировании агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

3. Метод, позволяющий на основе анализа комплекса показателей, отражающих направленность и уровень воспроизводства почвенных процессов, качество почвы, степени деградаций и производительную устойчивость агроландшафта, провести оценку соответствия антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта, а также её нормирование.

Оценка качества почвы, направленности её воспроизводства проводится по балансу гумуса, степени компенсации выноса питательных элементов из почвы, содержанию в пахотном слое гумуса, питательных элементов, с учетом емкости катионного обмена, рН почвы; плотности, порозности почвы, коэффициента структурности, суммы водоустойчивых агрегатов, обогащенности почвы ферментами; содержанию тяжелых металлов в почве, тяжелых металлов, нитратов в растениях с учетом предельно допустимых концентраций, фактического и допустимого смыва почвы.

Оценка производительной устойчивости агроландшафта проводится по фактической и потенциальной урожайностям сельскохозяйственной культуры, коэффициенту её вариации во времени по годам.

Метод отличается комплексностью, всесторонним подходом, рекомендуется использовать для оценки и нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

4. Метод, позволяющий на основании определения соотношения интенсивности потери органического вещества в почве по эмиссии  $\text{CO}_2$  и уровня компенсации дефицита баланса гумуса оценивать устойчивость почвы и на этой основе проводить её нормирование. Метод позволяет экспериментально оценить сбалансированность процессов потери и восполнения органического вещества почвы и на этой основе более точно нормировать антропогенную нагрузку. Рекомендуется для проведения контроля агроландшафтов по антропогенной нагрузке (при отсутствии химического загрязнения) и для нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов.

5. Метод, позволяющий на основании определения показателя устойчивости органического вещества почвы по фактическому содержанию в почве негумифицированного органического вещества и гумуса оценивать степень антропогенной нагрузки на почву и проводить её нормирование. Метод актуален в агроландшафтах при отсутствии химического загрязнения, рекомендуется для проведения контроля агроландшафтов по антропогенной нагрузке и для нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

6. Координатный метод оценки нормируемых агротехногенных нагрузок в элементарных агроэкосистемах позволяет определить класс качества нагрузки и выбрать оптимальный вариант природопользования. Метод рекомендуется использовать при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия и для оценки качества природопользования.

Выбор метода оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте определяется:

- функциональными целями,
- наличием необходимой информации, в т.ч. экспериментальной,
- длительностью получения информации, в т.ч. экспериментальной,

- возможностью проведения обследования для получения необходимой информации.

Наиболее реально получить необходимую информацию для реализации первого метода (за предыдущие 3-5 лет или планируемую на ротацию севооборота), а также для пятого, так как потребуются небольшие дополнительные почвенные и лабораторные исследования по определению в почвах угодий содержания гумуса и негумифицированного органического вещества. При применении третьего метода необходимо дополнительно провести обследования по определению физических и биологических свойств почвы.

Четвертый метод требует измерения выделения  $\text{CO}_2$  из почвы угодий в динамике за май-сентябрь (это проводится за рубежом при мониторинге содержания органического углерода в почве) и содержания гумуса и негумифицированного органического вещества после уборки урожая. Для реализации второго метода, отличающегося комплексностью и всесторонностью, требуется большое количество информации, частично имеющуюся в хозяйстве, а отсутствующую информацию можно получить при проведении дополнительного обследования.

Для обеспечения формирования экологически устойчивых агроландшафтов при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия необходимо выполнение следующих условий:

1. антропогенная нагрузка ни одного угодья в агроландшафте не должна быть недопустимой,
2. при установлении в угодье предельно допустимой нагрузки необходимо проводить её корректировку за счет проведения агротехнических и противоэрозионных мероприятий для доведения её до допустимой.

Проверить и оценить антропогенную нагрузку в агроландшафте в первом, втором и пятом методе можно по следующей формуле 1:

$$\text{Нал} = \frac{K_1 S_1 + K_2 S_2 + \dots + K_i S_i}{S_1 + S_2 + \dots + S_i} \quad (1)$$

где: Нал - показатель антропогенной нагрузки в агроландшафте, ед. изм.;  
 S - площадь поля или угодья в агроландшафте, га; 1,2...i - номера полей или угодий в агроландшафте.

## **6. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ**

### **6.1. Метод оценки и нормирования антропогенной нагрузки по её влиянию на трансформацию органического вещества почвы в агроландшафте и его апробация**

Органическое вещество почвы (ОВ), непосредственно влияя на все почвенные свойства (физические, химические, биологические) и режимы (воздушный, водный, тепловой и т.д.), играет большую роль в почвообразовании и формировании плодородия. Направленность и степень трансформации органического вещества в почве, несомненно, является интегральным показателем, как экологического состояния, так и степени агрогенного воздействия на почву. Поэтому для оценки и нормирования агрогенных нагрузок на почву доработан и модифицирован разработанный ранее нами метод (Критерии и параметры допустимых антропогенных нагрузок..., 2005, Масютенко, Кузнецов, 2009, 2010).

Согласно этому методу, оценка интенсивности воздействия антропогенных нагрузок (I) на органическое вещество почвы производится на основе учёта показателя трансформации органического вещества почвы (табл.7). Именно по данному показателю и происходит дифференциация агрогенных нагрузок на положительные и отрицательные.

**Оценка направленности и степени трансформации  
органического вещества в почве (Масютенко Н.П. и др., 2005)**

Направленность трансформации органического вещества почвы	Значения баланса гумуса, т/га	Показатель трансформации органического вещества почвы
Очень активная минерализация	<-1,2	-4
Активная минерализация	<-0,8	-3
Минерализация	(-0,4) – (-0,8)	-2
Преобладание минерализации над гумификацией	(-0,06) – (-0,39)	-1
Равновесие	(-0,05) – 0,05	0
Преобладание гумификации над минерализацией	0,06-0,39	+1
Гумификация	0,4-0,8	+2
Активная гумификация	0,8-1,2	+3
Очень активная гумификация	>1,2	+4

Как видно из таблицы 8, для оценки агрогенного воздействия на органическое вещество чернозёма типичного были использованы наиболее значимые агрогенные факторы: вид растительности, сельскохозяйственной культуры; применение севооборотов, система обработки почвы, внесение органических удобрений, внесение минеральных удобрений. Иными словами, в основе используемой оценки агрогенного воздействия лежит балльная градация интенсивности действия на ОВП наиболее значимых факторов. Метод позволяет оценивать комплексное воздействие пяти факторов по показателю трансформации органического вещества почвы в баллах и на этой основе провести её нормирование.

Показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок (I) на трансформацию органического вещества черноземных почв определяют по формуле 2:

$$I_{\text{п}} = I_1 + I_2 + I_{\text{зили 5}} + I_4 + I_{\text{били 7}} + I_8 + I_9 \quad (2)$$

где:  $I_p$  - показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы за год на поле, балл; 1-9– номер влияющего фактора (см. табл.8).

Таблица 8

**Шкала оценки интенсивности воздействия антропогенных нагрузок (I) на трансформацию органического вещества черноземных почв**

Фактор	I, балл	Фактор	I, балл
1. Растения		3. Севооборот	+1 (за год)
многолетние бобовые	+4	4. Многолетняя плотнокустовая злаковая растительность	+4
травы			
разнотравье	+3	5. Бессменные посевы	-1 (за год)
разнотравье в лесополосе	+2	6. Обработка почвы:	
зернобобовые	+2	глубокая вспашка	-3
зерновые озимые	+1	вспашка	-2
зерновые	0	плоскорезная обработка	0
крупяные	-1	минимальная (нулевая)	+1
силосные	-2	чизельная	-1
пропашные	-3	7. Без обработки	+2
пар	-4	8. Органические удобрения, 3,5 т/га	+2
2. Деревья	+2	9. Минеральные удобрения	+1

Показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы в севообороте в среднем за год на поле рассчитывают по формуле 3:

$$I_{пс} = \frac{I_{п1} + I_{п2} + \dots + I_{пn}}{n} \quad (3)$$

где:  $I_{пс}$  - показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы в севообороте в среднем за год на поле, балл;  $n$  - количество лет в севообороте; 1,2.....  $n$  – номер года в севообороте по порядку.

Показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы в агроландшафте за севооборот определяют по формуле 4:

$$I_{ал} = \frac{I_{пс1}S_1 + I_{пс2}S_2 + \dots + I_{псi}S_i}{S_1 + S_2 + \dots + S_i} \quad (4)$$

где:  $I_{ал}$  - показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы в агроландшафте за севооборот, балл;  $S$  - площадь поля в агроландшафте, га;  $1, 2, \dots, i$  - номера полей в агроландшафте.

Описание объектов исследования приведено в разделе 4.2. Согласно предложенному методу они были оценены в баллах по этим факторам по формулам 1-3. Суммирование баллов позволило получить интегральный балл – основной показатель интенсивности агрогенного воздействия на органическое вещество почвы. Согласно проведённой оценке изучаемых объектов (табл.9) максимальное количество положительных ( $I$ ) баллов отмечается в лесополосе (+6) и на залежи (+6) – угодьях, практически неподверженных агрогенному воздействию.

Таблица 9

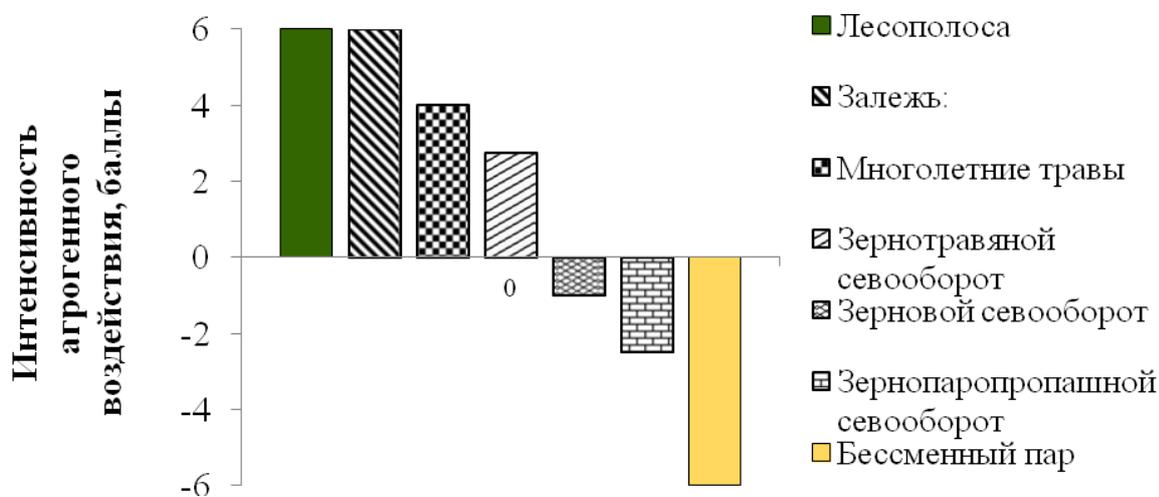
**Оценка интенсивности воздействия антропогенных нагрузок ( $I$ ) на органическое вещество черноземных почв объектов исследования**

Объект исследования	Показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию ОВ в агроландшафте за севооборот, балл
Лесополоса	+6
Залежь	+6
Многолетние травы, бессменно	+4
Зернотравяной севооборот	+2,75
Зернопропашной севооборот	-1
Зернопаропропашной севооборот	-2,5
Бессменный пар	-6

В то же время при бессменном паровании наблюдалось наиболее интенсивное отрицательное воздействие антропогенных нагрузок на органическое вещество черноземных почв (количество баллов равно - 6). Остальные угодья по количеству и знаку ( $I$ ) баллов заняли промежуточное положение

между рассмотренными выше угодьями. Так, степень положительного агрогенного воздействия на органическое вещество почвы на залежи в 1,5 раза выше, чем под многолетними травами. В то же время в пахотной почве с зернотравяным севооборотом наблюдается по сравнению с многолетними травами снижение на 45% интенсивности положительного агрогенного воздействия. А в чернозёме типичном на пашне под зерновым и зернопаропропашным севооборотах отмечается постепенный рост отрицательного агрогенного воздействия на органическое вещество почвы.

Более наглядно результаты этой балльной оценки степени воздействия агрогенных нагрузок представлены на рисунке 5. На данном рисунке видна дифференциация (разделение) изучаемых угодий по величине и знаку (положительному и отрицательному) агрогенного воздействия на органическое вещество почвы. Однако, несмотря на то, что в результате изучаемые угодья чётко



**Рис. 5. Оценка интенсивности воздействия агрогенных нагрузок (I) на органическое вещество черноземных почв изучаемых угодий**

дифференцируются по степени агрогенного воздействия (различаются по количеству и знаку оценочных (I) баллов), данная система оценки имеет серьезное противоречие. Так, почему в лесополосе и на залежи при отсутствии агрогенного воздействия степень интенсивности агрогенной нагрузки в (I) баллах принимает такие высокие, хотя и положительные значения? Очевидно, причиной этого является то, что рассматриваемая шкала оценочных (I) баллов

показывает (отражает) не нагрузку, а «недогрузку» (недостачу) агрогенного воздействия на органическое вещество чернозёма типичного этих угодий.

Кроме того, используемая система оценки, оперирующая как положительными, так и отрицательными значениями (I) баллов, не очень удобна для изучения влияния степени агрогенного воздействия на качественные свойства чернозёма типичного (так как сравниваются положительные значения с положительными или отрицательными).

Для решения возникшего противоречия и повышения удобства использования данной системы оценки необходимо от максимальной «недогрузки» в данном ряду угодий вычесть сумму (I) баллов, полученных на каждом изучаемом объекте. Результаты этого действия отражены в таблице 10. Согласно полученной оценке в лесополосе и залежи наблюдается наименьшая степень агрогенного воздействия, которая равна 0 баллов. Далее согласно рассматриваемой оценке по количеству (I) баллов, а, следовательно, и по степени агрогенного воздействия на чернозём типичный, изучаемые объекты на пашне располагаются следующим образом: бессменные многолетние травы, зерно-травяной севооборот, зерновой севооборот и зернопаропропашной севооборот.

Таблица 10

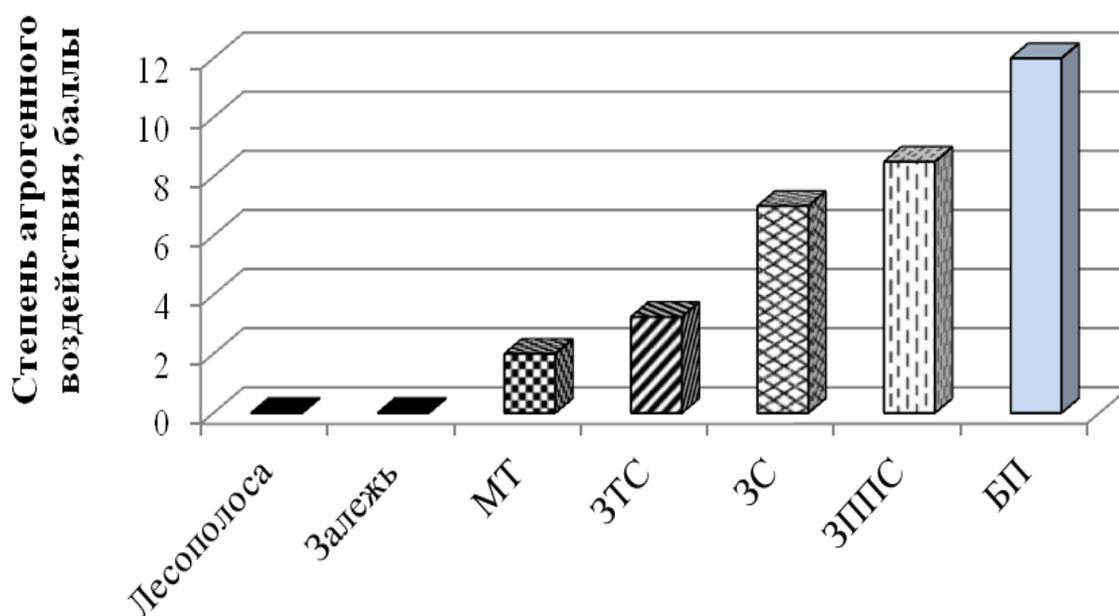
**Оценка степени воздействия агрогенных нагрузок на органическое вещество черноземных почв объектов исследования**

Объект исследования	Степень антропогенного воздействия, балл
Лесополоса	0
Залежь	0
Многолетние травы, бессменно	2
Пашня, зернотравяной севооборот	3,25
Пашня, зерновой севооборот	7
Пашня, зернопаропропашной севооборот	8,5
Пашня, бессменный пар	12

Максимальное количество оценочных баллов наблюдается при бессменном паровании чернозёма типичного, испытывающего наиболее сильное аг-

рогенное воздействие. Следовательно, предложенная и усовершенствованная нами балльная оценка при всей условности подобного подхода дает достаточно убедительное и наглядное представление (рис.6) о дифференциации изучаемых угодий по степени агрогенного воздействия, то есть позволяет наиболее адекватно оценить существующую степень агрогенного воздействия на изучаемые угодья (как сельскохозяйственные, так и природные).

Таким образом, дана оценка изучаемых угодий по степени агрогенного воздействия на них в (I) баллах. По степени увеличения агрогенной нагрузки на чернозём типичный изучаемые угодья располагаются в следующий ряд (рис.6): лесополоса и залежь → многолетние травы → пашня, ЗТС → пашня, ЗС → пашня, ЗППС → пашня, бессменный пар.



**Рис. 6. Оценка степени воздействия агрогенных нагрузок на чернозём типичный изучаемых угодий**

На основе анализа данных многолетних исследований разработана шкала нормирования антропогенных нагрузок по интенсивности их воздействия на трансформацию органического вещества почвы (табл.11).

**Шкала оценки и нормирования антропогенных нагрузок (I) по их воздействию на трансформацию органического вещества почвы**

Степень антропогенного воздействия, (Iоц, балл)	Оценка степени антропогенной нагрузки	Оценка степени интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы (I, балл)	Нормирование антропогенной нагрузки
< 2	низкая	> 4	благоприятная
2-6	средняя	4...0	допустимая
6-10	удовлетворительная	0...-4	предельно допустимая
>10	высокая	< -4	недопустимая

Проведена апробация разработанных методов в агроландшафтах на пашне в зависимости от вида севооборота, системы обработки почвы, в бесменном пару, на многолетних травах, залежи, в лесополосе (табл. 12).

Таблица 12

**Оценка и нормирование антропогенных нагрузок (I) по их воздействию на органическое вещество почвы**

Объект исследования	Степень антропогенного воздействия (I, балл)	Оценка степени антропогенной нагрузки	Оценка степени интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию ОВ почвы (I, балл)	Нормирование антропогенной нагрузки
Лесополоса	0	низкая	+6	благоприятная
Залежь	0	низкая	+6	благоприятная
Многолетние травы бесменно	2	низкая	+4	благоприятная
Зернотравяной севооборот	3,25	средняя	+2,75	допустимая
Зернопропашной севооборот	7	удовлетворительная	-1	предельно допустимая
Зернопаропропашной севооборот	8,5	удовлетворительная	-2,5	предельно допустимая
Бесменный пар	12	высокая	-6	недопустимая

Недопустимая высокая антропогенная нагрузка установлена в многолетнем бесменном пару, предельно допустимая удовлетворительная – в зер-

нопаропропашном севообороте без внесения удобрений при отвальной системе обработки, средняя и допустимая – в зернотравяном севообороте без внесения удобрений при отвальной системе обработки, благоприятная и низкая – на залежи, лесополосе, посевах многолетних трав.

## **6.2. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по интегральному индексу экологического состояния почвы (комплексному критерию качества)**

В настоящее время нерациональное антропогенное воздействие, антропогенные перегрузки на почвенную экосистему является мощным разрушающим фактором, приводящим к ухудшению экологического состояния почвы и, как следствие, снижению плодородия почв и их деградации. По экологическому состоянию почвы можно проводить нормирование антропогенной нагрузки. Поэтому изучение и оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы является актуальным, теоретически и практически значимым.

Метод рекомендуется использовать при формировании агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия и для мониторинга агроландшафтов по антропогенной нагрузке.

### **6.2.1. Сущность метода и алгоритм разработки шкал оценки экологического состояния почвы и нормирования антропогенных нагрузок**

Разработан метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на экологическое состояние почвы. *Критерием нормирования* антропогенной нагрузки в агроландшафтах является интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества почвы). Его определение проводится на основе разработанном нами (Масютенко Н.П., Кузнецов А.В., 2010) методе интегральной оценки экологического состояния почвы. Метод включает следующие этапы:

*Этап 1.* Оценка степени воздействия агрогенных факторов на почву;

*Этап 2.* Выделение (выбор) наиболее информативных и чувствительных к агрогенному воздействию показателей экологического состояния (частных критериев оценивания) на основе корреляционного анализа зависимости степени агрогенного воздействия и свойств почвы;

*Этап 3.* Выбор эталонного объекта с наиболее благоприятным экологическим состоянием;

*Этап 4.* Расчёт по выбранным показателям экологического состояния почвы, наиболее реагирующим на изменение степени агрогенного воздействия, индекса качества почвы (ИКПи) для каждого  $i$ -го параметра качества почвы изучаемого угодья в % от эталона по формуле 1.

$$ИКПи = \left( \frac{P_i}{P_{э,i}} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

где ИКПи – индекс  $i$ -го параметра качества почвы изучаемого угодья, %,

$P_i$  –  $i$ -ый параметр качества почвы изучаемого угодья,

$P_{э,i}$  – значение  $i$ -го параметра качества почвы для эталона (залежи).

В результате исходные параметры (свойства почвы) из различных шкал измерения приводятся к единой безразмерной шкале.

*Этап 5.* Интегральный индекс экологического состояния почвы – интегральный индекс качества почвы (ИИКП) рассчитывается по формуле 2.

$$ИИКП = \frac{\sum_{i=1}^n ИКПи}{n}, \quad (2)$$

где ИИКП – интегральный индекс экологического состояния почвы (интегральный индекс качества почвы), %,

$n$  – количество индексов параметров качества почвы.

*Этап 6.* Расчёт для каждого объекта исследования интегрального индекса экологического состояния почвы (ИИЭСП);

*Этап 7.* Выделение на основе графического анализа на изучаемых угодьях диапазонов изменения ИИЭСП и разработка шкалы оценки экологического состояния почвы и шкалы нормирования антропогенных нагрузок.

### **6.2.2. Апробация метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по интегральному индексу экологического состояния почвы (комплексному критерию качества)**

Апробация метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества) включает следующие этапы:

- изучение экологического состояния почвы, характеризующегося физическими, химическими, биологическими и иными показателями;
- проведение интегральной оценки влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы;
- комплексная оценка экологического состояния почвы по химическим, физическим и биологическим показателям;
- разработка шкалы оценки экологического состояния почвы;
- оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного и разработка шкалы нормирования антропогенных нагрузок;
- проведение нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы.

#### **6.2.2.1. Характеристика экологического состояния почвы изучаемых объектов**

Экологическое состояние почвы характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями (свойствами, параметрами) и (или) их совокупностью, обеспечивающими выполнение её биосферных функций. Важнейшей функцией почвы является обеспечение и формирование условий существования живых организмов (растений, микроорганизмов и др.). Были изучены состав органического вещества, химические, физические и биологические свойства чернозёма типичного в различных угодьях в зависимости степени агрогенной нагрузки

*Органическое вещество почвы* – это сложная многокомпонентная динамическая система, выполняющая множество разнообразных функций и чутко реагирующая на агрогенное воздействие при окультуривании (Кононова, 1968; Александрова, 1980; Р.Тейт III, 1991). Кроме того, органическая часть почвы значительно влияет на динамику питательных веществ, почвенную структуру, физические, химические и биологические свойства почвы. Именно поэтому содержание и состав органического вещества – важнейшие интегральные диагностические показатели не только уровня почвенного плодородия, но и экологического состояния почвы.

Исследованиями установлено, что содержание и запасы гумуса в слое почвы 0-25 см чернозёма типичного изучаемых сельскохозяйственных угодий с увеличением степени агрогенной нагрузки уменьшались в 1,4 раза в ряду: лесополоса > залежь > зерновой севооборот (ЗС) > зернотравяной севооборот (ЗТС) > зернопаропропашной севооборот (ЗППС) > бессменный пар (табл.13).

Таблица 13

**Содержание и запасы гумуса в чернозёме типичном  
в зависимости от вида угодья**

Угодье	Слой почвы, см	2007 г.		2008 г.	
		Гумус, %	Запасы гумуса, т/га	Гумус, %	Запасы гумуса, т/га
Водорегулирующая лесополоса	0-25	6,47	160,3	6,70	164,8
	25-50	5,48	142,6	5,50	143,8
Залежь	0-25	5,70	155,2	5,86	158,5
	25-50	4,69	123,5	4,76	124,2
Многолетние травы	0-25	<i>отбор почвенных образцов не производился</i>		5,34	149,1
	25-50			4,62	120,9
Зернотравяной севооборот (ЗТС)	0-25	5,34	146,9	5,23	144,3
	25-50	4,34	114,5	4,30	111,3
Зерновой севооборот (ЗС)	0-25	5,39	151,0	5,44	149,0
	25-50	4,60	122,1	4,71	122,7
Зернопаропропашной севооборот (ЗППС)	0-25	5,18	145,7	5,13	140,2
	25-50	4,42	117,5	4,40	115,5
Бессменный пар	0-25	4,60	135,9	4,65	137,7
	25-50	3,92	102,6	4,08	106,5

В слое почвы 25-50 см особенности содержания гумуса в почвах изучаемых угодий были в целом аналогичными, но величины ниже, чем в слое 0-25 см. Для определения значимых различий была определена наименьшая существенная разность между средними показателями гумусного состояния чернозёма типичного (табл.14). Вниз по профилю чернозёма типичного на рассматриваемых объектах отмечается постепенное уменьшение содержания гумуса. Наибольшие запасы гумуса в слоях почвы 0-5 см и 0-100 см выявлены в почве на залежи.

Таблица 14

**Наименьшая существенная разность (НСР) между средними показателями гумусного состояния чернозёма типичного (в слое 0 – 25 см)**

Показатели	Глубина, см	НСР <sub>0,05</sub>
Общий гумус, %	0-25	0,12
	25-50	0,07
Лабильные гумусовые вещества, мг/кг почвы	0-25	310
	25-50	240
Лабильные гуминовые кислоты, мг/кг почвы	0-25	168
	25-50	140
Негумифицированное органическое вещество, т/га	0-25	0,5
	25-50	0,05

Лабильная часть органического вещества в черноземе типичном представлена негумифицированным органическим веществом (НОВ) и лабильными гумусовыми веществами (ЛГВ). Содержание НОВ в почве на изучаемых угодьях с увеличением агрогенной нагрузки падает (рис.7). Наибольшие запасы НОВ среди всех угодий в слоях почвы 0-25 см и 25-50 см отмечены на залежи и в водорегулирующей лесополосе. В почве бессменного пара они были меньше, чем в лесополосе и на залежи, соответственно, в 34-37 раз и в 8-15 раз и практически не изменялись по годам. Это связано с полным отсутствием на бессменном пару растительности. Запасы НОВ в почвах на изучаемых сельскохозяйственных угодьях изменялись по годам в зависимости от вида возделываемой культуры.

С запасами в почве НОВ тесно связано содержание ЛГВ, коэффициенты корреляции равны 0,83-0,95. Это вероятно связано с тем, что образование ЛГВ происходит в процессе гумификации НОВ. Содержание ЛГВ в почве на сельскохозяйственных угодьях при снижении степени агрогенной нагрузки увеличивается в ряду: бессменный пар → ЗС → ЗТС → залежь → лесополоса, - в слое 0-25 см в 3-3,2 раза, в слое 25-50 см в 2.6-3.1 раза в зависимости от года исследований (рис.8). В изучаемых слоях почвы количество ЛГВ более резко изменялось в экосистемах, менее подверженных антропогенной нагрузке.

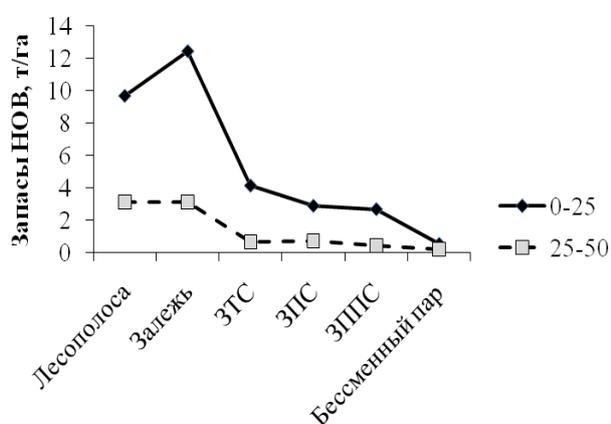


Рис.7. Запасы НОВ в чернозёме типичном на изучаемых угодьях

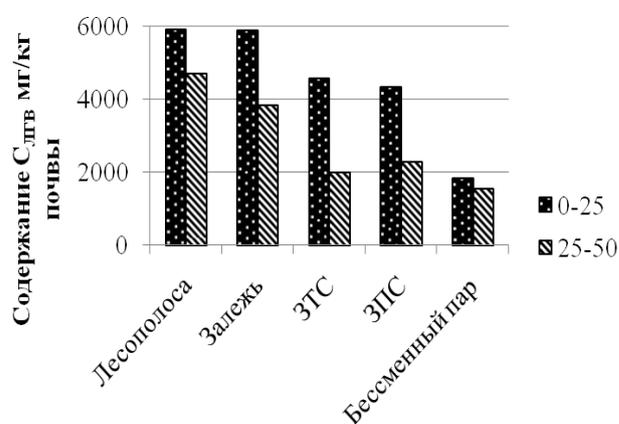


Рис.8. Содержание СЛГВ в чернозёме типичном на изучаемых угодьях

Установлено (табл.15), что основную часть органического вещества чернозема типичного (ОВ) составляет гумус (95-99%). Доля инертного гумуса (ИГ) в ОВ на исследуемых угодьях колеблется в пределах от 78 до 93%, ЛГВ – от 6,8 до 16,9 %, НОВ - от 0,1 до 5,2%, МБ – от 1,5 до 3,3%. Возрастание агрогенной нагрузки на чернозём типичный приводит к некоторому увеличению доли гумуса и к значительному снижению доли НОВ в составе ОВ как в слое 0-25 см (в 17 раз), так и в 25-50 см (в 9 раз) в ряду угодий: лесополоса → залежь → ЗТС → ЗС → ЗППС → бессменный пар.

При увеличении агрогенной нагрузки в черноземе типичном на изучаемых угодьях, за исключением бессменного пара, отмечается уменьшение в ОВ доли ЛГВ из-за снижения относительного содержания лабильных гуми-

новых кислот (ЛГК). Доля ЛГК в ОВ в слоях почвы 0-25 см и 25-50 см снижалась, соответственно, в 8,3 и 5,4 раза в ряду изучаемых угодий: лесополоса → залежь → ЗТС → ЗС → бессменный пар. Доля же лабильных фульвокислот (ЛФК) в ОВ в верхнем слое почвы на этих же угодьях изменялась незначительно.

Таблица 15

**Компонентный состав органического вещества чернозёма  
типичного на изучаемых угодьях**

Угодье	Глубина, см	C <sub>Г</sub>	C <sub>НОВ</sub>	C <sub>ИГ</sub>	C <sub>ЛГВ</sub>	C <sub>ЛГК</sub>	C <sub>ЛФК</sub>	C <sub>МБ</sub>	мг C <sub>МБ</sub> в 1 г	
		в % от C <sub>ОВ</sub>							гумуса	ЛГК
Лесополоса	0-25	94,2	5,8	79,9	14,3	6,9	7,4	2,8	18	239
	25-50	98,5	1,5	84,9	13,6	5,7	7,9	2,5	15	259
Залежь	0-25	94,4	5,6	79,6	14,8	6,4	8,4	3,2	20	294
	25-50	99,1	0,9	84,2	14,9	5,1	9,8	2,6	15	299
Многолетние травы	0-25	96,0	4,0	80,5	15,5	6,5	9,0	2,1	13	189
	25-50	99,3	0,7	88,6	10,6	3,2	7,5	2,3	14	424
ЗТС	0-25	97,6	2,4	84,3	13,2	4,8	8,4	1,8	11	218
	25-50	99,7	0,3	90,6	9,1	1,5	7,6	2,5	14	967
ЗС	0-25	97,6	2,4	87,1	10,5	3,5	6,9	1,5	9	239
	25-50	99,7	0,3	92,6	7,1	1,1	6,0	1,9	11	1003
ЗППС	0-25	97,7	2,3	82,6	15,1	5,9	9,2	1,9	11	183
	25-50	99,8	0,2	90,5	9,3	1,5	7,8	1,8	10	680
Бессменный пар	0-25	99,8	0,2	92,7	7,1	0,8	6,3	1,7	10	1216
	25-50	99,9	0,1	92,7	7,1	0,9	6,2	2,1	12	1295

C- углерод, Г – гумус, НОВ – негумифицированное органическое вещество, ИГ – инертный гумус, ЛГВ – лабильные гумусовые вещества, ЛГК - лабильные гуминовые кислоты, ЛФК - лабильные фульвокислоты, МБ – микробная биомасса, остальные обозначения такие же, как и в таблице 13

Микробная биомасса (МБ) составляет небольшую долю от ОВ (1,5-3,3%). Наибольшая доля МБ в ОВ выявлена в слое 0-25 см чернозёма типичного в лесополосе, на залежи и на пашне с ЗППС. Последнее, возможно, объясняется активирующим воздействием чистого пара на микробоценоз почвы при достаточном поступлении в почву органических остатков. Минимальная доля МБ в ОВ в слое почвы 0-25 см в ЗТС обусловлена негативным воздействием на почву сжигания послеуборочных пожнивных остатков. В бессменном пару в слое 0-25 см доля МБ в ОВ по сравнению с почвой в лесополосе и на

залежи меньше примерно в 1,3 раза, но больше, чем на пашне с ЗТПС. В слое почвы 25-50 см на всех изучаемых угодьях доля МБ в ОВ была выше, чем в слое 0-25 см, и изменялась незначительно (от 3,0 до 3,4%). Доля в МБ в ОВП определяется как степенью агрогенного воздействия, так и гидротермическими условиями, сложившимися в почве.

Установлено, что с увеличением степени агрогенной нагрузки биогенность гумуса (содержание МБ в 1 г гумуса) верхнего слоя почвы снижается, а биогенность ЛГК (содержание МБ в 1 г ЛГК) увеличивается в ряду: лесополоса → залежь → ЗС → бессменный пар. Причём, на пашне характерной особенностью является более высокая биогенность ЛГК нижних горизонтов по сравнению с верхними. Следовательно, биогенность ЛГК чернозёма типичного может служить показателем его экологического состояния. Обнаруженные общие закономерности компонентного состава ОВП на изучаемых угодьях сохранялись в изучаемые годы.

Фракционно-групповой состав гумуса в черноземе типичном в зависимости от степени агрогенной нагрузки имеет свои особенности (табл.16). При минимальной агрогенной нагрузке в лесополосе и на залежи особенности фракционно-группового состава гумуса в черноземе типичном определяются видом растительности. В водорегулирующей лесополосе при минимальной степени агрогенной нагрузки (в условиях древесной растительности) в слое почвы 0-25 см по сравнению с залежью и пашней отмечено снижение содержания гуминовых кислот (до 41,7 %) и гуминовых кислот, связанных с кальцием (ГК-2), повышение содержания фульвокислот и гуминовых кислот, связанных с подвижными окислами (ГК-1) по сравнению с почвой на залежи и пашне с севооборотами. На залежи тоже при минимальной степени агрогенной нагрузки (в условиях травянистой растительности) в слое почвы 0-25 см в составе гумуса отмечается повышенное содержание гуминовых кислот (47,3 %) за счет повышенного содержания фракций ГК-1 и ГК-3 (гуминовых кислот, связанных с полуторными окислами и глинистыми частицами) по сравнению с почвой в лесополосе и на пашне с севооборотами.

Фракционно-групповой состав гумуса чернозема типичного на различных угодьях (% от C<sub>орг</sub>)

Угодье	Глубина, см	C <sub>орг</sub> , %	Углерод фракции ГК, % от C <sub>орг</sub>				Углерод фракции ФК, % от C <sub>орг</sub>					C <sub>ГК</sub> +C <sub>ФК</sub>	Нерастворимый остаток, % от C <sub>орг</sub>	C <sub>ГК</sub> : C <sub>ФК</sub>	E <sub>C<sub>ГК</sub></sub> <sup>мг/мг</sup>
			1	2	3	Сумма	1a	1	2	3	Сумма				
Лесополоса	0-25	3,88	4,2	26,9	10,7	41,7	2,6	4,3	6,3	11,9	25,1	66,8	33,2	1,7	15,37
	25-50	3,19	2,6	30,6	11,3	44,4	3,2	3,9	8,2	9,6	24,8	69,2	30,8	1,8	15,39
Залежь	0-25	3,40	3,7	31,3	12,3	47,3	3,0	4,9	2,5	9,2	19,6	66,8	33,2	2,4	14,94
	25-50	2,73	1,1	36,1	8,7	45,9	3,7	3,4	1,1	8,0	16,1	62,0	38,0	2,8	16,92
Пашня, ЗС	0-25	3,16	2,1	33,0	8,9	43,9	3,2	3,0	2,4	8,3	16,9	60,8	39,2	2,6	14,56
	25-50	2,73	0,6	33,9	8,1	42,6	3,5	3,6	3,9	8,3	19,3	61,9	38,1	2,2	14,70
Пашня, ЗТС	0-25	3,04	3,3	32,0	9,7	45,0	3,1	5,0	3,1	8,8	19,9	64,9	35,1	2,3	14,62
	25-50	2,55	1,0	35,0	6,9	42,9	3,2	3,4	4,7	8,2	19,5	62,4	37,6	2,2	14,86
Пашня, ЗППС	0-25	2,97	2,8	34,9	8,7	46,4	3,3	4,2	2,2	6,6	16,3	62,7	37,3	2,9	14,75
	25-50	2,55	1,0	36,0	8,2	45,2	3,4	2,7	3,9	6,9	16,9	62,2	37,8	2,7	15,54
Многолетние травы	0-25	3,10	3,2	35,2	11,4	49,8	2,6	5,3	0,8	7,8	16,5	66,3	33,7	3,0	16,53
	25-50	2,67	1,0	37,4	9,3	47,7	3,3	3,5	1,2	11,0	19,1	66,8	33,2	2,5	17,90
Бессменный пар	0-25	2,73	2,6	36,3	10,9	49,8	2,2	4,2	8,6	7,7	22,8	72,5	27,5	2,2	13,94
	25-50	2,37	0,3	35,5	9,6	45,4	3,0	2,7	3,2	11,1	19,9	65,3	34,7	2,3	17,19

Сорг – содержание органического углерод в почве, С – углерод, ГК - гуминовые кислоты, ФК - фульвокислоты, E<sub>C<sub>ГК</sub></sub><sup>мг/мг</sup> - коэффициент экстинкции, остальные обозначения такие же, как и в таблице 13

При максимальной агрогенной нагрузке (максимальном механическом воздействии) в результате бесменного парования чернозема типичного в слое 0-25 см происходит снижение органического углерода до 2,73 %. В составе гумуса отмечается высокое содержание гуминовых кислот (49,8% от  $C_{орг}$ ), снижается значение  $E_{СГК}$ . Все это на фоне низкой гумусированности почвы свидетельствует о повышенной минерализации гумусовых веществ, изменении их природы и состава.

Бесменное возделывание многолетних трав способствует высокому содержанию в составе гумуса гуминовых кислот (49,8% от  $C_{орг}$ ) в слое 0-25 см чернозема типичного за счет повышенного содержания всех их трех фракций. В почве на пашне с ЗС и ЗППС наблюдается снижение содержания гуминовых кислот и фульвокислот и увеличение негидролизуемого остатка (гумина). Полученные данные свидетельствуют о замедлении процессов гумусообразования и об усилении минерализации гумуса в почве на пашне. Некоторое увеличение в нижнем слое фракций гуминовых и фульвокислот вероятно связано с оборотом почвенного пласта при вспашке. Фракционно-групповой состав гумуса чернозёма типичного в различных сельскохозяйственных угодьях в пределах почвенного профиля имеет свои особенности в зависимости от вида сельскохозяйственных угодий. Так, в чернозёме типичном лесополосы зафиксировано повышенное содержание ГК в слое почвы 72-81 см (48% от  $C_{орг}$ ). Это связано с особенностями гумусообразования в лесополосах и периодически промывным водным режимом. В слое 0-5 см на пашне с ЗС обнаружено повышенное количество ГК. Увеличение количества гуминовых кислот при одновременном уменьшении содержания общего гумуса и негидролизуемого остатка (гумина) свидетельствует о интенсивно идущем процессе минерализации.

Биологическое состояние чернозема типичного определяется комплексом биологических свойств, теснейшим образом связанных с органическим веществом и плодородием почвы. Важнейшими показателями биологического состояния почвы являются микробная биомасса, мезофауна (дождевые

черви), уровень биологической продуктивности и урожайность сельскохозяйственных культур.

Исследования показали (рис.9), что наибольшее содержание углерода МБ отмечено в слое почвы 0-25 см объектов, практически не подверженных агрогенному воздействию, т.е. в лесополосе и на залежи. Это связано с обогащенностью данного почвенного слоя в лесополосе и на залежи органическим веществом и, вероятно, с благоприятными для развития почвенных микроорганизмов почвенными условиями. В слое почвы 25-50 см в лесополосе и на залежи содержание МБ уменьшалось на 14-26 % и 23-31%, соответственно, однако оно было выше, чем в пахотной почве (с севооборотами и в беспахотном пару).

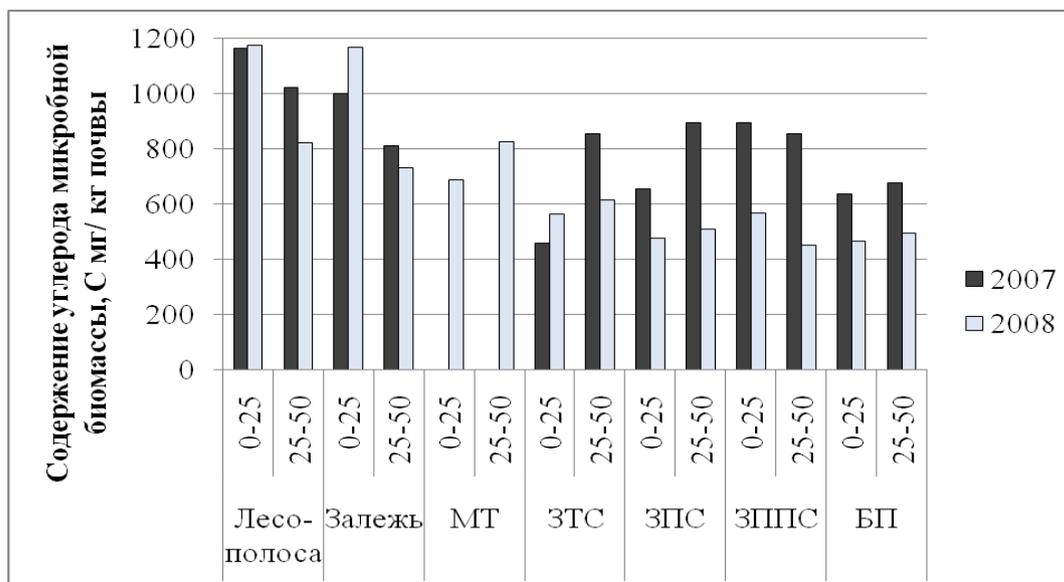


Рис. 9 Влияние агрогенной нагрузки на содержание углерода микробной биомассы в чернозёме типичном в 2007-2008 гг. (Обозначения такие же, как и в таблице 10)

Сельскохозяйственное использование почвы приводит к снижению содержания углерода МБ в основном в слое 0-25 см по сравнению с залежью и лесополосой, причем уровень снижения зависит от степени агрогенного воздействия и гидротермических условий года. В условиях 2008 года (повышенная температура и повышенное количество выпавших осадков в 1 и 2 декаде июля) наблюдается сильная обратная связь между содержанием в почве МБ и степенью агрогенных нагрузок, коэффициент корреляции составляет - 0,8. В

2007 году связь ниже, средняя обратная, коэффициент корреляции равен 0,5. Это связано с более высоким содержанием МБ в почве на пашне в 2007 году и с резко сниженным её содержанием в слое почвы 0-25 см на пашне с ЗТС из-за сжигания соломы и пожнивных остатков озимой пшеницы. Различия в содержании углерода МБ в слое 25-50 см на пашне с севооборотами незначительны.

Максимальное количество дождевых червей на  $1 \text{ м}^2$  в слое 0-50 см отмечается в почве под многолетними травами ( $121 \text{ экз./м}^2$ ), а в лесополосе и залежи их содержание было в 1,3 и 1,4 раза меньше, соответственно (табл.17).

Таблица 17

**Содержание и масса дождевых червей в  
черноземе типичном на изучаемых угодьях**

Слой почвы, см	Количество дождевых червей по видам угодий, экз./м <sup>2</sup>						
	Многолетние травы	Лесополоса	Залежь	ЗТС	ЗС	ЗППС	БП
0-10	105	40	25	13	17	9	0
10-20	9	16	8	25	9	5	0
20-30	3	21	13	5	4	0	0
30-40	0	12	24	11	1	0	0
40-50	4	4	16	7	0	0	0
Всего	121	93	86	61	32	14	0
Масса в слое 0-50 см, г/м <sup>2</sup>	15,2	24,8	14,6	3,8	6,0	13,1	0

*Обозначения такие же, как и в таблице 13*

По сравнению с многолетними травами (бессменные посева) в слое 0-50 см пахотных почв с ЗТС, ЗС и ЗППС содержалось меньше дождевых червей соответственно в 2,0, 3,8 и 8,2 раз. Это связано с одной стороны, с тем, что в почвенных горизонтах 0-10 и 10-20 см под многолетними травами были более благоприятные для жизнедеятельности люмбрицид гидротермические условия, а с другой, с тем, что повышение агрогенной нагрузки на почву оказывает стрессорное действие на дождевых червей и ухудшает топоческие и трофические почвенные свойства. Содержание общей живой массы дождевых

червей на 1 м<sup>2</sup> в 0-50 см слое было максимальным в почве в лесополосе (24,8 г/м<sup>2</sup>). В почве под многолетними травами и залежью отмечается уменьшение живого веса дождевых червей на 63,1% и на 69,8%, соответственно.

В пахотных почвах с ЗТС, ЗС, ЗППС по сравнению с залежью живая масса дождевых червей уменьшается соответственно в 1,1, 2,4 и 3,8 раза. Это связано с интенсивностью агрогенной нагрузки и количеством и качеством поступающих в почву растительных остатков. Однонаправленное снижение вниз по профилю чернозёма типичного содержания дождевых червей отмечаемое в пахотной почве с ЗС и ЗППС во многом обусловлено меньшим поступлением растительных остатков. В почве остальных угодий такой тенденции не выявлено.

Отмечена высокая стабильность уровня продуктивности надземной фитомассы (абсолютно сухой) в естественных биогеоценозах (лесополоса, залежь). В то же время в агробиогеоценозах наблюдалась некоторая нестабильность содержания надземной фитомассы, которая была обусловлена действием агрогенных факторов. Что же касается урожайности, то она изменяется в зависимости от агрогенной нагрузки, биологических свойств сельскохозяйственной культуры, своевременности и качества проведения всех мероприятий в рамках принятых систем земледелия. Таким образом, увеличение агрогенной нагрузки на чернозём типичный при его сельскохозяйственном использовании под пашню приводит с одной стороны к увеличению содержания надземной фитомассы, а с другой, к уменьшению стабильности всего агрофитоценоза.

Проведенные исследования показали (табл.18-19), что с увеличением степени агрогенного воздействия (от 0 до 12 баллов) в слое 0-25 см чернозёма типичного происходит снижение содержания общего азота и щелочногидролизуемого азота в 1,4 раза в ряду угодий: лесополоса → залежь → ЗТС → ЗС → бессменный пар. Наиболее заметные изменения в содержании общего азота происходят в верхнем 0-25 см слое почвы, в наибольшей степени

## Химические и физико-химические свойства чернозёма типичного в 2007 году

Угодье	Глубина, см	N <sub>общ</sub> , %	N <sub>щг</sub>	Подвижные		Обменные основания			pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>		
				мг/100 г почвы		мг·экв./100 г почвы				
Лесополоса	0-25	0,32	18,7	11,8	13,2	23,5	4,5	28,0	6,6	5,7
	25-50	0,27	16,0	10,1	8,4	22,2	4,2	26,4	6,5	5,6
Залежь	0-25	0,29	17,3	8,3	10,3	21,4	4,1	25,5	6,7	5,8
	25-50	0,23	13,0	7,6	7,7	21,4	4,6	26,0	6,6	5,6
Пашня, ЗТС	0-25	0,27	17,0	10,3	8,0	22,7	4,1	26,8	6,6	5,7
	25-50	0,22	12,0	7,4	6,4	22,7	3,3	26,0	7,7	7,0
Пашня, прилегающая к залежи, ЗС	0-25	0,26	15,7	10,4	8,8	23,1	3,7	26,8	6,7	5,9
	25-50	0,23	13,5	8,5	8,0	23,9	3,3	27,2	7,6	6,8
Пашня, ЗППС	0-25	0,26	16,4	16,4	12,9	21,0	3,7	24,7	6,4	5,5
	25-50	0,22	14,4	14,5	10,1	21,4	3,7	25,1	6,5	5,7
Пашня, бессменный пар	0-25	0,23	13,3	16,7	10,3	21,0	4,1	25,1	6,3	5,4
	25-50	0,20	10,8	11,1	7,7	21,4	3,7	25,1	7,5	6,7

Обозначения такие же, как и в таблице 13

Примечание: N<sub>общ</sub> – общий азот; N<sub>щг</sub> – щелочногидролизуемый азот.

## Химические и физико-химические свойства чернозёма типичного в 2008 году

Угодье	Глубина, см	N <sub>общ</sub> , %	N <sub>щг</sub>	Подвижные		Обменные основания			pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>		
				мг/100 г почвы		мг-экв/100 г почвы				
Лесополоса	0-25	0,33	18,1	12,9	14,7	23,5	4,6	28,1	6,8	5,8
	25-50	0,28	15,9	11,1	8,2	22,3	4,6	26,9	6,4	5,5
Залежь	0-25	0,30	17,4	9,8	11,6	22,3	5,0	27,3	6,7	5,7
	25-50	0,24	13,5	7,9	8,2	23,5	4,2	27,7	7,6	6,6
Многолетние травы	0-25	0,26	15,6	8,7	7,7	21,8	4,7	26,5	6,7	5,6
	25-50	0,23	13,2	8,9	6,1	21,8	4,7	26,5	6,9	5,8
Пашня, ЗТС	0-25	0,26	16,4	9,7	7,9	23,1	4,2	27,3	6,9	5,9
	25-50	0,22	13,0	7,0	6,3	24,8	3,3	28,1	8,0	7,0
Пашня, прилегающая к залежи, ЗС	0-25	0,27	14,3	10,3	8,2	23,9	4,7	28,6	7,1	6,0
	25-50	0,23	12,8	8,5	7,1	26,0	3,8	29,8	8,0	6,9
Пашня, ЗППС	0-25	0,26	14,7	14,3	8,6	22,2	5,5	27,7	6,8	5,8
	25-50	0,22	12,5	10,6	6,5	22,7	4,2	26,9	7,7	6,6
Пашня, бессменный пар	0-25	0,23	12,9	16,8	10,5	21,0	4,2	25,2	6,5	5,5
	25-50	0,20	11,2	10,1	7,6	24,4	3,7	28,1	7,9	7,0

Обозначения такие же, как и в таблице 13

подверженном агрогенному воздействию. На всех изучаемых угодьях в слое 0-25 см отмечался средний уровень содержания щелочногидролизуемого азота, а на бессменном пару низкий, а в слое почвы 25-50 см, за исключением лесополосы, - низкий.

Чернозём типичный в близких к природным биоценозах (лесополоса и залежь) характеризуется в слое 0-25 см высоким и средним уровнем содержания подвижного фосфора, а в слое 25-50 см - повышенным и средним. Возрастание же степени агрогенного воздействия в этих слоях почвы на пашне в ряду: ЗТС → ЗС → ЗППС → бессменный пар, за счёт снижения рН приводит к повышению уровня содержания подвижных фосфатов от повышенного до высокого. Почвы изучаемых угодий характеризуются хорошей обеспеченностью подвижным калием и высоким уровнем содержания суммы обменных оснований. Увеличение степени агрогенного воздействия неоднозначно влияет на содержание подвижного калия и на сумму обменных оснований в почве.

Актуальная кислотность почвы в слое 0-25 см на изучаемых угодьях изменялась от близко к нейтральной до нейтральной, а в слое почвы 25-50 см на пашне с ЗТС, ЗППС и бессменным паром  $pH_{H_2O}$  была средне- и слабощелочная. На остальных угодьях в слое 25-50 см наблюдалась близкая к нейтральной и нейтральная реакция почвы. В 2008 году по сравнению с 2007 годом в 0-25 см слое почвы общие закономерности изменения  $pH_{H_2O}$  сохранялись, однако наблюдалась тенденция к некоторому снижению уровня актуальной кислотности практически на всех угодьях, кроме залежи, на которой изменений не зафиксировано. Выявленные ранее для  $pH_{H_2O}$  закономерности, в общем, сохраняются и для рН солевой вытяжки.

В настоящее время в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства всё острее встает проблема агрофизической деградации пахотных чернозёмов. Физические свойства – важный показатель плодородия и экологического состояния почвы.

Наиболее благоприятное структурно-агрегатное состояние установлено в слое 0-25 см чернозёма типичного в лесополосе, на залежи и под многолетними травами (табл.20, рис.10). На пашне с севооборотами в верхнем

Таблица 20

**Показатели структурного состояния чернозема типичного в различных угодьях (по данным сухого просеивания)**

Угодье	Глубина, см	Сумма агрегатов агрономически ценных фракций, %	Коэффициент структурности агрегатов	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм
Лесополоса	0-25	84,3	5,4	3,3
	25-50	78,4	3,6	3,2
Залежь	0-25	83,6	5,1	3,1
	25-50	78,9	3,7	2,9
Многолетние травы	0-25	78,6	3,7	3,2
	25-50	79,8	3,9	2,5
Пашня, ЗТС	0-25	74,5	2,9	2,4
	25-50	74,9	3,0	2,6
Пашня, ЗС	0-25	75,6	3,1	2,6
	25-50	72,5	2,6	2,5
Пашня, ЗППС	0-25	76,0	3,2	2,4
	25-50	72,8	2,7	2,4
Пашня, бес- сменный пар	0-25	72,6	2,6	2,1
	25-50	71,3	2,5	2,4

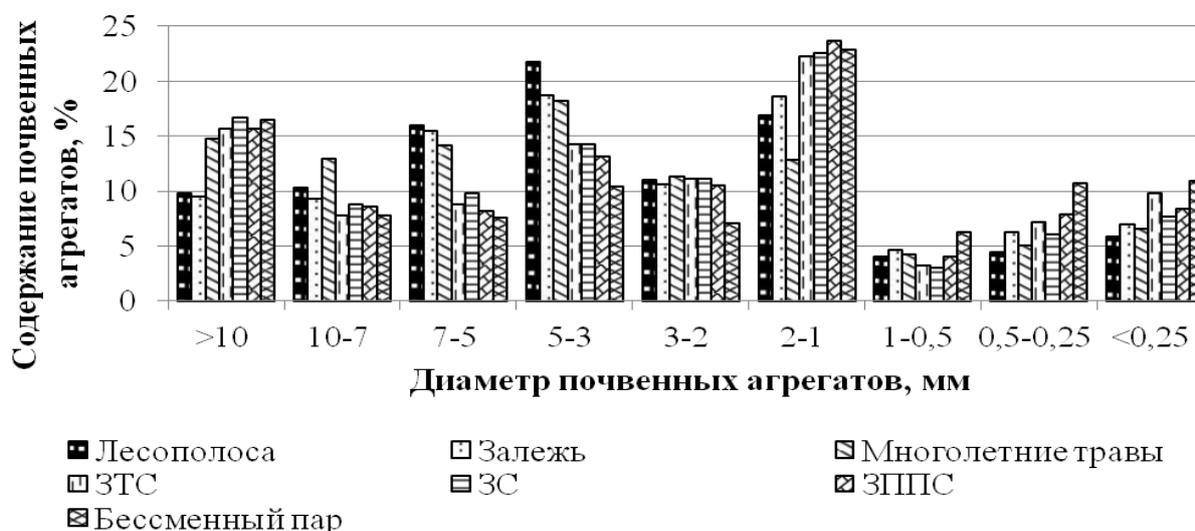


Рис. 10. Структурно-агрегатный состав (сухое просеивание) чернозема типичного в слое 0-25 см (Обозначения такие же, как и в таблице 13)

слое чернозёма типичного по сравнению с залежью снижаются количество агрономически ценных агрегатов, коэффициент структурности, средневзвешенный диаметр агрегатов. При бессменном паровании чернозёма типичного наблюдается значительное ухудшение его агрегатного состава по сравнению с залежью: снижается количество агрономически ценных фракций и в 1,5 раза уменьшается средневзвешенный диаметр агрегатов.

Установлено, что с увеличением степени антропогенной нагрузки на почву в слое 0-25 см снижаются средневзвешенный диаметр сухих и водоустойчивых агрегатов, количество сухих агрегатов размером 7-3 мм, водоустойчивых агрегатов размером 5-1 мм (рис.10,11) и увеличивается количество фракций <0,5 мм (сухое просеивание) и < 0,25 мм (мокрое просеивание).

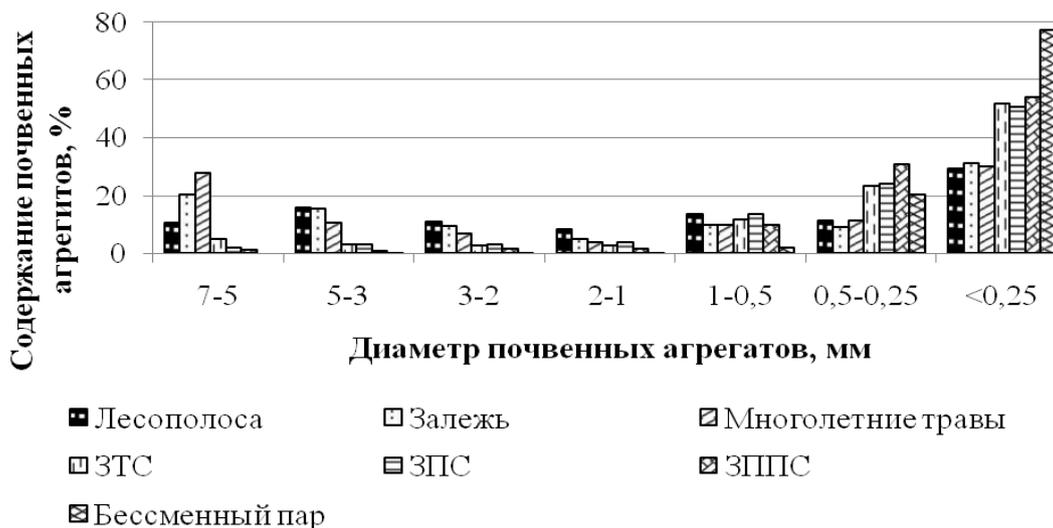


Рис. 11. Структурно-агрегатный состав (мокрое просеивание) чернозема типичного в слое 0-25 см (Обозначения такие же, как и в таблице 10)

В слое почвы 25-50 см по сравнению с верхним на всех изучаемых угодьях выявлены тенденция к некоторому ухудшению структурного состояния (сухое просеивание) и *хорошая водоустойчивость* почвенной структуры (рис.12, табл.21). Установлено, что в слое 25-50 см чернозема типичного с увеличением степени антропогенной нагрузки на почву снижаются средневзвешенный диаметр сухих агрегатов, количество сухих и водоустойчивых агрегатов размером 5-3 мм и увеличивается количество фракций <0,25 мм (сухое и мокрое просеивание).

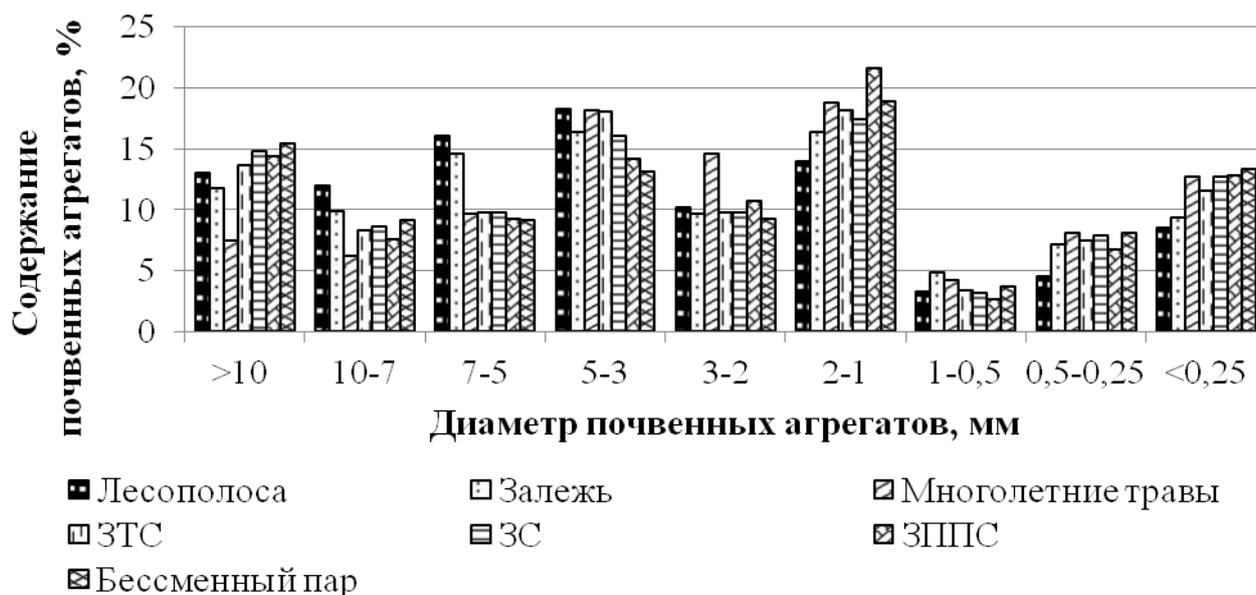


Рис. 12. Структурно-агрегатный состав (сухое просеивание) чернозема типичного в слое 25-50 см (Обозначения такие же, как и в таблице 13)

Таблица 21

**Показатели структурного состояния чернозема типичного в различных угодьях (по данным мокрого просеивания)**

Угодье	Глубина, см	Сумма водостойчивых агрегатов, %	Коэффициент структурности водостойчивых агрегатов	Средневзвешенный диаметр водостойчивых агрегатов, мм
Лесополоса	0-25	70,5	2,4	1,8
	25-50	53,8	1,2	0,8
Залежь	0-25	68,9	2,2	2,2
	25-50	52,8	1,1	0,9
Многолетние травы	0-25	69,9	2,3	2,4
	25-50	58,3	1,4	0,7
Пашня, ЗТС	0-25	48,2	0,9	0,7
	25-50	57,0	1,3	1,0
Пашня, ЗС	0-25	49,3	1,0	0,6
	25-50	56,4	1,3	0,8
Пашня, ЗППС	0-25	45,8	0,8	0,3
	25-50	55,5	1,2	0,9
Пашня, бессменный пар	0-25	22,7	0,3	0,1
	25-50	54,4	1,2	0,9

Обозначения такие же, как и в таблице 13

В слое почвы 25-50 см по сравнению с верхним на всех изучаемых угодьях кроме чернозёма типичного под многолетними травами и ЗТС выявлена тенденция к некоторому ухудшению структурного состояния. Установлено, что в слое 0-25 см чернозема типичного с увеличением степени антропогенной нагрузки на почву снижаются средневзвешенный диаметр сухих агрегатов, количество сухих агрегатов размером 7-5 мм, 5-3 мм и увеличивается количество фракций (сухое просеивание) размером  $< 0,5$  мм, а в слое 25-50 см уменьшается содержание сухих агрегатов диаметром 5-3 мм и увеличивается количество фракции  $< 0,25$  мм.

В слое 0-25 см чернозёма типичного (табл.21, рис.11) в лесополосе, на залежи и многолетних травах отмечается *отличная водоустойчивость* почвенной структуры (по И.В. Кузнецовой, 1979). При этом в 0-25 см слое почвы в лесополосе выявлено максимальное количество водоустойчивых агрегатов (70,5%), в то же время наибольший средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов зафиксирован в почве под многолетними травами. На залежи отмечалось увеличение (на 22 %) средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов, что вызвано повышением в 1,9 раза содержания агрегатов диаметром 7-5 мм.

В ЗС, ЗТС и ЗППС в слое 0-25 см пахотной почвы отмечается *хорошая водоустойчивость* почвенной структуры (по И.В. Кузнецовой, 1979). Недостаточно удовлетворительная водоустойчивость почвенной структуры (по И.В. Кузнецовой) установлена в слое 0-25 см чернозёма типичного в бесменном пару. Это связано, во-первых, с полным отсутствием водоустойчивых агрегатов размером 7-5 мм, 5-3 мм и с незначительным количеством фракций диаметром 3-2 мм и 2-1 мм; во-вторых, с существенным в 5,3 и 1,5 раза снижением содержания водоустойчивых агрегатов размером 1-0,5 мм и 0,5-0,25 мм; в-третьих, с увеличением в 1,4 раза количества (неводоустойчивой) фракции диаметром менее 0,25 мм. При этом преобладающей фракцией водоустойчивых 19,3 % и ниже, чем в ЗТС на 45,5 и 43,9 т/га. Это обусловлено различной функциональной ролью растительности в естественном биогеоце-

нозе и агрегатов в 0-25 см слое почвы под бесменным паром становится фракция 0,5-0,25 мм.

В слое 25-50 см чернозёма типичного между изучаемыми угодьями выявлены несущественные различия по водоустойчивости почвенной структуры, на всех угодьях отмечается *хорошая водоустойчивость* почвенной структуры (рис.13). При этом рассматриваемый слой почвы является структурным только под многолетними травами, ЗТС, ЗС и ЗППС. Максимальная водоустойчивость почвенной структуры (агрегатов) выявлена в 25-50 см слое почвы под многолетними травами. На втором месте по водоустойчивости структуры в этом слое находится чернозём типичный на пашне с ЗТС.

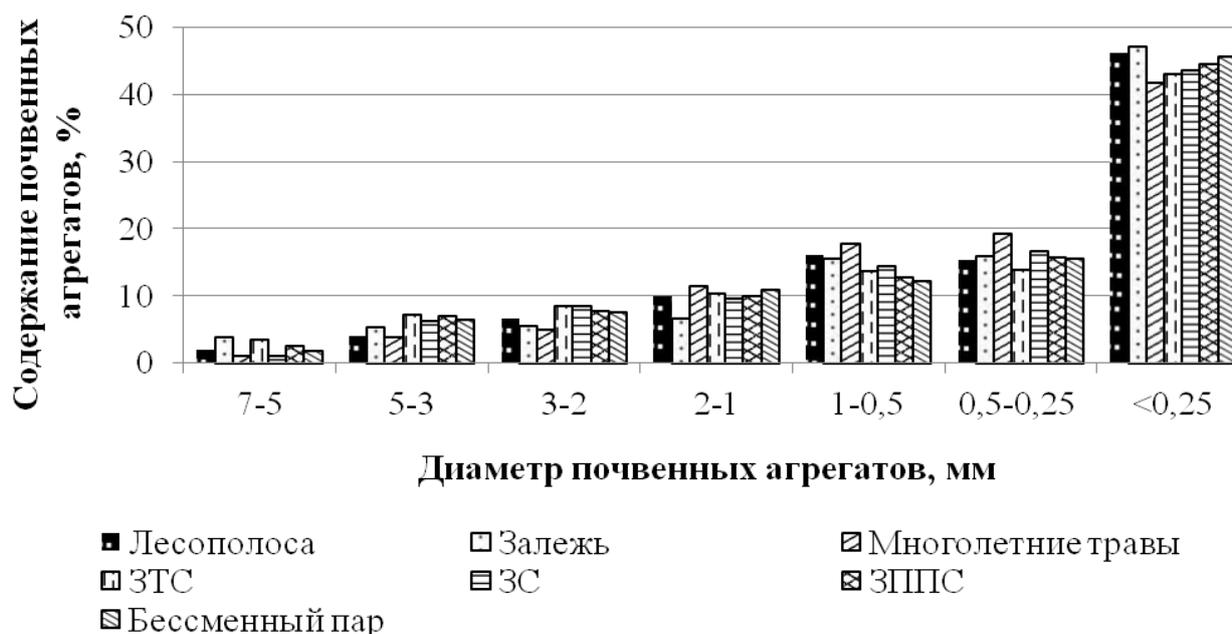


Рис. 13. Структурно-агрегатный состав (мокрое просеивание) чернозема типичного в слое 25-50 см

В слое 25-50 см чернозёма типичного в ряду (табл.21): бесменный пар → лесополоса → залежь – наблюдалась тенденция некоторого ухудшения водоустойчивости почвенной структуры. Следовательно, длительное бесменное парование оказало негативное влияние на водоустойчивость структуры чернозема типичного в основном только в пахотном слое 0-25 см.

Плотность чернозёма типичного тяжелосуглинистого на всех изучаемых угодьях по классификации, предложенной А.Г. Бондаревым (1985), входит в оптимальный предел плотности (глинистые и суглинистые 1,0-1,30 г/см<sup>3</sup>) сложения почв для большинства возделываемых культур (табл.22). В то же время наиболее заметные различия по плотности почвы между изучаемыми угодьями наблюдаются в верхнем 0-25 см слое чернозёма типичного, более всего подверженного агрогенной нагрузке.

Таблица 19

**Плотность и влажность чернозёма типичного на различных угодьях (2007-2008 гг.)**

Угодье	Глубина, см	2007		2008	
		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %
Лесополоса	0-25	0,99	14,7	0,98	13,6
	25-50	1,04	15,7	1,04	14,9
Залежь	0-25	1,09	12,9	1,08	12,4
	25-50	1,05	13,6	1,04	15,0
Пашня, ЗТС	0-25	1,10	13,5	1,10	12,8
	25-50	1,05	14,6	1,04	14,6
Пашня, ЗС	0-25	1,12	13,8	1,10	11,4
	25-50	1,06	15,6	1,04	14,0
Пашня, ЗППС	0-25	1,13	14,0	1,09	12,0
	25-50	1,06	13,3	1,05	14,0
Пашня, бес- сменный пар	0-25	1,18	17,0	1,19	15,5
	25-50	1,05	19,7	1,04	19,6
Многолетние травы	0-25	–	–	1,12	11,5
	25-50	–	–	1,05	14,0

*Обозначения такие же, как и в таблице 13*

Среди изучаемых угодий наименьшая плотность чернозёма типичного отмечается как в слое 0-25 см, так в слое почвы 25-50 см в лесополосе. На залежи по сравнению с расположенной рядом лесополосой плотность слоя почвы 0-25 см возрастает в 1,1 раза (по данным за 2007-2008 гг.). Однако необходимо отметить, что плотность почвы на залежи всё же остаётся ниже,

чем на пашне. Наиболее уплотнённым среди всех угодий согласно полученным данным является слой 0-25 см чернозёма типичного в бессменном пару, что обусловлено образованием на глубине 10-20 см плотной плужной подошвы.

Плотность слоя 25-50 см чернозёма типичного под изучаемыми угодьями незначительно изменялась (от 1,04 до 1,06 г/см<sup>3</sup>). Таким образом, плотность чернозёма типичного под изучаемыми угодьями, в общем, является оптимальной для роста и развития большинства растений как сельскохозяйственных, так и природных (диких).

Таким образом, выявлены особенности структурно-агрегатного состава чернозёма типичного в различных угодьях. Наиболее благоприятное структурно-агрегатное состояние обнаружено в слое 0-25 см чернозёма типичного в лесополосе, на залежи и под многолетними травами, *отличная водоустойчивость* (по И.В. Кузнецовой, 1979) почвенной структуры.

На пашне с севооборотами в верхнем слое чернозёма типичного по сравнению с залежью снижаются количество агрономически ценных агрегатов, коэффициент структурности, средневзвешенный диаметр агрегатов, отмечена *хорошая водоустойчивость* почвенной структуры. При бессменном паровании чернозёма типичного наблюдается значительное ухудшение его агрегатного состава по сравнению с залежью: снижается количество агрономически ценных фракций и в 1,5 раза уменьшается средневзвешенный диаметр агрегатов, *недостаточно удовлетворительная водоустойчивость* почвенной структуры. В слое почвы 25-50 см по сравнению с верхним на всех изучаемых угодьях выявлены тенденция к некоторому ухудшению структурного состояния (сухое просеивание) и *хорошая водоустойчивость* почвенной структуры. Следует отметить, что длительное бессменное парование оказало негативное влияние на водоустойчивость структуры чернозёма типичного в основном только в пахотном слое 0-25 см.

Установлено, что в слое 0-25 см чернозёма типичного с увеличением степени антропогенной нагрузки на почву снижаются средневзвешенный

диаметр сухих и водоустойчивых агрегатов, количество сухих агрегатов размером 7-3 мм, водоустойчивых агрегатов размером 5-1 мм и увеличивается количество фракций <0,5 мм (сухое просеивание) и < 0,25 мм (мокрое просеивание), а в слое 25-50 см снижаются средневзвешенный диаметр сухих агрегатов, количество сухих и водоустойчивых агрегатов размером 5-3 мм и увеличивается количество фракций <0,25 мм (сухое и мокрое просеивание).

Плотность чернозёма типичного тяжелосуглинистого на всех изучаемых угодьях (по Бондареву) входит в оптимальный предел плотности (глинистые и суглинистые 1,0-1,30 г/см<sup>3</sup>) сложения почв для большинства растений как сельскохозяйственных, так и природных (диких). В годы исследования максимальная влажность почвы была зафиксирована в слое 0-50 см чернозёма типичного под бессменным паром, отличающимся хорошими влагонакопительными особенностями чистого парования.

#### **6.2.2.2. Проведение интегральной оценки влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы**

В настоящее время актуальной проблемой является изучение и оценка экологического состояния черноземных почв ЦЧР, подвергающихся антропогенному воздействию различной степени. Экологическое состояние естественных природных и антропогенно трансформированных систем – это совокупность физико-химических и биологических свойств, обеспечивающих выполнение ими биосферных функций (Хуторов, 2005). К таким системам относится и почва.

Таким образом, в качестве показателя степени нарушения экологических функций почвы можно использовать интегральный эколого-биологический показатель состояния почвы, рассчитанный на основе набора наиболее информативных показателей биологической активности почвы. Предлагаемый подход оценки экологических последствий деградации почв на основе нарушения ее экологических функций, а также классификацию почв

по степени деградации можно использовать при проведении экологического нормирования загрязнения почв.

Биологические индикаторы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими. Во-первых, это высокая чувствительность и отзывчивость на внешние воздействия, во-вторых, они позволяют проследить за негативными процессами на ранних стадиях процесса, в третьих, только по ним можно судить о воздействиях, не подвергающих существенному изменению вещественный состав почв (радиоактивное и биоцидное загрязнение). К существенным недостаткам можно отнести большую пространственную и временную вариабельность (Казеев и др., 2005).

В настоящее время нерациональное антропогенное воздействие на почвенную экосистему является мощным разрушающим фактором, приводящим к ухудшению экологического состояния почвы и как следствие, снижению плодородия почв и их деградации. Именно поэтому изучение и оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы является очень актуальным, теоретически и практически значимым.

Как отмечалось выше (раздел 3), «экологическое качество почв – это экологическое состояние почв, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью». О.А. Макаров (2003) понимает под *экологическим состоянием почв* комплекс почвенных свойств, определяющий степень их соответствия природно-климатическим условиям почвообразования и пригодности для устойчивого функционирования естественных и антропогенных экосистем.

Исходя из выше изложенного, по нашему мнению *экологическое состояние почвы* – это комплекс показателей (параметров) её физических, химических и биологических свойств, определяющий её пригодность для обитания живых организмов.

Для того, чтобы оценить влияние степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы, необходимо последовательно решить ряд достаточно сложных задач.

Во-первых, разработать методику оценки интенсивности (степени) агрогенного воздействия на почву и по этой методике оценить изучаемые угодья.

Во-вторых, разработать метод интегральной оценки экологического состояния почвы, затем на основе полученной методики провести оценку экологического состояния чернозёма типичного на исследуемых угодьях.

В-третьих, оценить влияние степени агрогенного воздействия на определенный для каждого изучаемого угодья интегральный показатель экологического состояния чернозёма типичного.

На основе нами разработанного метода, алгоритма его реализации и полученных экспериментальных данных проведена интегральная оценка экологического состояния почвы, определены требования к его применению.

*Этап 1.* Оценка степени воздействия агрогенных факторов на почву проводилась по методу, представленному в разделе 6.1. Необходимая шкала оценки степени агрогенного воздействия, а также оценка по этой методике изучаемых угодий нами была представлена также в разделе 6.1.

*Этап 2.* Выбор эталона – это выбор угодья, не подверженного агрогенному воздействию более 20 лет и расположенного поблизости. Далее из ряда изучаемых угодий нами был выбран эталон – не подверженное агрогенному воздействию более 20 лет угодье – залежь, расположенная в средней части склона северной экспозиции рядом с другими изучаемыми объектами.

*Этап 3.* Выделение (выбор) наиболее информативных и наиболее реагирующих на агрогенное воздействие показателей экологического состояния (*i*-ых параметров) качества почвы на основе оценки корреляционной зависимости между степенью агрогенного воздействия и свойствами почвы.

Для выбора наиболее информативных и наиболее реагирующих на агрогенное воздействие показателей экологического состояния была проведена оценка корреляционной зависимости между степенью агрогенного воздействия и свойствами почвы.

В результате проведённого корреляционного анализа (табл.23) в слоях 0-25 и 25-50 см в годы исследования в ряду изучаемых угодий (лесополоса → залежь → многолетние травы → пашня с ЗТС → пашня с ЗППС → бессменный пар) выявлена сильная отрицательная зависимость ( $r > 0,7$ ) между изменчивостью степени агрогенного воздействия (в баллах) и такими свойствами почвы как: содержание общего гумуса, запасы гумуса, отношение  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ , запасы НОВ, содержание общего азота, количество и масса дождевых червей.

Установлена сильная положительная корреляционная зависимость между продуктивностью надземной растительной биомассы (фитомассы) и степенью агрогенного воздействия. Данная зависимость получена в результате

Таблица 23

**Оценка связи (коэффициент корреляции,  $r$ ) степени агрогенной нагрузки на чернозём типичный с его свойствами**

Свойства почвы ( $i$ -е параметры качества почвы)		Годы исследования			
		2007	2008	2007	2008
		0-25 см		25-50 см	
	1	2	3	4	5
Химические	Гумус	-0,88	-0,81	-0,79	-0,75
	Запасы гумуса	-0,82	-0,94	-0,73	-0,79
	Тип гумуса	–	0,17	–	0,1
	Степень гумификации	–	0,47	–	-0,01
	$C_{ЛГВ}$	-0,89	-0,87	-0,62	-0,85
	$C_{ЛГК}$	-0,91	-0,87	-0,68	-0,81
	$C_{ЛФК}$	-0,78	-0,85	-0,56	-0,85
	$C_{ЛГК}/C_{ЛФК}$	-0,87	-0,87	-0,76	-0,81
	Запасы НОВ	-0,92	-0,91	-0,81	-0,78
	Общий азот	-0,92	-0,82	-0,78	-0,78
	Щелочногидролизуемый азот	-0,90	-0,94	-0,53	-0,81
	Подвижные формы фосфора	0,90	0,80	0,64	0,33
	Подвижные формы калия	-0,01	-0,33	0,26	-0,21
	Обменный кальций	-0,68	-0,69	-0,45	0,39
	Обменный магний	-0,56	-0,07	-0,56	-0,44
Обменный кальций и магний	-0,68	-0,63	-0,94	0,32	

	1	2	3	4	5
Биологические	$C_{MB}$	-0,50	-0,80	-0,71	-0,88
	Надземная фитомасса	0,80	0,96	–	–
	Надземная абсолютно-сухая фитомасса	0,89	0,83	–	–
	Количество экземпляров дождевых червей на 1 м <sup>2</sup>	–	–	-0,72	-0,77
	Масса дождевых червей на 1 м <sup>2</sup>	–	–	-0,93	-0,82
Физико-химические	pH водной вытяжки	-0,97	-0,52	0,43	0,59
	pH солевой вытяжки	-0,97	-0,42	0,39	0,60
Физические	Влажность почвы	0,48	0,54	0,52	0,66
	Плотность почвы	0,42	0,48	-0,41	-0,53
	Сумма агрегатов агрономически ценных фракций	-0,54	–	0,07	–
	Коэффициент структурности агрегатов	-0,58	–	-0,02	–
	Средневзвешенный диаметр агрегатов	-0,79	–	-0,44	–
	Сумма водоустойчивых агрегатов	-0,94	–	0,25	–
	Коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов	-0,89	–	-0,08	–
	Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов	-0,85	–	0,14	–

Установлена сильная положительная корреляционная зависимость между продуктивностью надземной растительной биомассы (фитомассы) и степенью агрогенного воздействия. Данная зависимость получена в результате сопоставления изменчивости степени агрогенного воздействия (в баллах) и продуктивности надземной фитомассы как в близких к естественным биоценозах (лесополоса, залежь), так и агроценозах (пашня с ЗТС и пашня с ЗППС). Это объясняется тем, что главной целью создания агроэкосистем является получение максимально возможной продукции и для этого используют дополнительно антропогенные ресурсы.

Продуктивность же надземной фитомассы в естественных и близких к ним биоценозах (лесополоса, залежь) служит показателем природного (естественного) плодородия почвы и направлена на поддержание и повышение общей экологической стабильности экосистемы. Поэтому достаточно некорректным (неправильным) представляется использование показателя продуктивности надземной фитомассы для сравнительной оценки экологического состояния почвы под естественными биоценозами (или близкими к ним) и сельскохозяйственными агроценозами.

Теперь рассмотрим корреляционную зависимость, наблюдаемую между степенью агрогенного воздействия и содержанием в почве изучаемых угодий щелочногидролизующего азота. Так в слое 0-25 см в 2007 и 2008 гг. между ними выявлена сильная отрицательная ( $r = 0,81-0,94$ ), а в слое 25-50 см в 2007 году – средняя отрицательная, а в 2008 году – сильная отрицательная корреляционная зависимость. Вероятно, выявленное снижение силы корреляционной зависимости обусловлено последствием парования чернозёма типичного в ЗППС. Именно при паровании почвы в результате интенсивного разложения (минерализации) почвенными микроорганизмами в слое 25-50 см запасов НОВ и гумуса происходит накопление таких легкодоступных для растений форм азота как нитратный, обменный и щелочногидролизующий.

Таким образом, с учётом выше сказанного содержание щелочногидролизующего азота в слое почвы 25-50 можно считать достаточно реагирующим на изменение степени агрогенного воздействия (экологическим) показателем.

В 2007 году в слое 25-50 см и в 2008 году в слоях 0-25 и 25-50 см выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между степенью агрогенного воздействия (в баллах) и содержанием в чернозёме типичном изучаемых угодий углерода микробной биомассы ( $r = 0,71-0,88$ ). При этом наблюдаемая в 2007 году в слое 0-25 см средняя отрицательная корреляционная зависимость между степенью агрогенного воздействия и содержанием в почве исследуемых объектов МБ обусловлена действием случайного пиро-

генного фактора, вызвавшего резкое снижение МБ в чернозёме типичном под ЗТС.

Учитывая это, выше рассматриваемую корреляционную зависимость возможно считать достаточно значимой как в 0-25 см, так и в 25-50 см слое. Поэтому содержание МБ в этих слоях чернозёма типичного можно использовать в качестве наиболее реагирующего на изменение степени агрогенного воздействия показателя.

Таким образом, наиболее универсальными (как для 0-25 см, так и для 25-50 см слоя) и наиболее реагирующими на изменение степени агрогенного воздействия показателями являются: содержание общего гумуса, запасы гумуса, отношение  $C_{ЛГК}/C_{ЛФК}$ , запасы НОВ, содержание общего и щелочногидролизуемого азота, количество экземпляров и масса дождевых червей, содержание МБ и продуктивность надземной фитомассы.

При детальном рассмотрении полученных коэффициентов корреляции видно, что самые большие значения они принимают главным образом в верхнем слое почвы 0-25 см, наиболее подверженном агрогенному воздействию. Именно поэтому, кроме отмеченных выше сильных корреляционных зависимостей, наблюдаемых как в слое 0-25 см, так и в слое 25-50 см, между степенью агрогенного воздействия и почвенными свойствами отдельно необходимо рассмотреть сильные корреляционные связи, обнаруженные в слое 0-25 см чернозёма типичного.

В слое 0-25 см в 2007-2008 гг. между степенью агрогенного воздействия и содержанием в почве изучаемых угодий  $C_{ЛГВ}$ ,  $C_{ЛГК}$ ,  $C_{ЛФК}$  выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость. Причём такая же зависимость наблюдается в слое 25-50 см в 2008 году, но так как она не выявлена в 2007 году, то содержание  $C_{ЛГВ}$ ,  $C_{ЛГК}$ ,  $C_{ЛФК}$  в данном слое почвы нельзя считать достоверно реагирующими на изменение степени агрогенного воздействия показателями.

В 2007-2008 гг. в слое 0-25 см наблюдается сильная положительная корреляционная связь между степенью агрогенного воздействия и содержа-

нием в почве изучаемых угодий подвижного фосфора. Это обусловлено тем, что при сельскохозяйственном использовании чернозема типичного происходит смещение соотношения процессов мобилизации и иммобилизации фосфора в сторону накопления его подвижных форм в пахотном слое (А.Е. Возбуцкая, 1963; И.С. Кауричев и др. 1989).

Сильная отрицательная корреляционная зависимость выявлена в слое почвы 0-25 см между степенью агрогенного воздействия и средневзвешенным диаметром почвенных агрегатов, суммой водоустойчивых агрегатов, коэффициентом структурности водоустойчивых агрегатов, средневзвешенным диаметром водоустойчивых агрегатов. То есть именно эти показатели структурно-агрегатного состояния чернозёма типичного являются наиболее реагирующими на изменение степени агрогенного воздействия.

Высокий коэффициент корреляции, выявленный в слое 0-25 см в 2007 году ( $r = -0,97$ ) между степенью агрогенного воздействия и  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$ , обусловлен подкислением почвы в ряду изучаемых угодий, которое возможно вызвано как выносом кальция растениями, так и особым гидротермическим режимом, вероятно способствовавшим вымыванию карбонатов и усилению минерализации органического вещества. В 2008 году в слое 0-25 см корреляционная связь между степенью агрогенного воздействия и рассматриваемыми свойствами была средней отрицательной. Исходя из выше сказанного, нельзя считать данные показатели постоянно достаточно реагирующими на изменение степени агрогенного воздействия.

Случайный характер носит выявленная в 2007 году в слое 25-50 см сильная отрицательная корреляционная зависимость между степенью агрогенного воздействия и содержанием в почве под изучаемыми угодьями суммы обменных форм кальция и магния. О правомерности этого утверждения свидетельствует коэффициент корреляции 2008 года.

Таким образом, ограниченно действующими (только в 0-25 см слое) и наиболее реагирующими на изменение степени агрогенного воздействия показателями являются: содержание подвижных форм фосфора, диаметр поч-

венных агрегатов, сумма водоустойчивых агрегатов, коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов, средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов.

Корреляционная зависимость, выявленная между степенью агрогенного воздействия и изучаемыми, но не отмеченными выше свойствами почвы изменялась от слабой ( $r < 0,3$ ) до средней ( $r = 0,3-0,7$ ) степени сопряженности. На основе использования корреляционного анализа были выделены (табл. 24) наиболее реагирующие на изменение степени агрогенного воздействия свойства почвы – экологические параметры. В слое 0-25 см чернозема типичного к данным свойствам относятся: содержание общего гумуса, запасы гумуса,

Таблица 24

**Показатели свойств почвы, наиболее реагирующие на изменение степени агрогенной нагрузки ( 2007-2008 гг.)**

Свойства почвы ( <i>i</i> -е параметры качества почвы)		Глубина, см	
		0-25	25-50
		Коэффициент корреляции (r)	
1		2	3
Химические	Гумус	-0,8	-0,8
	Запасы гумуса	-0,9	-0,8
	Лабильные гумусовые вещества	-0,9	–
	Лабильные гуминовые кислоты (С <sub>ЛГК</sub> )	-0,9	–
	Лабильные фульвокислоты (С <sub>ЛФК</sub> )	-0,8	–
	С <sub>ЛГК</sub> /С <sub>ЛФК</sub>	-0,9	-0,8
	Запасы НОВ	-0,9	-0,8
	Общий азот	-0,9	-0,8
	Щелочногидролизуемый азот	-0,9	-0,7
	Подвижные формы фосфора	0,9	–
Биологические	С <sub>МБ</sub>	-0,7	-0,8
	Надземная влажная фитомасса	0,9	–
	Надземная абсолютно-сухая фитомасса	0,9	–
	Количество экземпляров дождевых червей на м <sup>2</sup>	-0,7	-0,8
	Масса дождевых червей на м <sup>2</sup>	-0,9	-0,8

1		2	3
Физические	Средневзвешенный диаметр агрегатов	-0,8	–
	Сумма водоустойчивых агрегатов	-0,9	–
	Коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов	-0,9	–
	Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов	-0,9	–

содержание  $C_{ЛГВ}$ ,  $C_{ЛГК}$  и  $C_{ЛФК}$ , отношение  $C_{ЛГК}/C_{ЛФК}$ , запасы НОВ, содержание общего и щелочногидролизуемого азота, содержание подвижных форм фосфора, содержание МБ, диаметр почвенных агрегатов, сумма водоустойчивых агрегатов, коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов, средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов.

В то же время в слое 25-50 см к наиболее реагирующим на изменение степени агрогенного воздействия свойствам почвы относятся: содержание общего гумуса, запасы гумуса, отношение  $C_{ЛГК}/C_{ЛФК}$ , запасы НОВ, содержание общего и щелочногидролизуемого азота, содержание МБ. Кроме того, к рассматриваемым свойствам чернозёма типичного относятся продуктивность надземной фитомассы и количество и масса дождевых червей.

*Этап 4.* Расчёт по выбранным показателям экологического состояния почвы (параметрам качества почвы) индекса  $i$ -го параметра качества почвы изучаемого угодья (ИКПи) в % от контроля. В результате исходные параметры свойства почвы из различных шкал измерения приводятся к единой безразмерной шкале, после этого с их значениями можно проводить математические операции для получения интегрального показателя экологического состояния почвы.

Затем для каждого  $i$ -го параметра качества почвы изучаемого угодья, наиболее реагирующего на изменение степени агрогенного воздействия, рассчитали индекс (ИКПи) в % от эталона по формуле 5.

$$ИКП_i = \left( \frac{P_i}{P_{э,i}} \right) \cdot 100, \quad (5)$$

где  $ИКП_i$  – индекс  $i$ -го параметра качества почвы изучаемого угодья, %,

$P_i$  –  $i$ -ый параметр качества почвы изучаемого угодья,

$P_{э,i}$  – значение  $i$ -го параметра качества почвы для эталона (залежи).

В результате исходные параметры (свойства почвы) из различных шкал измерения приводятся к единой безразмерной шкале.

*Этап 5.* Расчёт для каждого объекта исследования интегрального индекса экологического состояния почвы – интегрального индекса качества почвы (ИИКП).

Интегральный индекс экологического состояния почвы – интегральный индекс качества почвы ( $ИИКП$ ) рассчитывается по формуле 6.

$$ИИКП = \frac{\sum_{i=1}^n ИКП_i}{n}, \quad (6)$$

где  $ИИКП$  – интегральный индекс экологического состояния почвы (интегральный индекс качества почвы), %,

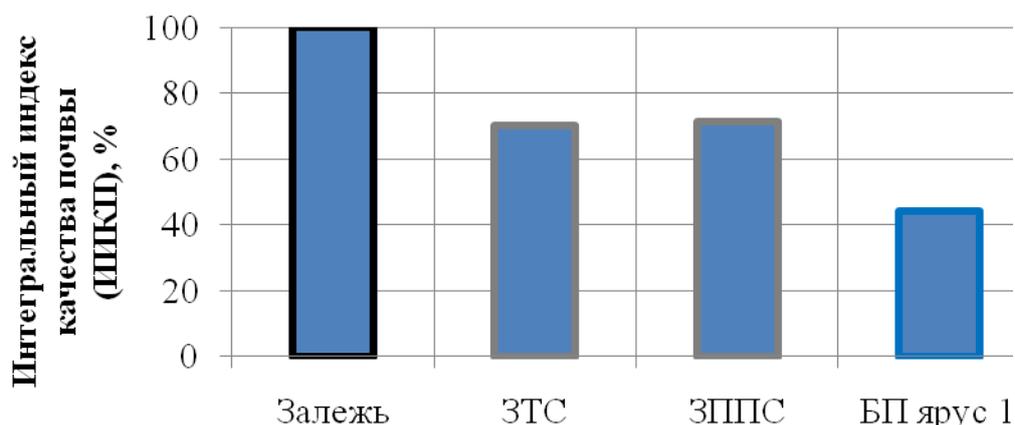
$n$  – количество индексов параметров качества почвы.

### **6.2.2.3. Разработка шкалы оценки экологического состояния почвы**

*Этап 6.* Выделение на основе графического анализа на изучаемых угодьях диапазонов изменения ИИКП. Но без шкалы оценки экологического состояния почвы невозможно количественно оценить степень влияния агрогенного воздействия на общее экологическое состояние чернозёма типичного на изучаемых угодьях. На основе графического анализа экспериментального материала (рис.14-17) выделены четыре градации оценки экологического состояния чернозёма типичного: отличное, хорошее удовлетворительное, неудовлетворительное, необходимые для построения шкалы оценки экологического состояния почвы.

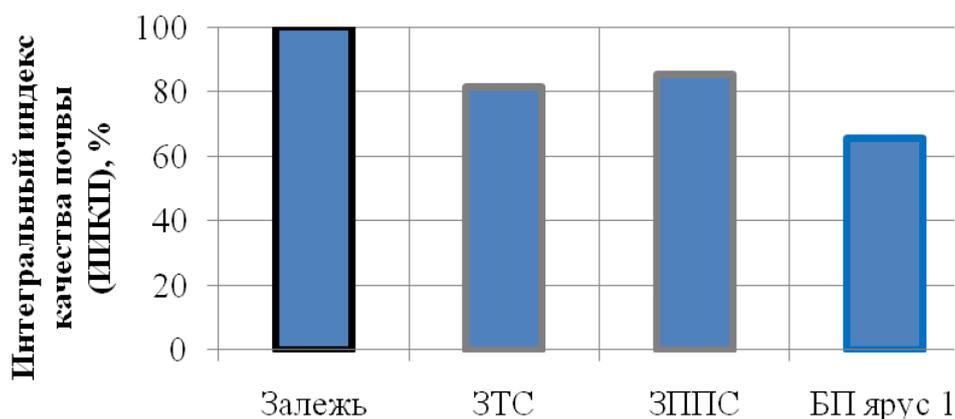
*Этап 7.* Разработка шкалы оценки экологического состояния почв. Как видно из рисунков 14 и 15, в 2007 году происходит резкое изменение ИИКП в почве от залежи к пашне с ЗТС и от пашни с ЗППС к бессменному пару первого яруса. В 2008 году похожая картина выявлена в слое 0-25 см чернозёма типичного (рис.16), только залежь сменяется многолетними травами. Более плавное минимальное изменение ИИКП наблюдается от пашни с ЗТС к пашне с ЗППС, что свидетельствует о некоторой стабилизации экологического состояния почвы на данном уровне.

Согласно представленным данным (рис.14) за 2007 год в слое почвы 0-25 см в изучаемых угодьях можно выделить три диапазона изменения ИИКП: 1) 100-90; 2) 90-70%; 3) 70-71%; 4) 70-44%.



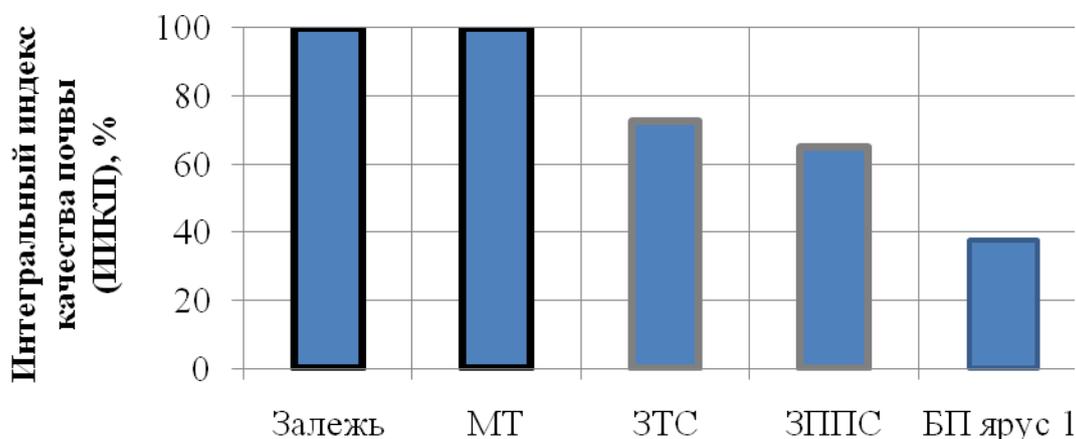
**Рис. 14. Изменение интегрального индекса качества почвы (ИИКП) на изучаемых угодьях в 2007 году (0-25 см)**  
(Обозначения такие же, как и в таблице 13, БМ- бессменный пар)

Согласно выявленным в 2008 году изменениям интегрального индекса экологического состояния слоя 0-25 см чернозёма типичного изучаемых угодий проведена некоторая корректировка диапазонов 70-71 % и 71-44% на 72-65% и 65-38 %, поэтому более рациональным для оценки экологического состояния почвы (в первом приближении) является использование диапазонов 70-60% и  $\leq 60\%$ .



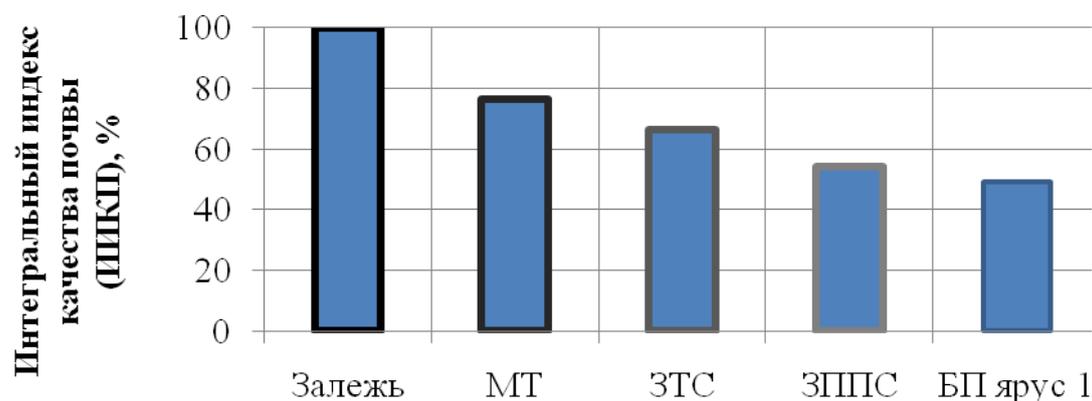
**Рис. 15. Изменение интегрального индекса качества почвы (ИИКП) на изучаемых угодьях в 2007 году (25-50 см)**

В слое почвы 25-50 см на изучаемых угодьях диапазоны изменения ИИКП носят несколько иной характер, чем полученные в слое 0-25 см. Так, в 2007 году графически выделяются диапазоны 1) 100-87%; 2) 80-87%; 3) 87-66% (рис.14). В 2008 году выделяется меньшее их количество: 1) 100-66 и 66-49 (рис.16). Менее резко выраженное изменение экологического состояния чернозёма типичного в 25-50 см слое обусловлено тем, что в наибольшей степени агрогенному воздействию подвергается именно верхний 0-25 см (пахотный) слой, в то время как с глубиной интенсивность агрогенной нагрузки на почву значительно снижается. Поэтому, для градации экологического состояния почвы на изучаемых угодьях наиболее рационально пользоваться диапазонами ИИКП, полученными в слое 0-25 см.



**Рис. 16. Изменение интегрального индекса качества почвы (ИИКП) на изучаемых угодьях в 2008 году (0-25 см)**

(Обозначения такие же, как и в таблице 13, БМ - бессменный пар)



**Рис. 17. Изменение интегрального индекса качества почвы (ИИКП) на изучаемых угодьях в 2008 году (25-50 см)**

В результате анализа представленных рисунков наиболее целесообразным является выделение четырёх основных диапазонов изменения ИИКП: 1) 100-90%; 2) 90-70%; 3) 70-60%; 4)  $\leq 60\%$ . Учитывая, вышесказанное и то, что в рассматриваемом ряду диапазонов происходит ухудшение экологического состояния почвы, была построена следующая шкала оценки экологического состояния чернозёма типичного (табл. 26).

Таблица 25

**Шкала оценки экологического состояния чернозёма типичного**

Интегральный индекс экологического состояния почвы (ИИЭС), %	Категории экологического состояния почвы
100-90	отличное (благоприятное)
91-70	хорошее
71-60	удовлетворительное
$\leq 60$	неудовлетворительное

В заключение следует остановиться на требованиях, предъявляемых к применению метода интегральной оценки экологического состояния почвы. К ним относятся: 1) выбор не менее 4 объектов исследования, отличающихся по степени агрогенного воздействия и экологическому состоянию почвы; 2) проведение исследования (по возможности) основных свойств почвы; 3) проведение оценки степени агрогенного воздействия на почву (от которого во мно-

гом зависит точность результата) перед оценкой экологического состояния почвы.

Разработанный метод интегральной оценки экологического состояния почвы отличается следующими решениями: 1) для выделения наиболее реагирующих на изменение степени агрогенного воздействию показателей экологического состояния применен корреляционный анализ; 2) предложен расчёт индекса качества почвы (ИКПи) (в %), который с одной стороны, раскрывает изменения свойств почвы относительно контроля – не подверженного агрогенному воздействию угодья, а с другой, служит для перехода к единой безразмерной шкале необходимой при расчёте ИИКП; 3) проводилась комплексная оценка экологического состояния почвы по химическим, физическим и биологическим показателям; 4) построение шкалы оценки экологического состояния почвы основано на графическом анализе диапазонов изменения ИИКП.

#### **6.2.2.4. Интегральная (комплексная) оценка экологического состояния почвы по химическим, физическим и биологическим показателям**

На основе разработанного нами метода была проведена интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного в изучаемых угодьях (табл.26-29). Согласно данным, представленным в таблице 29, в 2007 году в слое 0-25 см чернозёма типичного максимальные значения ИИКП были выявлены в пахотной почве с ЗППС (озимая пшеница) и ЗТС (озимая пшеница), что соответствует хорошему экологическому состоянию почвы.

Причём, ИИКП в этом слое чернозёма типичного на пашне с ЗППС был даже немного (на 1,4 (относительных) %) больше, чем с ЗТС. Это обусловлено, во-первых, более высоким на 43 (абсолютных) % ИКПи по содержанию МБ, а во-вторых, несколько большим содержанием ЛГВ (ЛГК и ЛФК) и лучшим их качеством ( $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ ). Причины резкого снижения содержания МБ в 2007 году в слое почвы 0-25 см в ЗТС, вызвавшего ухудшение экологического

**Интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного  
в 2007 году (0-25 см)**

Объект исследования	Индекс <i>i</i> -го параметра качества почвы (ИКПи), %														ИИКП	Категория экологического состояния почвы
	Гумус	Запасы гумуса	ЛГВ	ЛГК	ЛФК	С <sub>лгк</sub> /С <sub>лфк</sub>	Запасы НОВ	Общий азот	Щелочногидролизуемый азот	Средневзвешенный диаметр агрегатов	Сумма водоустойчивых агрегатов	Коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов	Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов	МБ		
Залежь	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	94	86	78	71	82	86	34	93	98	85	68	38	27	46	70	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	91	92	81	72	87	83	22	90	95	86	62	34	13	89	71	Хорошее
Пашня, бессменный пар, ярус 1	81	78	31	10	45	22	4	79	77	76	34	16	4	64	44	Неудовлетворительное

ИИКП - интегральный индекс качества (экологического состояния) почвы

**Интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного  
в 2007 году (25-50 см)**

Объект исследования	Индекс <i>i</i> -го параметра качества почвы ( <i>ИКPi</i> ), %							ИИКП	Категория экологического состояния почвы
	Гумус	Запасы гумуса	Слгк /Слфк	Запасы НОВ	Общий азот	Щелочногидролизуемый азот	МБ		
Залежь	100	100	100	100	100	100	100	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	93	88	54	41	96	92	105	81	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	94	92	84	29	96	111	105	87	Хорошее
Пашня, бесменный пар, ярус 1	84	77	34	12	87	83	83	66	Удовлетворительное

ИИКП - интегральный индекс качества (экологического состояния) почвы

## Интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного (слой 0-25 см)

Объект исследования	Индекс <i>i</i> -го параметра качества почвы ( <i>ИКПи</i> ), %																ИИКП	Категория экологического состояния почвы
	Гумус	Запасы гумуса	ЛГВ	ЛПК	ЛФК	Слгк /Слфк	Запасы НОВ	Общий азот	Щелочногидролизуемый азот	Средневзвешенный диаметр агрегатов	Сумма водоустойчивых агрегатов	Коэффициент структурности водоустойчивых агрегатов	Средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов	МБ	Количество дождевых червей	Масса дождевых червей		
Залежь	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Отличное
Многолетние травы	91	94	94	92	96	96	66	89	89	118	103	101	103	59	264	131	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	90	89	77	65	86	76	38	87	94	85	68	38	27	48	94	98	72	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	88	87	86	78	92	85	39	87	84	86	62	34	13	49	33	36	65	Удовлетворительное
Пашня, бесменный пар, ярус 1	79	82	36	10	56	17	3	78	74	76	34	16	4	40	0	0	38	Неудовлетворительное
Пашня, бесменный пар, ярус 2	80	79	41	10	66	15	4	78	75	79	29	11	6	43	0	0	38	Неудовлетворительное ЭС

ИИКП - интегральный индекс качества (экологического состояния) почвы

**Интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного  
в 2008 году (25-50 см)**

Объект исследования	Индекс $i$ -ого параметра качества почвы ( $ИКП_i$ ), %									ИИКП	Категория экологического состояния почвы
	Гумус	Запасы гумуса	ЛГК/ЛФК	Запасы НОВ	Общий азот	Щелочногидролизуемый азот	МБ	Количество дождевых червей	Масса дождевых червей		
Залежь	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Отличное
Многолетние травы	97	96	82	76	96	97	113	11	19	76	Хорошее
Пашня, зернотравяной севооборот	90	85	37	29	92	96	84	43	41	66	Удовлетворительное
Пашня, зернопаропропашной севооборот	92	90	37	24	92	92	62	0	0	54	Неудовлетворительное
Пашня, бессменный пар, ярус 1	86	81	29	12	83	83	68	0	0	49	Неудовлетворительное
Пашня, бессменный пар, ярус 2	88	87	29	12	88	89	71	0	0	51	Неудовлетворительное

ИИКП - интегральный индекс качества (экологического состояния) почвы

состояния чернозёма типичного, подробно рассмотрены ранее в разделе 6.2.2. данной работы.

Неудовлетворительное экологическое состояние и минимальное значение ИИКП отмечается в слое почвы 0-25 см в бессменном пару первого яруса (44%). В почве бессменного пара, согласно рассчитанным ИКПи, это связано со значительным уменьшением запасов НОВ, ухудшением структурно-агрегатного состояния, снижением содержания ЛГВ и соотношения  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ .

В 2007 году в слое 25-50 см чернозёма типичного хорошее экологическое состояние выявлено под ЗТС и ЗППС, при этом соответственно значения ИИКП были следующими – 81 и 87% (табл.27). Высокое значение ИИКП в чернозёме типичном в ЗППС связано с повышенными ИКПи по содержанию щелочногидролизующего азота и соотношению  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ . Более подробно причины этого рассмотрены в разделе 6.2.2 данной работы.

Неудовлетворительное экологическое состояние, а, следовательно, наименьший в слое 25-50 см ИИКП отмечается в почве в бессменном пару. Согласно данным таблицы 29 это обусловлено уменьшением значений ИКПи, вызванных главным образом уменьшением запасов НОВ, снижением соотношения  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ , уменьшением содержания МБ.

При проведении интегральной оценки в 2008 году использовали больше биологических показателей экологического состояния почвы (табл.28-29). Согласно данным, представленным в таблице 29, в 2008 году в слое 0-25 см под многолетними травами выявлено отличное экологическое состояние почвы (ИИКП=100 %). С одной стороны, это обусловлено значительным на 3-18 (абсолютных) % улучшением структурно-агрегатного состояния почвы под многолетними травами, а с другой стороны, увеличением в 2,6 и в 1,3 раза, соответственно, содержания и массы дождевых червей по сравнению с залежью.

Хорошее экологическое состояние чернозёма типичного отмечается в этом же слое в ЗТС. В то же время значение ИИКП в почве в ЗТС по сравне-

нию с многолетними травами в 1,4 раза меньше. В слое почвы 0-25 см в ЗППС ИИКП меньше на 8 (абсолютных) % по сравнению с ЗТС, а экологическое состояние удовлетворительное. Это связано как с уменьшением в 2,1 раза запасов НОВ, так и со снижением в 2,8 и 2,7 раза содержания и массы дождевых червей, соответственно, по сравнению с ЗТС.

Неудовлетворительное экологическое состояние и наименьшее значение ИИКП (38%) выявлено в слое 0-25 см чернозёма типичного в бессменном пару первого и второго ярусов. Такое значение ИИКП в бессменном пару по сравнению с другими угодьями обусловлено снижением содержания ЛГК, уменьшением соотношения  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ , снижением запасов НОВ, ухудшением структурно-агрегатного состояния и отсутствием дождевых червей в почве. Причины этого были рассмотрены ранее в разделе 6.2.2.

В 2008 году в слое почвы 25-50 см, полученные ИИКП постепенно снижались в следующем ряду изучаемых угодий: многолетние травы → ЗТС → ЗППС → бессменный пар первого и второго ярусов. Причём, максимальное значение ИИКП выявлено в чернозёме типичном под многолетними травами – 76% (хорошее экологическое состояние), а минимальное – в бессменном пару первого и второго ярусов, соответственно, 49% и 51% (неудовлетворительное экологическое состояние). Обнаруженное резкое снижение значений ИИКП в слое почвы 25-50 см в бессменном пару согласно ИКПи, представленным в таблице 36, обусловлено, как и в 2007 году, уменьшением запасов НОВ и снижением соотношения  $C_{ЛГК} / C_{ЛФК}$ . Значение ИИКП в рассматриваемом слое почвы в ЗППС было на 12 (абсолютных) % больше, чем в ЗТС. Это связано со снижением в данном слое содержания МБ и отсутствием дождевых червей.

Таким образом, на основе разработанного нами метода была проведена интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного на различных угодьях. Установлено, что степень и направленность агрогенного воздействия во многом определяют экологическое состояние чернозёма типичного, особенно его верхнего слоя 0-25 см. Так, в верхнем слое почвы наи-

более резкое ухудшение экологического состояния чернозёма типичного наблюдается при увеличении агрогенной нагрузки (в баллах) от 0 (залежь) до 3,25 (ЗТС) и от 8,5 (ЗППС) до 12 (бессменный пар). Агрогенное воздействие (многолетние травы), направленное на (восстановление) улучшение плодородия почвы, оказывает достаточно сильное положительное влияние на экологическое состояние (0-25 см слоя) чернозёма типичного.

#### **6.2.2.5. Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного, разработка шкалы нормирования антропогенных нагрузок и её апробация**

Наряду с оценкой экологического состояния почвы достаточно сложную задачу представляет оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного. При этом для того, чтобы провести данную оценку, необходимо выявить изменения экологического состояния почвы, происходящие под влиянием различной степени агрогенного воздействия.

Влияние степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного представлено в таблицах 30-33. В 2007 году многолетнее агрогенное воздействие интенсивностью 3,25 баллов в ЗТС привело к ухудшению экологического состояния (ИИКП) слоя почвы 0-25 см на 30 (абсолютных) % по сравнению с эталоном (залежью). В данном слое почвы в ЗППС при интенсивности агрогенного воздействия равного 8,5 баллов отмечается схожее с ЗТС ухудшение экологического состояния чернозёма типичного на 29 (абсолютных) % по сравнению с залежью.

Такое значительное и достаточно схожее ухудшение экологического состояния чернозёма типичного (от отличного до хорошего) в ЗТС и ЗППС, вероятно, обусловлено, во-первых, некоторым улучшением экологического состояния почвы при её паровании в севообороте, во-вторых, тем, что под влиянием многолетнего агрогенного воздействия происходит стабилизация экологического состояния почвы на близком к 70% уровне. В свою очередь,

эта стабилизация определяется высокой экологической устойчивостью чернозёма типичного к определенному уровню агрогенного воздействия.

Таблица 30

**Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного в 2007 году (0-25 см)**

Объект исследования	Агрогенное воздействие, баллы	ИИКП, %	Категория экологического состояния почвы
Залежь	0	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	3,25	70	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	8,5	71	Хорошее
Пашня, бессменный пар, ярус 1	12	44	Неудовлетворительное

Дальнейшее увеличение агрогенного воздействия до 12 баллов на чернозём типичный в бессменном пару первого яруса приводит к ухудшению экологического состояния 0-25 см слоя чернозёма типичного на 56 (абсолютных) % по сравнению с контролем. Это связано с тем, что под влиянием достаточно высокой степени агрогенного воздействия в почвенной экосистеме устанавливается равновесие со значительно худшим (неудовлетворительным) экологическим состоянием чернозёма типичного по сравнению с залежью (контролем).

В этот же год исследования слой почвы 25-50 см под изучаемыми угодьями отличался более хорошим экологическим состоянием по сравнению со слоем 0-25 см (табл. 31). Так, хорошее экологическое состояние (ИИКП = 81-87) выявлено в слое почвы 25-50 см в ЗТС и ЗППС, интенсивность агрогенного воздействия на которые, соответственно, равна 3,25 и 8,5 баллов.

Увеличение агрогенного воздействия на слой 25-50 см до 12 баллов при бессменном паровании чернозёма типичного привело к ухудшению его экологического состояния до удовлетворительного по сравнению с эталоном всего на 34 (абсолютных) %.

**Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного в 2007 году (25-50 см)**

Объект исследования	Агрогенное воздействие, баллы	ИИКП, %	Категория экологического состояния почвы
Залежь	0	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	3,25	81	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	8,5	87	Хорошее
Пашня, бессменный пар, ярус 1	12	66	Удовлетворительное

Вероятно выявленное более хорошее экологическое состояние нижнего (25-50 см) слоя чернозёма типичного по сравнению с верхним слоем 0-25 см вызвано уменьшением с глубиной интенсивности агрогенного воздействия на почву. Таким образом, в 2007 году агрогенное воздействие в наибольшей степени оказывает влияние на экологическое состояние верхнего (0-25 см) слоя чернозема типичного.

В 2008 году наблюдался несколько иной характер влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного (табл. 32,33). Несмотря на то, что на слой почвы 0-25 см под многолетними травами действует агрогенное нагрузка равная 2 баллам, всё же здесь отмечается такое же как и у эталона экологическое состояние чернозёма типичного. Вероятно, отличное экологическое состояние чернозёма типичного под многолетними травами обусловлено тем, что здесь агрогенное воздействие направлено на восстановление (улучшение) плодородия почвы. Увеличение агрогенного воздействия на слой почвы 0-25 см до 3,25 баллов вызвало, как и в 2007 году, ухудшение экологического состояния чернозёма типичного на 28 (абсолютных) % по сравнению с залежью. В то же время в слое почвы 0-25 см в ЗППС с агрогенным воздействием равным 8,5 баллов экологическое состояние чернозёма типичного ухудшилось на 10,8 (относительных) % по сравне-

нию с ЗТС. Хорошее экологическое состояние в 2008 году слоя почвы 0-25 см в ЗТС вероятно обусловлено меньшей агрогенной нагрузкой на него по сравнению с ЗППС.

Таблица 32

**Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного в 2008 году (0-25 см)**

Объект исследования	Агрогенное воздействие, баллы	ИИКП, %	Категория экологического состояния почвы
Залежь	0	100	Отличное
Многолетние травы	2	100	Отличное
Пашня, зернотравяной севооборот	3,25	72	Хорошее
Пашня, зернопаропропашной севооборот	8,5	65	Удовлетворительное
Пашня, бессменный пар ярус 1	12	38	Неудовлетворительное
Пашня, бессменный пар ярус 2	12	38	Неудовлетворительное

Максимальное агрогенное воздействие равно 12 баллам на черноземе типичный, отмечаемое в бессменном пару первого и второго ярусов, вызывает снижение в слое 0-25 см ИИЭСП на 62 (абсолютных) %, следовательно, экологическое состояние почвы ухудшается, и становится неудовлетворительным.

В 2008 году в слое 25-50 см чернозёма типичного с ростом степени агрогенного воздействия от 2 до 12 баллов в ряду изучаемых угодий: многолетние травы → пашня с ЗТС → пашня с ЗППС → пашня, бессменный пар первого и второго ярусов, – происходит соответственно ухудшение экологического состояния почвы. Так, в 25-50 см слое чернозёма типичного под многолетними травами с агрогенным воздействием равным 2 балла отмечается хорошее экологическое состояние (снижение ИИКП на 24 (абсолютных) % по сравнению с эталоном).

**Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного в 2008 году (25-50 см)**

Объект исследования	Агрогенное воздействие, I баллы	ИИКП, %	Категория экологического состояния почвы
Залежь	0	100	Отличное
Многолетние травы	2	76	Хорошее
Пашня, зернотравяной севооборот	3,25	66	Удовлетворительное
Пашня, зернопаропропашной севооборот	8,5	54	Неудовлетворительное
Пашня, бессменный пар, ярус 1	12	49	Неудовлетворительное
Пашня, бессменный пар, ярус 2	12	51	Неудовлетворительное

В этом же слое почвы в ЗТС с агрогенным воздействием в 3,25 балла экологическое состояние удовлетворительное (снижение ИИКП на 34 (абсолютных) % по сравнению с эталонным). Неудовлетворительное экологическое состояние отмечается в слое 25-50 см чернозёма типичного в ЗППС и бессменном пару первого и второго ярусов с агрогенным воздействием соответственно равным 8,5 и 12 и 12 баллов, при этом ИКП снижается, соответственно, на 46 и 50 (абсолютных) % по сравнению с контролем (залежью).

Наиболее наглядно влияние степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного представлено на рисунках 21-24. Из отмеченного выше следует, что в 2008 году, так же как и в 2007 году, степень агрогенного воздействия в наибольшей степени влияет на экологическое состояние верхнего (0-25 см) слоя чернозема типичного.

Степень и направленность агрогенного воздействия во многом определяют экологическое состояние чернозёма типичного, особенно его верхнего слоя 0-25 см (рис. 18-21). Так, в верхнем слое почвы наиболее резкое ухудшение экологического состояния чернозёма типичного наблюдается при увели-

чении агрогенной нагрузки (в баллах) от 0 (залежь) до 3,25 (ЗТС) и от 8,5 (ЗППС) до 12 (бессменный пар).

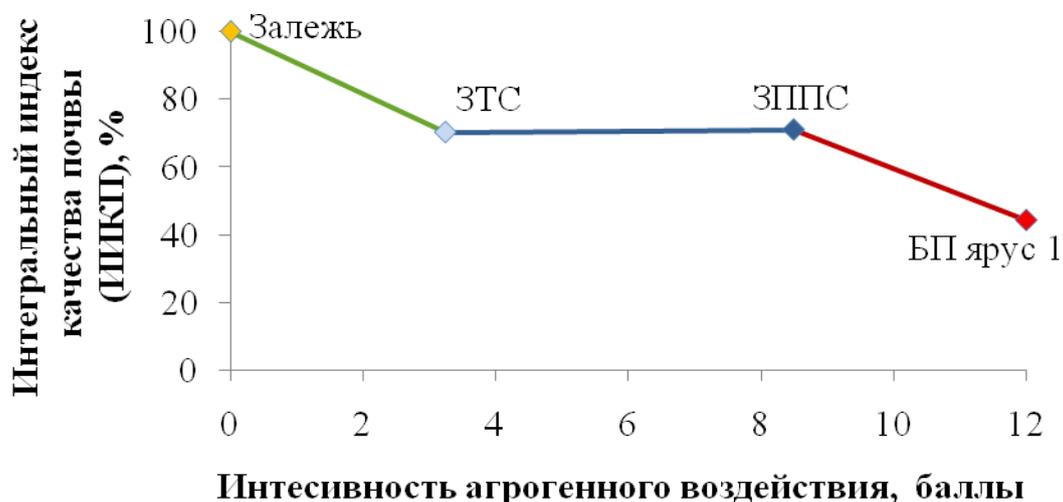


Рис. 18. Зависимость между агрогенной нагрузкой и интегральным индексом качества чернозёма типичного в 2007 году (0-25 см) (Обозначения такие же, как и в таблице 13 и БМ- бессменный пар)

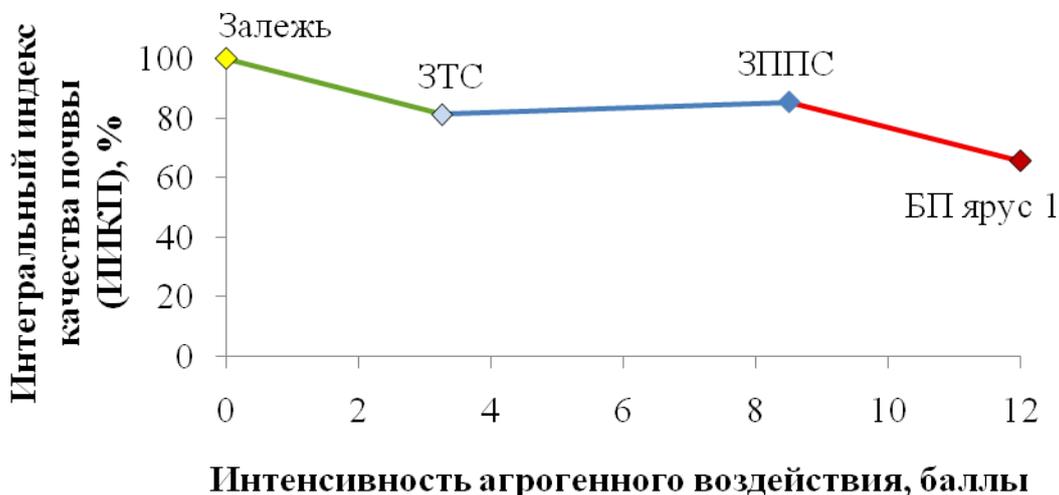


Рис. 19. Зависимость между агрогенной нагрузкой и интегральным индексом качества чернозёма типичного в 2007 году (25-50 см)

В то же время повышение агрогенного воздействия на почву (в баллах) от 3,25 (ЗТС) до 8,5 (ЗППС) приводит к незначительному (от 0 до 7 %) ухудшению экологического состояния чернозёма типичного. Это связано с тем,

что предшествующее парование чернозёма типичного в ЗППС под озимую пшеницу способствует некоторому снижению отрицательного влияния агрогенного воздействия на экологическое состояние 0-25 см и 25-50 см слоя почвы. В результате, несмотря на значительное возрастание агрогенного воздействия, наблюдается улучшение экологического состояния чернозёма типичного под ЗППС по сравнению с ЗТС.

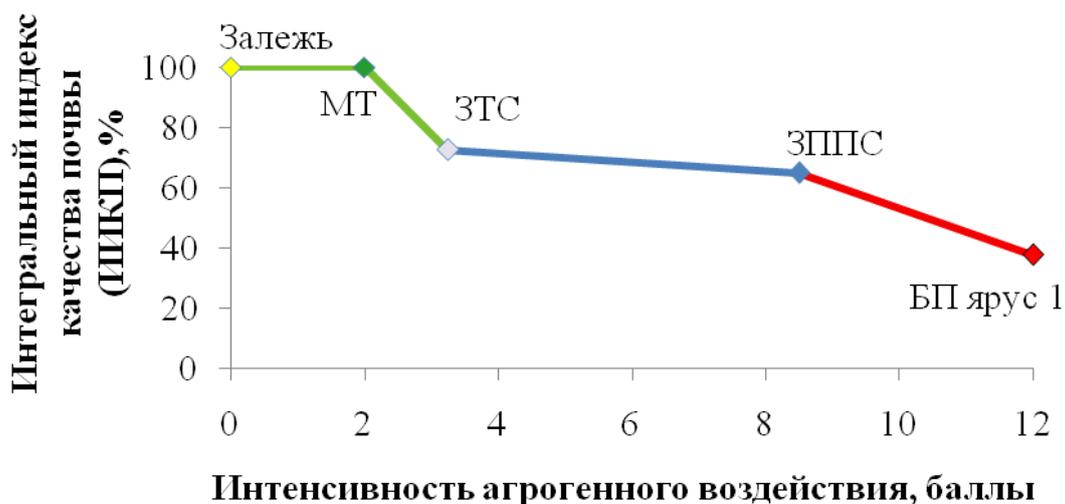


Рис. 20. Зависимость между агрогенной нагрузкой и интегральным индексом качества чернозёма типичного в 2008 году (0-25 см) (Обозначения такие же, как и в таблице 13, БМ- бессменный пар)

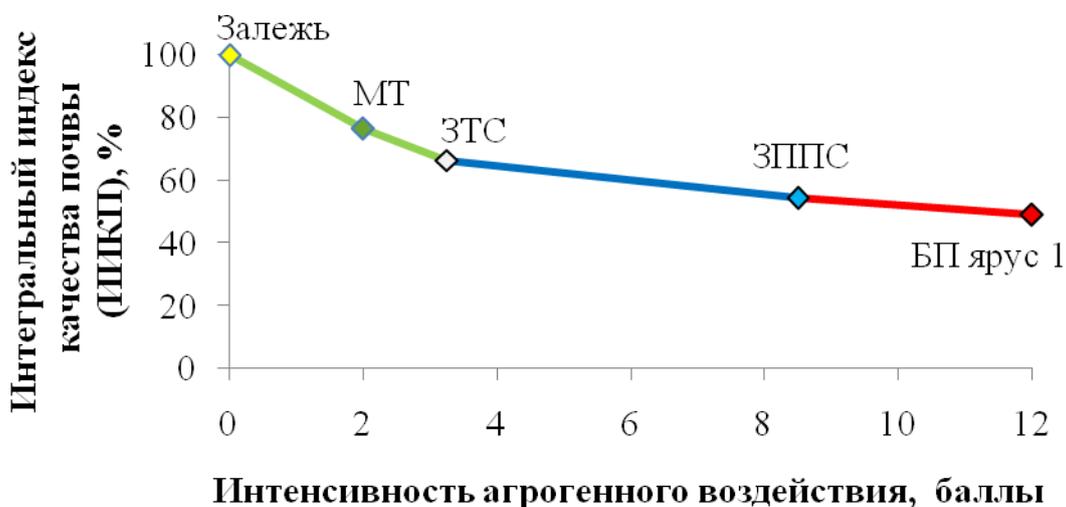


Рис. 21. Зависимость между агрогенной нагрузкой и интегральным индексом качества чернозёма типичного в 2008 году (25-50 см)

Агрогенное воздействие, направленное на (восстановление) улучшение плодородия почвы (многолетние травы) оказывает достаточно сильное положительное влияние на экологическое состояние (0-25 см слоя) чернозёма типичного. С глубиной (от 0-25 см до 25-50 см) влияние агрогенного воздействия на чернозём типичный несколько ослабевает.

На основе разработанного нами метода была проведена интегральная оценка экологического состояния чернозёма типичного на различных угодьях. Исследования показали, что именно верхний слой 0-25 см чернозёма типичного в наибольшей степени отражает его экологическое состояние. В результате в слое 0-25 см за годы исследования отличное экологическое состояние сложилось в почве под многолетними травами, хорошее в ЗТС, удовлетворительное в ЗППС, неудовлетворительное – в бессменном пару на обоих ярусах.

Проведена оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного. Установлено, что степень и направленность агрогенного воздействия во многом определяют экологическое состояние чернозёма типичного, особенно его верхнего слоя 0-25 см. Так, в верхнем слое почвы наиболее резкое ухудшение экологического состояния чернозёма типичного наблюдается при увеличении агрогенной нагрузки (в баллах) от 0 (залежь) до 3,25 (ЗТС) и от 8,5 (ЗППС) до 12 (бессменный пар). Агрогенное воздействие (многолетние травы), направленное на (восстановление) улучшение плодородия почвы, оказывает достаточно сильное положительное влияние на экологическое состояние (0-25 см слоя) чернозёма типичного. С глубиной влияние агрогенного воздействия на чернозём типичный несколько ослабевает.

На основе экспериментальных исследований и последовательного решения ряда достаточно сложных задач оценено влияние степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы, выделены 4 градации антропогенной нагрузки, соответствующие определенным категориям экологиче-

ского состояния почвы, и разработана шкала нормирования шкалы оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах (табл.34).

Таблица 34

**Шкала оценки и нормирования антропогенных нагрузок по интегральному индексу экологического состояния почвы**

<b>Интегральный индекс экологического состояния почвы (ИИЭСП, %)</b>	<b>Категории экологического состояния почвы</b>	<b>Нормирование антропогенной нагрузки</b>
100...90	отличное	благоприятная
91...70	хорошее	допустимая
71...60	удовлетворительное	предельно допустимая
≤ 60	неудовлетворительное	недопустимая

Проведено нормирование антропогенной нагрузки в агроландшафтах на пашне в зависимости от вида севооборота, в бессменном пару, на многолетних травах, залежи по интегральному индексу экологического состояния почвы по разработанной шкале. Итоги апробация приведены в таблице 35.

Таблица 35

**Нормирование антропогенной нагрузки в агроландшафте по интегральному индексу экологического состояния (ИИКП) чернозёма типичного (комплексному критерию качества) (апробация метода)**

<b>Объект исследования</b>	<b>ИИКП, %</b>	<b>Категория экологического состояния почвы</b>	<b>Степень антропогенной нагрузки</b>
Залежь	100	Отличное	благоприятная
Многолетние травы	100	Отличное	благоприятная
Пашня, зернотравяной севооборот	72	Хорошее	допустимая
Пашня, зернопаропропашной севооборот	65	Удовлетворительное	предельно допустимая
Пашня, бессменный пар	38	Неудовлетворительное	недопустимая

Выявлено, что недопустимая антропогенная нагрузка установлена в

многолетнем бессменном пару, предельно допустимая – в зернопаропропашном севообороте без внесения удобрений при отвальной системе обработки, допустимая – в зернотравяном севообороте без внесения удобрений при отвальной системе обработки, благоприятная – на залежи и в посевах многолетних трав.

Таким образом, разработан метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте на основе интегральной оценки экологического состояния почвы, предложены его алгоритм и методы, шкалы оценки экологического состояния чернозёмных почв и нормирования антропогенной нагрузки.

### **6.3. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по комплексной оценке (соответствию антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта)**

Каждый из разработанных в данной работе методов отличается своими особенностями, достоинствами и условиями применения. Однако их нельзя применять на сильноэродированных и загрязненных почвах. Для всех почв, включая сильноэродированные и загрязненные) разработан и предлагается метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по комплексной оценке и соответствию антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта.

*Критерием нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах является комплекс показателей, отражающих направленность почвенных процессов (уровень их воспроизводства), качество почвы, уровень деградации, санитарно-гигиеническое нормирование, производительную устойчивость агроландшафта.*

Оценка качества почвы, направленности её воспроизводства проводится по:

- балансу гумуса, степени компенсации выноса питательных элементов из почвы;

- содержанию в пахотном слое гумуса, питательных элементов, с учетом емкости катионного обмена;
- рН почвы; плотности, порозности почвы, коэффициента структурности, суммы;
- водоустойчивых агрегатов, обогащенности почвы ферментами;
- содержанию тяжелых металлов в почве, тяжелых металлов, нитратов в растениях;
- с учетом предельно допустимых концентраций (санитарно-гигиеническое нормирование);
- фактического и допустимого смыва почвы.

Оценка производительной устойчивости агроландшафта проводится по

- фактической урожайности сельскохозяйственной культуры,
- потенциальной урожайности сельскохозяйственной культуры,
- коэффициенту её вариации во времени по годам.

Метод позволяет на основе анализа комплекса показателей, отражающих направленность и уровень воспроизводства почвенных процессов, качество почвы, степени деградаций и производительную устойчивость агроландшафта, провести оценку соответствия антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта, а также её нормирование. Он отличается комплексностью, всесторонним подходом, рекомендуется использовать для оценки и нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

На основе предлагаемых критериев и оценки соответствия антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта разработаны шкалы оценки и нормирования антропогенных нагрузок (табл.36) для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Выделены четыре градации соответствия технологической нагрузки экологической емкости агроландшафта и

**Шкала оценки и нормирования антропогенных нагрузок по их соответствию экологической емкости агроландшафта и воздействию на направленность и уровень воспроизводства почвенных процессов, качество почвы, степени деградаций и производительную устойчивость агроландшафта**

№ п/п	Параметры оценки			Показатели производительной устойчивости агроландшафта	Оценка соответствия, степень антропогенной нагрузки, её нормирование
	Критерии допустимых антропогенных нагрузок (агротехнологий) на агроландшафт				
1	1. $BГ \geq 0$ 2. $\Gamma \geq$ среднегумусированные; 3. $СКВ_N - 100\%$ $СКВ_P \geq 100\%$ $СКВ_K - 100\%$ 4. $N_{\Gamma} \geq$ среднего 5. $R_{под} \geq$ среднего	6. $Кобм \geq$ среднего 7. $ЕКО \geq 30$ мг·экв/100 г почвы 8. рН - нейтральная или близкая к нейтральной 9. $Стм < ПДК$ 10. $Сн < ПДК$	11. $d < 1.2$ г/см <sup>3</sup> 12. $P \geq 55\%$ , 13. $Кстр < 1,5$ 14. $\sum ВА > 60\%$ 15. ОФ - богатая и очень богатая 16. $\Delta П < \Delta Пд$	$У \leq (1,7-1,95) \cdot Уп$ $Кв \leq 20\%$	Антропогенные нагрузки <b>соответствуют</b> (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта, <b>обеспечивают</b> его производительную устойчивость; <b>благоприятная</b>
2	1. - $0,05$ т/га $< BГ \leq 0$ 2. $\Gamma \geq$ слабогумусированные; 3. $СКВ_N \geq 90\%$ $СКВ_P \geq 95\%$ $СКВ_K \geq 80\%$ 4. $N_{\Gamma} >$ низкого	5. $R_{под} >$ низкого 6. $Кобм >$ низкого 7. $ЕКО \leq 20$ мг·экв/100 г почвы 8. рН слабокислая или слабощелочная 9. $Стм \geq ПДК$ 10. $Сн \geq ПДК$	11. $d \leq 1.3$ г/см <sup>3</sup> 12. $P \geq 45\%$ , 13. $Кстр = 1,5-1,0$ 14. $\sum ВА > 50\%$ 15. ОФ – средняя и богатая 16. $\Delta П < \Delta Пд$	$У = (1,4-1,8) \cdot Уп$ $20 \leq Кв < 25\%$	Антропогенные нагрузки <b>соответствуют</b> (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и <b>обеспечивают</b> его производительную устойчивость на <b>90%</b> ; <b>допустимая</b>

3	1. $-0,05 \text{ т/га} < \text{БГ} \leq 0$ 2. Г – слабогумусированные; 3. $\text{СКВ}_N \geq 70 \%$ $\text{СКВ}_P \geq 90 \%$ $\text{СКВ}_K \geq 70 \%$ 4. $\text{N}_г > \text{очень низкого}$	5. $\text{Р}_{\text{под}} > \text{очень низкого}$ 6. $\text{Кобм} > \text{очень низкого}$ 7. $\text{ЕКО} < 20 \text{ мг·экв/100 г}$ почвы 8. рН кислая или щелочная 9. Стм – 1-2-й уровень загрязненности 10. $\text{Сн} > \text{ПДК}$	11. $d \geq 1.3-1.4 \text{ г/см}^3$ 12. $P \geq 40 \%$ , 13. $\text{Кстр} = 1-0,67$ 14. $\sum \text{ВА} > 40 \%$ 15. ОФ – средняя 16. $\Delta \text{П} \leq \Delta \text{Пд}$	$Y = (1,2-1,3) \cdot \text{Уп}$ $25 \leq \text{Кв} \leq 30 \%$	Антропогенные нагрузки <b>соответствуют</b> (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и <b>обеспечивают</b> его производительную устойчивость на <b>70 %</b> ; <b>предельно допустимая</b>
4	1. $\text{БГ} < -0,05 \text{ т/га}$ 2. $\text{Г} \leq \text{слабогумусированные}$ ; 3. $\text{СКВ}_N < 70 \%$ $\text{СКВ}_P < 80 \%$ $\text{СКВ}_K < 70 \%$ 4. $\text{N}_г < \text{низкого}$	5. $\text{Р}_{\text{под}} < \text{низкого}$ 6. $\text{Кобм} < \text{низкого}$ 7. $\text{ЕКО} < 10 \text{ мг·экв/100 г}$ почвы 8. рН кислая или щелочная 9. Стм – 3-4-й уровень загрязненности 10. $\text{Сн} > \text{ПДК}$	11. $d > 1.3-1.4 \text{ г/см}^3$ 12. $P < 40 \%$ , 13. $\text{Кстр} < 1,0$ 14. $\sum \text{ВА} < 30 \%$ 15. ОФ ниже средней 16. $\Delta \text{П} \geq \Delta \text{Пд}$	$Y < \text{Уп}$ $\text{Кв} > 30 \%$	Антропогенные нагрузки <b>не соответствуют</b> (не находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и <b>не обеспечивают</b> его производительную устойчивость; <b>недопустимая</b>

*Примечание:* БГ – баланс гумуса, т/га в год; Г – содержание гумуса в пахотном слое, %; СКВэ – степень компенсации выноса питательных элементов, %;  $\text{N}_г$  – гидролизующий азот, мг/кг почвы;  $\text{Р}_{\text{под}}$  – подвижный фосфор, мг/кг почвы; Кобм - обменный калий, мг/кг почвы; ЕКО – емкость катионного обмена, мг·экв./100 г почвы; рН почвы; Стм, Сн - содержание тяжелых металлов, нитратов в растениях, мг/кг; СПтм, СПн тяжелых металлов в почвах, мг/кг почвы; ПДК - предельно допустимые концентрации, мг/кг; d - плотность почвы, г/см<sup>3</sup>, P – порозность почвы, %; Кстр - коэффициент структурности;  $\sum \text{ВА}$  – сумма водоустойчивых агрегатов, %; ОФ - обогатенность почвы ферментами;  $\Delta \text{П}$  - смыв почвы, т/га;  $\Delta \text{Пд}$  – допустимый смыв почвы, т/га; Y - урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га, т/га; Уп – потенциальная урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га, т/га; Кв - коэффициент вариации урожайность сельскохозяйственной культуры во времени по годам, %.\*по данным показателям представлены шкалы оценки в таблицах 37-56.

нормирования антропогенной нагрузки:

1. *благоприятная*, антропогенные нагрузки **соответствуют** (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта, обеспечивают его производительную устойчивость;

2. *допустимая*, антропогенные нагрузки **соответствуют** (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и обеспечивают его производительную устойчивость **на 90 %**;

3. *ограниченно допустимая*, антропогенные нагрузки соответствуют (находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и обеспечивают его производительную устойчивость **на 70 %**;

4. *недопустимая*, антропогенные нагрузки **не соответствуют** (не находятся в пределах) экологической емкости агроландшафта и не обеспечивают его производительную устойчивость.

Для каждой градации антропогенной нагрузки и соответствия технологической нагрузки экологической емкости агроландшафта указаны соответствующие критерии допустимых антропогенных нагрузок (16 показателей) и двух показателей производительной устойчивости агроландшафта, которые приведены во 2, 3 столбцах и в примечании к таблице 36. К определенной градации относят при соответствии 2/3 показателей критериям допустимых антропогенных нагрузок и параметрам производительной устойчивости агроландшафта.

Для проведения оценки качества почвы, степени деградации (эродированности и загрязнения) представлены шкалы оценки данных показателей в таблицах: 37 – степени гумусированности почв,

- 38- гидролизуемого азота,
- 39-44- подвижного фосфора и обменного калия,
- 45 – емкости катионного обмена,
- 46 - степени кислотности,
- 47-48 содержания микроэлементов,
- 49-51 –физических свойств,
- 52 – обогатненности почвы ферментами,
- 53-54 - ПДК тяжелых металлов,
- 55-56– допустимого смыва почвы.

### 37. ГРАДАЦИИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ РФ ПО СТЕПЕНИ ГУМУСИРОВАННОСТИ

(Содержание гумуса в пахотном слое, % от массы почвы)

(Когут Б.М., 2003)

Почва	Грануло-метрический состав <*>	Классы по степени гумусированности			
		меньше минимального содержания <***>	слабогумусированные <***>	среднегумусированные <***>	сильногумусированные <****>
1	2	3	4	5	6
Северный и Северо-Западный регионы					
Дерново-подзолистые	A	< 0,5-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	B	< 1,0-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	C	< 1,5-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Центральный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказский регионы					
Дерново-подзолистые	A	< 0,3-0,8	0,8-1,5	1,5-2,3	> 2,3
	B	< 0,6-1,3	1,3-2,1	2,1-3,0	> 3,0
	C	< 0,9-1,6	1,6-2,4	2,4-3,4	> 3,4
Светло-серые лесные	I	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	II	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
Серые лесные	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
Тёмно-серые лесные	I	< 2,1-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	II	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5
Черноземы оподзоленные	A	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	B	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	C	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
Черноземы типичные и выщелоченные	A	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5
	B	< 3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5
	C	< 4,5-5,5	5,5-6,5	6,5-7,5	> 7,5
Черноземы южные	A	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	B	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	C	< 3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	> 6,0
Темно-каштановые	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
Каштановые	I	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	II	< 0,3-0,8	0,8-1,5	1,5-2,3	> 2,3
Светло-каштановые	I	< 0,3-0,8	0,8-1,5	1,5-2,3	> 2,3
	II	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
Поволжский и Уральский регионы					
Дерново-подзолистые	A	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	B	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	C	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9

1	2	3	4	5	6
Светло-серые лесные	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
Серые лесные	I	< 2,1-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	II	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5
Тёмно-серые лесные	I	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5
	II	< 3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5
Черноземы оподзоленные	A	< 3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	> 6,0
	B	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	C	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
Черноземы типичные и выщелоченные	A	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	B	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
	C	< 6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	> 9,0
Черноземы обыкновенные	A	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	B	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	C	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
Западно-Сибирский регион					
Светло-серые лесные	I	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	II	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Серые лесные	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
Тёмно-серые лесные	I	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	II	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
Черноземы оподзоленные	A	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	B	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	C	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
Черноземы типичные и выщелоченные	A	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	B	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	C	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
Черноземы обыкновенные	A	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	B	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	C	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
Черноземы южные	A	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	B	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	C	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
Темно-каштановые	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
Каштановые	I	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	II	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Светло-каштановые	I	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	II	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
Восточно-Сибирский регион					
Светло-серые лесные	I	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	II	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Серые лесные	I	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5

	II	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
Тёмно-серые лесные	I	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5
	II	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
1	2	3	4	5	6
Черноземы оподзоленные	A	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	B	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	C	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
Черноземы выщелоченные	A	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	B	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	C	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
Черноземы типичные	A	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	B	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
	C	< 6,0-7,0	7,0-8,0	8,0-9,0	> 9,0
Черноземы обыкновенные	A	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	B	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
	C	< 5,0-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	> 8,0
Черноземы южные	A	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	B	< 3,0-4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0
	C	< 4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-7,0	> 7,0
Темно-каштановые	I	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
	II	< 2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
Каштановые	I	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	II	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Дальневосточный регион					
Бурые остаточнопойменные	I	< 0,4-1,0	1,0-1,7	1,7-2,5	> 2,5
	II	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
Бурые лесные	I	< 0,8-1,5	1,5-2,3	2,3-3,3	> 3,3
	II	< 1,2-2,0	2,0-2,9	2,9-3,9	> 3,9
Буроподзолистые глеевые	I	< 1,6-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	II	< 2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	> 5,5

Примечание: <\*> А - песчаные, супесчаные; В - легко- и среднесуглинистые; С - тяжелосуглинистые, глинистые; I - песчаные, супесчаные, легкосуглинистые; II - среднесуглинистые, тяжелосуглинистые, глинистые. <\*\*\*> Градация "Меньше минимального содержания". Почвы частично утратили инертную компоненту гумуса в результате эрозионного выноса почвенных частиц, перемешивания гумусового горизонта с нижележащими, механического выноса тонкодисперсных частиц при уборке пропашных культур (сахарная свекла, картофель и др.) и т.п. <\*\*\*> Градации "Слабогумусированные" и "Среднегумусированные". Почвы в той или иной степени утратили трансформируемое органическое вещество по отношению к его содержанию на целине в результате биологической минерализации. <\*\*\*\*> Градация "Сильногумусированные". Почвы в незначительной степени утратили (биологическая минерализация) или приобрели (внесение органических удобрений) трансформируемое органическое вещество по отношению к его содержанию на целине.

**38. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ  
ГИДРОЛИЗУЕМОГО АЗОТА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО МЕТОДАМ  
ТЮРИНА - КОНОНОВОЙ, КОРНФИЛДА**  
(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

№ группы	Содержание гидролизуемого азота	По методу	
		Тюрина - Кононовой	Корнфилда
		мг/кг почвы	
1	Очень низкое	Менее 30	Менее 20
2	Низкое	31 - 40	101 - 150
3	Среднее	41 - 50	151 - 200
4	Повышенное	51 - 70	Более 200
5	Высокое	71 - 100	-
6	Очень высокое	Более 100	-

**39. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА,  
ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО МЕТОДАМ КИРСАНОВА, ЧИРИКОВА,  
МАЧИГИНА**  
(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу		
		Кирсанова	Чирикова	Мачигина
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы		
1	Очень низкое	Менее 25	Менее 20	Менее 10
2	Низкое	26 - 50	21 - 50	11 - 15
3	Среднее	51 - 100	51 - 100	16 - 30
4	Повышенное	101 - 150	101 - 150	31 - 45
5	Высокое	151 - 120	151 - 120	46 - 60
6	Очень высокое	Более 250 <*>	Более 200 <*>	Более 60 <*>

**40. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА,  
ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО МЕТОДУ ЭГНЕРА-РИМА**  
(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу Эгнера-Рима
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы
1	Очень низкое	Менее 50
2	Низкое	51 - 70
3	Среднее	71 - 140
4	Повышенное	Более 140 <*>
5	Высокое	-

Примечание: <\*> При наличии проб с содержанием подвижного фосфора выше **6-ой группы** по методам **Кирсанова, Чирикова, Мачигина** и **4-ой группы** по методу **Эгнера-Рима** вводится дополнительная группировка, приведенная ниже.

**41. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ГРУППИРОВКА ПО СОДЕРЖАНИЮ  
ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА**

(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

Группы	Методы определения			Группы	Метод Эгнера-Рима
	Кирсанова	Чирикова	Мачигина		
6	251 - 500	201 - 500	61 - 100	4	141 - 200
7	501 - 1000	501 - 1000	101 - 200	5	201 - 300
8	1001 - 2000	1001 - 2000	201 - 300	6	301 - 400
9	2001 - 3000	2001 - 3000	301 - 400	7	401 - 500
10	> 3000	> 3000	> 400	8	> 500

Примечание: <\*> При этих содержаниях рекомендуется определять степень подвижных фосфатов

**42. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ОБМЕННОГО КАЛИЯ,  
ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО МЕТОДАМ КИРСАНОВА, ЧИРИКОВА,  
МАЧИГИНА, МАСЛОВОЙ**

(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

№ груп- пы	Содержание об- менного калия	По методу			
		Кирсанова	Чирикова	Мачигина	Масловой
		K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы			
1	Очень низкое	Менее 40	Менее 20	Менее 100	Менее 50
2	Низкое	41 - 80	21 - 40	101 - 200	51 - 100
3	Среднее	81 - 120	41 - 80	201 - 300	101 - 150
4	Повышенное	121 - 170	81 - 120	301 - 400	151 - 200
5	Высокое	171 - 250	121 - 180	401 - 600	201 - 300
6	Очень высокое	Более 250 <*>	Более 180 <*>	Более 600 <*>	Более 300 <*>

**43. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ОБМЕННОГО КАЛИЯ,  
ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО МЕТОДУ ЭГНЕРА-РИМА**

(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др.,1994)

№ группы	Содержание обменного калия	По методу
		Эгнера-Рима
		K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы
1	Низкое	Менее 70
2	Среднее	71 - 140
3	Повышенное	Более 140 <*>

Примечание: При наличии проб с содержанием обменного калия выше **6-ой группы** по методам **Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой** и **3-ой группы** по методу **Эгнера-Рима** вводится дополнительная группировка, приведенная ниже.

**44. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ГРУППИРОВКА  
ПО СОДЕРЖАНИЮ ОБМЕННОГО КАЛИЯ**  
(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др., 1994)

Группы	Методы определения				Группы	Метод Эгнера-Рима
	Кирсанова	Чирикова	Мачигина	Масловой		
6	251-500	181-500	601-1000	301-500	4	141-200
7	501-1000	501-1000	1001-2000	501-1000	5	201-300
8	1001-2000	1001-2000	2001-3000	1001-2000	6	301-400
9	2001-3000	2001-3000	3001-4000	2001-3000	7	401-500
10	Более 3000	Более 3000	Более 4000	Более 3000	8	> 500

**45. Степени устойчивости почвы к антропогенному воздействию  
почвы в зависимости от емкости катионного обмена**

Емкость катионного обмена почвы (ЕКО), мг·экв/100 г почвы	Степени устойчивости почвы к ан- тропогенному воздействию почвы
менее 10	Очень низкая
10...20	Низкая
21...30	Средняя
31...40	Повышенная
более 41	Высокая

**46. Группировка почв по степени кислотности,  
определяемой в солевой вытяжке (потенциометром)**  
(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др., 1994)]

№ группы	Степень кислотности	РН <sub>ксл</sub>
1	Очень сильнокислые	Менее 4,0
2	Сильнокислые	4,1-4,5
3	Среднекислые	4,6-5,0
4	Слабокислые	5,1-5,5
5	Близкие к нейтральным	5,6-6,0
6	Нейтральные	Более 6,0

**47. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ  
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПО МЕТОДУ  
ПЕЙВЕ-РИНЬКИСА**

(Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др., 1994)

Элемент	Эстрагирующий раствор	Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг		
		низкое	среднее	высокое
Марганец	0,1н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Менее 30	31 - 70	Более 70
Цинк	1н KCl	Менее 0,7	0,8 - 1,5	Более 1,5
Медь	1н KCl	Менее 1,5	1,6 - 3,3	Более 3,3
Кобальт	1 н HNO <sub>3</sub>	Менее 0,1	1,1 - 1,2	Более 2,2
Бор	H <sub>2</sub> O	Менее 0,33	0,34 - 0,7	Более 0,7
Молибден	Оксалатно-буферный раствор с pH 3,3	Менее 0,1	0,11 - 0,22	Более 0,22

**48. ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ  
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ В ВЫТЯЖКЕ АЦЕТАТНО-  
АММОНИЙНОГО БУФЕРНОГО РАСТВОРА (PH 4,8)**

Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др., 1994)

Элемент	Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг		
	низкое	среднее	высокое
Марганец	Менее 10,0	10,0 - 20,0	Более 20,0
Цинк	Менее 2,0	2,1 - 5,0	Более 5,0
Медь	Менее 0,20	0,21 - 0,50	Более 0,50
Кобальт	Менее 0,15	0,16 - 0,30	Более 0,30

**49. ОПТИМАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ПЛОТНОСТИ (D) ПО А.Г.БОНДАРЕВУ (1990)**

Гранулометрический состав (текстура) почвы	Оптимальный диапазон плотности, г/см <sup>3</sup>
Глинистые и суглинистые	1.0-1.3
Легкосуглинистые	1.10-1.40
Супесчаные	1.20-1.45
Песчаные	1.25-1.60

**50. ОЦЕНКА АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ СТРУКТУРНОСТИ (K<sub>СТР</sub>)**

Значение коэффициента структурности	Оценка агрегатного состояния
>1.5	отличное
1.5–0.67	хорошее
<0.67	неудовлетворительное.

**51. ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ (D) И ПОРИСТОСТИ (P) СУГЛИНИСТЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОЧВ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД ПО Н.А. КАЧИНСКОМУ**

Плотность почвы (d), г/см <sup>3</sup>	Общая порозность почвы (P), %	Оценка плотности	Оценка пористости
< 1,0	> 70	Почва вспушена или богата органическим веществом	Избыточно пористая – почва вспушена
1,0...1,1	65...55	Типичные величины для культурной или свежевспаханной почвы	Отличная – культурный пахотный слой
1,1...1,2	55...50	Пашня слабо уплотнена	Хорошая, характерная для окультуренных почв
1,2...1,3	50...45	Пашня уплотнена	Удовлетворительная, характерная для освоенных почв
1,3...1,4	45...40	Пашня сильно уплотнена	Неудовлетворительная для пахотного слоя
1,4...1,6	40...35	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)	Чрезмерно низкая – характерна для уплотненных подпахотных и иллювиальных горизонтов
1,6...1,8		Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	

**52. Шкала для оценки степени обогащенности почв ферментами (ОФ) по Д.Г. Звягинцеву**

Показатель	Очень бедная	Бедная	Средняя	Богатая	Очень богатая
<b>Каталаза</b> , O <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /г /1 мин	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 30	> 30
<b>Дегидрогеназа</b> , мг ТФФ на 10 г/24 час.	< 1	1 – 3	3 – 10	10 – 30	> 30
<b>Инвертаза</b> , мг глюкозы на 1 г/24 час.	< 5	5 -15	15 – 50	50 -150	>150
<b>Уреаза</b> , мг NH <sub>3</sub> на 10 г/24 час.	< 3	3 -10	10 – 30	30 -100	>100
<b>Фосфатаза</b> , мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , на 10 г/час.	< 0,5	0,5-1,5	1,5- 5	5 - 15	> 15

### 53. Показатели уровня загрязнения земель тяжелыми металлами

Тяжелый металл	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Кадмий	<ПДК	от ПДК до 3	от 3 до 5	от 5 до 20	>20
Свинец	<ПДК	от ПДК до 125	от 125 до 250	от 250 до 600	>600
Ртуть	<ПДК	от ПДК до 3	от 3 до 5	от 5 до 10	>10
Цинк	<ПДК	от ПДК до 500	от 500 до 1500	от 1500 до 3000	>3000
Медь	<ПДК	от ПДК до 200	от 200 до 300	от 300 до 500	>500
Кобальт	<ПДК	от ПДК до 50	от 50 до 150	от 150 до 300	>300
Никель	<ПДК	от ПДК до 150	от 150 до 300	от 300 до 500	>500
Молибден	<ПДК	от ПДК до 40	от 40 до 100	от 100 до 200	>200
Олово	<ПДК	от ПДК до 20	от 20 до 50	от 50 до 300	>300
Хром	<ПДК	от ПДК до 250	от 250 до 500	от 250 до 800	>800
Ванадий	<ПДК	от ПДК до 225	от 225 до 300	от 225 до 350	>350

### 54. Предельно допустимые концентрации ТМ в почвах (мг/кг)

(Г.В. Мотузова, 2007)

Элемент	Кларк почв (Виноградов, 1962)	ПДК
Валовое содержание		
Mn	800	1500
V	100	120
Pb	10	32
Hg	0,01	2,1
Подвижные соединения		
Cu	20	3
Ni	40	4
Zn	50	23
Co	8	5
Cr	200	6

**55. ДОПУСТИМЫЙ СМЫВ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ  
(ГЕРАСИМЕНКО, 1996, 1997; КРИТЕРИИ И ПАРАМЕТРЫ ДОПУСТИМЫХ  
АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК НА КОМПОНЕНТЫ АГРОЛАНДШАФТА, 2005)**

<b>Почва</b>	<b>Допустимый смыв почвы (<math>\Delta П_d</math>), т/га в год</b>
Дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые	1,6
Чернозем обыкновенный глинистый и тяжелосуглинистый	2,6
Каштановые средне- и тяжелосуглинистые	2,4

**56. ДОПУСТИМЫЕ ПОТЕРИ ПОЧВЫ ( $\Delta П$ ) ДЛЯ ЦЧЗ\*  
(Сухановский, Бахирев, Здоровцов, 2004)**

<b>Степень эродированности почвы</b>	<b>Потери гумусового слоя от эталона <math>H_o</math>, %</b>	<b><math>\Delta П^*</math>, т/га в год</b>	
		<b>Чернозём</b>	<b>Серые лесные</b>
Неэродированная	0 - 5	6,21	4,92
Слабая	5 - 25	5,16	4,0
Средняя	25 - 50	3,62	2,73
Сильная	50 - 75	1,82	1,48
Очень сильная	75 - 100	0	0

Примечания: 1. Для черноземов типичных и выщелоченных эталон  $H_o = 800$  мм, для темно-серых лесных почв  $H_o = 600$  мм.

2.  $\Delta П = 0$  для очень сильноэродированных почв означает, что эта почва должна быть переведена в другую категорию земельных угодий.

\*  $\Delta П$  пересчитаны из мм/год на т/га в год по данным Ю.П. Сухановского, Г.И. Бахирева, И.П. Здоровцова (2004) с учетом плотности почвы.

#### **6.4. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса и его апробация**

Интегральным показателем экологической устойчивости почвенного компонента агроэкосистемы является сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества почвы, которое обуславливает экологическое равновесие в почве. Достаточно значимым количественным показателем интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы может служить интенсивность потери С из органического вещества почвы с эмиссией CO<sub>2</sub>. Процессы гумусообразования, наоборот, связаны непосредственно с поступлением в почву органического вещества в виде растительных, пожнивно-корневых остатков, органических удобрений и т.п. Поэтому соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса может быть использовано для оценки нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте.

Оценивать воздействие агрогенных нагрузок на почву предлагается по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса в почве. Интенсивность потери органического вещества в почве - это отношение потери С из органического вещества почвы к запасам С в органическом веществе (гумус + негумифицированное органическое вещество) пахотного слоя почвы за конкретный промежуток времени (Масютенко М.Н., 2014). Определяют её по формуле 7.

$$\text{ИПОВ} = \frac{\text{Совп}}{\text{Сов}}, \quad (7)$$

где: Совп - потери С из органического вещества почвы при эмиссии углекислого газа из почвы, кг/га;

Сов – содержание С в органическом веществе почвы (гумус + негумифицированное органическое вещество), кг/га.

Таким образом, для определения интенсивности потери органического вещества почвы по эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы необходимо знать потери С из органического вещества почвы, запасы Сорг в пахотном слое и длительность периода, в течение которого проводят определение эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы.

Потери С из органического вещества почвы предложено определять по эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы (Масютенко М.Н., 2014). Потоки выделения CO<sub>2</sub> из почвы рассчитываются за день, сутки, декаду, месяц, сезон с учетом полученных экспериментальных результатов и ранее проведенных исследований (Нагорная О.В., 2007) по суточной и подекадной его динамике по формуле 8 за май - сентябрь:

$$\begin{aligned} P_{CO_2} &= 0,8333 \cdot 24 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) = \\ &= 19,9992 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) \end{aligned} \quad (8)$$

где: P<sub>CO<sub>2</sub></sub> - потоки выделения CO<sub>2</sub> из почвы, кг/га/ период времени;

0,8333 – поправочный коэффициент на среднесуточную эмиссию CO<sub>2</sub> из почвы;

24 – количество часов в сутки, час.;

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>... D<sub>n</sub> – эмиссия CO<sub>2</sub> из почвы, кг/час/га;

n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>... n<sub>15</sub> – 10 (декада) или 11 дней за период времени (май-сентябрь).

Общий поток выделения CO<sub>2</sub> из почвы включает микробное и корневое дыхание. При расчете потери С из органического вещества почвы учитывают микробное дыхание почвы, составляющее 2/3 от дыхания почвы (Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В. Кудеяров В.Н., 2007). Поэтому расчет потоков выделения CO<sub>2</sub> из органического вещества почвы (микробное дыхание) предлагается проводить по формуле 9:

$$\begin{aligned} P_{CO_2 \text{ ов}} &= 19,9992 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) \cdot 2/3 = \\ &= 13,3995 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}), \end{aligned} \quad (9)$$

где P<sub>CO<sub>2</sub> ов</sub> - потоки выделения CO<sub>2</sub> из органического вещества почвы, кг/га.

На чистом пару эмиссия CO<sub>2</sub> из почвы равна микробному дыханию, так как корневого дыхания из-за отсутствия растений нет, поэтому *на чистом па-*

ру потоки выделения  $\text{CO}_2$  из органического вещества почвы определяют по формуле 10:

$$P_{\text{CO}_2 \text{ ов}} = 19,9992 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) \quad (10)$$

При расчете потери С из органического вещества почвы необходимо значение потоков выделения  $\text{CO}_2$  из органического вещества почвы за май - сентябрь умножить на коэффициент 14/46 (доля углерода в  $\text{CO}_2$ ). Потери С из органического вещества почвы *в посевах сельскохозяйственных культур* рассчитывают по формуле 11:

$$\begin{aligned} P_c &= 13,3995 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) \cdot 14/46 = \\ &= 4,0781 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $P_c$  - потери С из органического вещества почвы, кг/га.

Потери С из органического вещества почвы *в чистом пару* необходимо рассчитывать по формуле 12:

$$P_c = 6,0867 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_3 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15}) \quad (12)$$

Органическое вещество в почве представлено гумусом и негумифицированным органическим веществом, поэтому запасы углерода в органическом веществе пахотного слоя почвы ( $Z_{\text{Сорг}}$ ) определяют по формуле 13:

$$Z_{\text{Сорг}} = C_{\text{г}} + C_{\text{нов}}, \quad (13)$$

где:  $C_{\text{г}}$  - запасы углерода в гумусе пахотного слоя почвы, кг/га;

$C_{\text{нов}}$  - запасы углерода в негумифицированном органическом веществе пахотного слоя почвы, кг/га.

С учетом содержания углерода в гумусе и негумифицированном органическом веществе данная формула 14 принимает следующий вид:

$$Z_{\text{Сорг}} = \Gamma / 1,724 + 0,4 \cdot \text{НОВ} \quad (14)$$

где:  $\Gamma$  - запасы гумуса в пахотном слое почвы, кг/га;

НОВ - запасы негумифицированного органического вещества в пахотном слое почвы, кг/га;

1,724 и 0,4 – коэффициенты перевода запасов гумуса и негумифицированного органического вещества в углерод.

Интенсивность потери органического вещества почвы за месяц в мае-сентябре в пахотном слое почвы определяют по формулам 15 и 16:

*В посевах сельскохозяйственных культур*

$$\text{ИПОВ} = \frac{4,0781 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_2 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_{15} \cdot n_{15})}{(\Gamma/1,724 + 0.4 \cdot \text{НОВ})} \quad (15)$$

*На чистом пару*

$$\text{ИПОВ} = \frac{6,0867 \cdot (D_1 \cdot n_1 + D_2 \cdot n_2 + D_3 \cdot n_3 + \dots + D_n \cdot n_n)}{(\Gamma/1,724 + 0.4 \cdot \text{НОВ})} \quad (16)$$

Интенсивность потери органического вещества почвы показывает какую часть составляют потери углерода с эмиссией CO<sub>2</sub> из органического вещества почвы от запасов углерода в гумусовых веществах и негумифицированном органическом веществе почвы за определенный период времени. В этом заключается физический смысл данного показателя.

Требуемое количество органического вещества – это количество органического вещества, компенсирующее дефицит баланса гумуса, т.е. количество органических удобрений, обеспечивающих сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества в почве. Уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве (в %) рассчитывается по отношению дозы фактического внесения органических удобрений (в т/га) к дозе органических удобрений (т/га), компенсирующей дефицит баланса гумуса (требуемая доза), с последующим умножением на 100% (Масютенко Н.П., Масютенко М.Н., 2013). Поступление в почву органических веществ (Поу) в процентах от требуемого количества рассчитывается по следующей формуле 17:

$$\text{Поу} = \frac{\text{Доу}_{\text{факт}} \cdot 100}{\text{Доу}_{\text{комп}}} \quad (17)$$

где  $Доу_{факт}$  – доза фактического внесения органических удобрений, т/га;

$Доу_{комп}$  – доза органических удобрений, компенсирующая дефицит баланса гумуса, т/га.

Для определения устойчивости агроландшафта необходимо рассчитать поступление в почву органических веществ в агроландшафте (Поул) по формуле 18:

$$Поул = (Поу_1 \cdot S_1 + Поу_2 \cdot S_2 + \dots + Поу_n \cdot S_n) : (S_1 + S_2 + \dots + S_n), \quad (18)$$

где:

Поу - поступление в почву органических веществ в поле агроландшафта, т/га;

$S_1, S_2 \dots S_n$  – площади полей в агроландшафте;

1, 2... n – номера полей в агроландшафте.

С участием авторов (Масютенко Н.П. и Масютенко М.Н., 2013) разработана шкала оценки устойчивости почвы по соотношению интенсивности потери органического вещества почвы, определенной по эмиссии  $CO_2$ , и поступлению органических веществ в почву (табл.57).

Таблица 57

### Шкала оценки устойчивости почвы

<b>Интенсивность потери органического вещества почвы за период времени (май – сентябрь)</b>	<b>Уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве (поступление органических веществ в почвы в % от требуемого (Поу))</b>	<b>Оценка устойчивости почвы</b>
<b>&lt;0,035</b> низкая	< 50	средняя
	50-100	высокая
	>100	очень высокая
<b>0,035-0,070</b> средняя	< 50	низкая
	50-100	средняя
	>100	высокая
<b>&gt; 0,070</b> высокая	< 50	критическая
	50-100	низкая
	>100	средняя

Разработана также шкала нормирования антропогенных нагрузок по предлагаемым критериям для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия (табл.58). Выделены четыре степени нормирования антропогенной нагрузки: допустимая, ограниченно допустимая, недопустимая.

Таблица 58

**Шкала нормирования антропогенной нагрузки в зависимости от интенсивности потери органического вещества почвы и уровня компенсации дефицита баланса гумуса в почве**

<b>Интенсивность потери органического вещества почвы за май – сентябрь (по эмиссии CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве, %</b>	<b>Оценка устойчивости почвы</b>	<b>Оценка антропогенной нагрузки</b>
<p align="center">&lt;0,035</p> <p align="center">низкая</p>	< 50	средняя	допустимая
	50...100	высокая	допустимая
	≥100	очень высокая	допустимая
<p align="center">0,035...0,070</p> <p align="center">средняя</p>	< 50	низкая	<i>ограниченно допустимая</i>
	50...100	средняя	допустимая
	≥100	высокая	допустимая
<p align="center">&gt; 0,070</p> <p align="center">высокая</p>	< 50	критическая	<b>недопустимая</b>
	50...100	низкая	<i>ограниченно допустимая</i>
	≥100	средняя	допустимая

Рассчитав интенсивность потери органического вещества почвы (ИПОВ) и уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве, можно провести нормирование антропогенной нагрузки на устойчивость почвы по второй шкале. Следует отметить, что низкая интенсивность потери органического вещества почвы свидетельствуют о том, что агрогенная нагрузка допустима. При средней ИПОВ агрогенная нагрузка допустима только при уровне компенсации дефицита баланса гумуса > 50%, а при меньшей величине этого показателя – ограниченно допустима. При высокой и сверхвысокой ИПОВ агрогенная нагрузка допустима только при уровне компенсации дефицита ба-

ланса гумуса  $\geq 100\%$  и не допустима при уровне  $< 50\%$ . Недопустимая агрогенная нагрузка требует обязательной корректировки.

Проведена апробация разработанного метода на фактическом материале в агроландшафтах на пашне. На основе результатов исследования эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы рассчитаны потоки углекислого газа из чернозема типичного в атмосферу. Установлено, что в мае-сентябре 2011 года они превышали таковые в 2012 году в 1,2...1,7 раза (табл.59). Это связано с повышенной минерализацией органического вещества в почве в 2011 году в чистом пару, периодически механически обрабатываемом. В ЗППС в рассматриваемом году потоки  $\text{CO}_2$  из почвы на северном склоне превышают таковые на южном на 47...54 %, а в ЗТС между склонами различия незначимы.

Таблица 59

**Потоки углекислого газа (кг/га) из чернозема типичного за вегетационный период (май-сентябрь) в зависимости от экспозиции склона, вида севооборота и системы**

Экспозиция	Вариант	2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная обработка	16607,74	10728,40	13668,07
	ЗППС, безотвальная обработка	14866,90	8786,06	11826,48
	ЗТС, отвальная обработка	11062,36	7553,50	9307,93
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная обработка	15100,48	9417,79	12259,14
	ЗППС, безотвальная обработка	10584,74	8766,82	9675,78
	ЗТС, отвальная обработка	13330,30	7968,88	10649,59
Южная	ЗППС, отвальная обработка	11331,13	8195,67	9763,40
	ЗППС, безотвальная обработка	9638,61	7414,50	8526,555
	ЗТС, отвальная обработка	10264,42	6893,72	8578,96

Потоки  $\text{CO}_2$  из почвы в ЗППС больше, чем в ЗТС. Наибольшие различия по величине потоков  $\text{CO}_2$  из почвы в зависимости от вида севооборота

отмечены на северном склоне (в 1,5 раза), а на водораздельном плато и южном склоне их различия незначимы (10...13 %). Значимые различия по величине потоков  $\text{CO}_2$  из почвы в зависимости от системы обработки почвы отмечены на водораздельном плато, при отвальной обработке они в 1,4 раза больше, чем при безотвальной.

В 2012 году, как и в 2011 году, общие закономерности сохраняются: на северном склоне потоки  $\text{CO}_2$  из почвы в мае-сентябре больше, чем на южном; в ЗППС они больше, чем в ЗТС, хотя везде возделывалась одна и та же культура; при отвальной обработке они выше, чем при безотвальной. Потоки  $\text{CO}_2$  из почвы в мае-сентябре 2011 года в чистом пару и на многолетних травах превышали таковые в 2012 году в посевах озимой пшеницы, соответственно, в 1,7 и 1,2 раза. Средние значения потоков  $\text{CO}_2$  из почвы в мае-сентябре за 2011-2012 годы подтверждают выявленные закономерности.

Исследованы потери углерода из органического вещества почвы. Дioxid углерода является одним из конечных продуктов минерализации органического вещества. Поэтому, зная микробное дыхание почвы (дыхание почвы – корневое дыхание), можно оценить потери в ней С из органического вещества вследствие его минерализации.

Потери углерода из органического вещества почвы различаются по годам, в зависимости от возделываемой культуры, вида севооборота, экспозиции склона и обработки почвы. Наибольшие потери углерода из органического вещества почвы отмечены на северном склоне в ЗППС в чистом пару при отвальной обработке в 2011 году (табл.57), на южном склоне они в 1,5 раза меньше, а на водораздельном плато всего на 12 %. При безотвальной обработке потери С из почвы в чистом пару снижаются на северном склоне на 12 %, на водораздельном плато – на 42 %, а на южном склоне - на 17 % по сравнению с отвальной. Таким образом, существенное влияние системы обработки почвы выявлено на водораздельном плато в ЗППС.

Различия в потерях С из органического вещества почвы отличались в зависимости от фактора воздействия. Наибольшие различия выявлены от влия-

ния вида севооборота (в 1,6-2,3 раза), а наименьшие - от экспозиции склона (в 1,1-1,5 раза) и от системы обработки почвы (в 1,2-1,5 раза). Причем, влияние вида севооборота выше на северном склоне, а влияние системы обработки почвы – на водораздельном плато. Влияние вида севооборота на потери С из почвы установлено и в 2011, и в 2012 годах. Потери С из почвы в ЗППС больше, чем в ЗТС, на северном склоне в 2,2-2,3 раза, на водораздельном плато в 1,6-1,9 раз, на южном склоне – в 1,6-1,7 раз в зависимости от года. Выявленные закономерности подтверждаются и средними значениями потери углерода из органического вещества почвы за 2011-2012 годы.

Таблица 60

**Потери углерода (микробное дыхание) из чернозема типичного за май-сентябрь в зависимости от экспозиции склона, вида севооборота и системы обработки почвы**

Экспозиция	Вариант	Потери С из органического вещества почвы, кг/га		
		2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная обработка	5054,53	3335,99	4195,26
	ЗППС, безовальная обработка	4524,86	2986,41	3755,63
	ЗТС, отвальная обработка	2222,09	1517,26	1869,67
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная обработка	4595,80	3033,23	3814,51
	ЗППС, безовальная обработка	3221,45	2126,16	2673,80
	ЗТС, отвальная обработка	2845,04	1600,70	2222,87
Южная	ЗППС, отвальная обработка	3448,60	2276,08	2862,34
	ЗППС, безотвальная обработка	2933,49	1936,10	2434,79
	ЗТС, отвальная обработка	2060,14	1384,74	1722,44

Таким образом, различия в потерях С из органического вещества почвы от влияния изучаемых факторов падают в ряду: вид севооборота, экспозиция склона, система обработки почвы.

В 2011 г. интенсивность потери органического вещества почвы в ЗППС в чистом пару на северном склоне при отвальной обработке была *высокой*, а в остальных вариантах *средней*; в ЗТС в посевах многолетних трав – *низкой* (табл.61).

Таблица 61

**Оценка интенсивности потери органического вещества чернозема типичного (ИПОВ) за период с мая по сентябрь 2011-2012 гг. в зависимости от вида севооборота, системы обработки почвы и экспозиции склона**

Экспозиция	Агрогенная нагрузка (вид севооборота, система обработки почвы)	2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная Обработка	0,079 высокая	0,050 средняя	0,064 средняя
	ЗППС, безотвальная Обработка	0,069 средняя	0,044 средняя	0,056 средняя
	ЗТС, отвальная Обработка	0,032 низкая	0,022 низкая	0,027 низкая
Водораз- дельное плато	ЗППС, отвальная Обработка	0,068 средняя	0,043 средняя	0,055 средняя
	ЗППС, безотвальная обработка	0,052 средняя	0,032 низкая	0,042 средняя
	ЗТС, отвальная обработка	0,035 низкая	0,020 низкая	0,027 низкая
Южная	ЗППС, отвальная обработка	0,062 средняя	0,039 средняя	0,045 средняя
	ЗППС, безотвальная обработка	0,042 средняя	0,027 низкая	0,034 низкая
	ЗТС, отвальная обработка	0,031 низкая	0,021 низкая	0,026 низкая

В 2012 г., несмотря на то, что в обоих севооборотах возделывали одну культуру – озимую пшеницу, была также отмечена высокая почвозащитная

роль ЗТС, что также сильнее проявлялось на северном склоне. В ЗППС на северном склоне при отвальной и безотвальной обработках, а на южном склоне и водораздельном плато – только при отвальной *была отмечена средняя* интенсивность потери органического вещества почвы, в остальных вариантах в ЗППС и в ЗТС – *низкая*.

Влияние экспозиции склона на степень интенсивности потери органического вещества почвы в 2011 г. выявлено только в ЗППС при отвальной обработке (на южном склоне – средняя, на северном – высокая), а в 2012 г. – при безотвальной (соответственно низкая и средняя). Степень интенсивности потери органического вещества почвы в чистом пару при безотвальной обработке оказалась меньше, чем при отвальной, на северном склоне, а в посевах озимой пшеницы – на южном.

На основе разработанного метода (Масютенко Н.П., Масютенко М.Н., 2013) проведена оценка экологической устойчивости почвы в изучаемых вариантах опыта (табл.62). Установлено, что экологическая устойчивость почвы в звене зернотравяного севооборота средняя на всех экспозициях, так как с травами поступает в почву большое количество растительных остатков в почву и создаются благоприятные условия для воспроизводства в ней гумусовых веществ в почве.

Устойчивость почвы в звене севооборота зависит от культур, экспозиции склона и системы обработки почвы, интенсивности потери органических веществ в почве. В чистом пару на северном склоне в зернопаропропашном севообороте при отвальной системе обработки почвы без внесения органических и минеральных удобрений она критическая. На северном склоне и водораздельном плато в звене зернопаропропашного севооборота устойчивость почвы низкая при отвальной и безотвальной системах обработки почвы, а на южном склоне при отвальной системе обработки почвы - низкая, а при безотвальной – средняя.

Следовательно, влияние безотвальной обработки на экологическую устойчивость почвы в звене ЗППС зависит от экспозиции склона. Оно больше

проявилось на водораздельном плато и южном склоне, чем на северном. А положительное влияние на экологическую устойчивость почвы звена ЗТС выявлено на всех экспозициях.

Таблица 59

**Оценка экологической устойчивости чернозема типичного за май-сентябрь в звене севооборота в зависимости от экспозиции склона, вида севооборота и системы обработки почвы в 2011-2013 гг.**

Экспозиция	Севооборот, система обработки почвы	Оценка устойчивости почвы		
		2011 г.	2012 г.	Средняя
Северная	ЗППС, отвальная	<u>критиче- ская</u>	низкая	низкая
	ЗППС, безотвальная	низкая	низкая	низкая
	ЗТС, отвальная	средняя	средняя	средняя
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная	низкая	низкая	низкая
	ЗППС, безотвальная	низкая	средняя	низкая
	ЗТС, отвальная	средняя	средняя	средняя
Южная	ЗППС, отвальная	низкая	низкая	низкая
	ЗППС, безотвальная	низкая	средняя	средняя
	ЗТС, отвальная	средняя	средняя	средняя

*Примечание:* ЗППС - зернопаропропашной севооборот; ЗТС - зернотравяной севооборот; в 2011г. в ЗППС – чистый пар, в ЗТС – травы; в 2012 г. в ЗППС и ЗТС - озимая пшеница; в 2011г. в ЗППС – кукуруза на з/к, в ЗТС – ячмень с подсевом трав.

Оценка антропогенной нагрузки в вариантах многолетнего полевого опыта и её нормирование на основе данных по интенсивности потери органического вещества почвы при уровне компенсации дефицита баланса гумуса < 50% (табл. 63) показала, что из изучаемых агрогенных нагрузок недопустимой была только складывающаяся в зернопаропропашном севообороте с отвальной обработкой в чистом пару на северном склоне. Ограниченно допустимым нагрузки в ЗППС в чистом пару – при отвальной и безотвальной системах обработки на водораздельном плато и южном склоне и при безотвальной системе обработки на северном склоне; в посевах озимой пшеницы – при отвальной и безотвальной системах обработки на северном склоне, при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне. До-

пустимая агрогенная нагрузка отмечена в ЗТС на всех экспозициях и в ЗППС при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне.

Таблица 63

**Нормирование антропогенной нагрузки в многофакторном полевом опыте по её влиянию на гумусное состояние чернозема типичного в зависимости экспозиции склона**

Экспозиция	Антропогенная нагрузка (вид севооборота, система обработки почвы)	2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная Обработка	<u>недопусти-мая</u>	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная Обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗТС, отвальная Обработка	допустимая	допустимая	допустимая
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная Обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная Обработка	ограниченно допустимая	допустимая	ограниченно допустимая
	ЗТС, отвальная Обработка	допустимая	допустимая	допустимая
Южная	ЗППС, отвальная Обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная обработка	ограниченно допустимая	допустимая	допустимая
	ЗТС, отвальная Обработка	допустимая	допустимая	допустимая

Если рассматривать двухлетнее звено изучаемых севооборотов, то в ЗТС агрогенные нагрузки допустимыми на всех экспозициях, в ЗППС – при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне, в остальных изучаемых вариантах многолетнего полевого опыта при уровне

компенсации дефицита баланса гумуса  $< 50\%$  они ограниченно допустимыми. Ограниченно допустимые агрогенные нагрузки требуют корректировки, чтобы стать допустимыми. Это можно осуществить путем внесения органических удобрений.

Таким образом, применение разработанных подходов и метода позволило провести нормирование антропогенных нагрузок по их влиянию на соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса, что необходимо для разработки системы контроля рационального использования почв, корректировки антропогенных нагрузок и формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.

#### **6.5. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по устойчивости органического вещества почвы и его апробация**

Под устойчивостью органического вещества почвы понимается способность его многокомпонентной системы поддерживать структуру и стабильное функционирование в относительно неизменном состоянии (в определенных пределах изменчивости) в условиях возмущающих внешних воздействий (Масютенко, 2012). В обеспечении устойчивости собственно гумусовых веществ важную роль играет негумифицированное органическое вещество. Оно выполняет две основные функции, это: 1) защитную, то есть оберегает от разложения и минерализации гумусовые вещества, являясь источником питательных веществ и энергии для живых организмов, находящихся в почве; 2) гумусовоспроизводительную, так как участвует в почве в процессах гумификации. Негумифицированное органическое вещество является управляемым компонентом рассматриваемой системы. Соотношение между собственно гумусовыми веществами и негумифицированным органическим веществом могут быть показателями устойчивости органического вещества почвы.

Система органического вещества, сформировавшаяся в целинной почве, является саморегулирующейся и устойчивой в данных динамически равновесных условиях. Органическое вещество чернозема типичного мощного тяжелосуглинистого на целине на 84-90 % состоит из гумуса и на 10-16% из негумифицированного органического вещества. По-видимому, постоянство и высокая интенсивность притока энергии и вещества в целинную почву, а также установившиеся соотношения между компонентами органического вещества в ней обеспечивают высокий уровень содержания гумуса, стабильную структуру и функционирование системы органического вещества почвы.

При вовлечении почв в сельскохозяйственное производство, в связи с тем, что в агроэкосистемах большая часть продуцируемой органической массы отчуждается с поля (с основной и побочной продукцией) и возделываются экономически необходимые, но оставляющие мало пожнивно-корневых остатков и требующие интенсивной обработки почвы пропашные, технические и овощные культуры, в почву поступает меньшее количество органического вещества. Обработка почвы усиливает ее аэрацию и процессы минерализации негумифицированного органического вещества и собственно гумусовых веществ.

Снижение притока вещества и энергии в виде органического вещества в почву, усиление его минерализации при сельскохозяйственном использовании вызывают в черноземе типичном наряду с уменьшением запасов гумуса изменение соотношений между содержанием гумуса и негумифицированного органического вещества, определяющих устойчивость органического вещества почвы к деградации.

Причем в целинных почвах в составе органических веществ доля негумифицированного органического вещества не только выше, но и более стабильна (интервал изменений уже), чем в пахотных. В пахотных почвах резко снижается в составе органического вещества почвы доля негумифицированного органического вещества (в 1,4-1,6 раза по сравнению с пахотными). Поэтому негумифицированное органическое вещество не может эффективно

выполнять свои защитные и гумусовоспроизводительные функции и устойчивость органического вещества черноземов падает.

При неизменной системе земледелия (севообороте, системах удобрений и обработки почвы) со временем устанавливается новое стационарное состояние агроэкосистемы, формируется новая система органического вещества почвы, характеризующаяся определенным уровнем, соотношением собственно гумусовых веществ и негумифицированного органического вещества. Новая система органического вещества почвы определяется количеством и качеством поступающих в нее (почву) органических веществ, интенсивностью их гумификации и минерализации.

Для повышения устойчивости органического вещества пахотного чернозема типичного следует стремиться к значениям соотношений его компонентов в целинной почве. На основе этих отношений можно рассчитать требуемое оптимальное содержание негумифицированного органического вещества, обеспечивающее устойчивость собственно гумусовых веществ по формуле 19.

$$НВ_T = \frac{\Gamma \cdot НВ_{Ц}}{\Gamma_{Ц}} \quad (19)$$

где  $НВ_T$  – требуемое оптимальное содержание негумифицированного органического вещества в почве, в % от органического вещества почвы;

$\Gamma$  – содержание гумуса в пахотной почве, %;

$НВ_{Ц}$  – количество негумифицированного органического вещества в целинной почве, участвующего в процессах разложения и гумификации, % от ОВ;

$\Gamma_{Ц}$  – содержание гумуса в целинной почве, %.

При определении  $НВ_{Ц}$  необходимо учитывать, что в целинных почвах, в отличие от пахотных, в процессах разложения и гумификации могут участвовать только третья часть (Афанасьева, 1956; Семенова, 1966) негумифицированного органического вещества и корневые выделения, которые составляют

10% от общей массы корней (Салищевич, 1968; Иванов, 1973 и др.). Поэтому  $HВ_{Ц}$  (%) рассчитывают по формуле 20.

$$HВ_{Ц} = \frac{43 \cdot HВ_{ОЦ}}{100 - 0,43 \cdot HВ_{ОЦ}} \quad (20)$$

где  $HВ_{ОЦ}$  – общее содержание негумифицированного органического вещества почвы на целине, в % от ОВ.

Отсюда соотношение  $HВ_{Ц} / Г_{Ц}$  для чернозема типичного) будет равно 0,53-0,66, в среднем 0,6, то есть для пахотных черноземов типичных требуемое оптимальное содержание негумифицированного органического вещества можно определять по формуле:

$$HВ_{Т} = 0,6 \cdot Г \quad (21)$$

При содержании гумуса в почве 5,5% система органического вещества чернозема типичного будет устойчива, когда негумифицированное органическое вещество будет составлять в ней 3,3%, а гумус - 96,7%.

Требуемое оптимальное содержание негумифицированного органического вещества для чернозема типичного представлено в таблице 8. Если принять требующийся оптимальный уровень негумифицированного органического вещества в почве за 100%, то можно рассчитывать показатель устойчивости органического вещества почвы по формуле 22.

$$УОВ = \frac{HВ \cdot 100}{HВ_{Т}} \quad (22)$$

где  $УОВ$  – показатель устойчивости органического вещества почвы, %.

$HВ$  – содержание негумифицированного органического вещества в почве, в % от органического вещества почвы,

$HВ_{Т}$  – требуемое оптимальное содержание негумифицированного органического вещества в почве, в % от ОВ.

Показатель устойчивости органического вещества для почв на лугу, залежи, под многолетними бобовыми травами, где условия и количество посту-

пления разложения и гумификации растительных остатков приближаются к целинным, определяют по формуле 23.

$$НВ_{л} = \frac{\Gamma_{ц} \cdot НВ \cdot 100}{\Gamma \cdot НВ_{оц}} \quad (23)$$

где  $НВ_{л}$  – содержание негумифицированного органического вещества в почве на лугу и залежи, которое может участвовать в процессах разложения и гумификации, в % от ОВ.

Так как в процессах разложения и гумификации в почве могут участвовать в лесу и лесополосе шестая часть (Афанасьева, 1966) негумифицированного органического вещества и корневые выделения (10% от массы корней), при расчете УОВ почвы в них необходимо определять НВ следующим образом:

$$НВ_{лп} = \frac{27 \cdot НВ_{олп}}{100 - 0,27 \cdot НВ_{олп}} \quad (24)$$

где  $НВ_{лп}$  – содержание негумифицированного органического вещества в почве под лесополосой и лесом, которое может участвовать в процессах разложения и гумификации, в % от ОВ;

$НВ_{олп}$  – содержание негумифицированного органического вещества в почве под лесополосой и лесом, в % от ОВ.

При УОВ = 100% содержание негумифицированного органического вещества в почве соответствует требуемому оптимальному уровню. При этом система органического вещества почвы устойчива, и при соотношении в растительных остатках С:N = 32±4 (или при внесении необходимого количества азотных удобрений) осуществляется гумусовоспроизводительная функция НВ.

При УОВ < 100% устойчивость органического вещества снижена, нарушена гумусовоспроизводительная функция НВ.

При УОВ > 100% устойчивость органического вещества почвы высокая, соответствует расширенному воспроизводству гумусовых веществ в почве при соотношении в негумифицированном органическом веществе C:N=32±4.

Содержание в почве негумифицированного органического вещества и его устойчивость тесно обратно связаны с антропогенной нагрузкой почвы, коэффициенты корреляции равны - 0,89...-0,97.

На основе анализа данных по связи антропогенной нагрузки с устойчивостью органического вещества почвы разработана шкала (табл.64) оценки устойчивости органического вещества почвы и нормирования по ней антропогенных нагрузок.

Таблица 64

**Шкала оценки устойчивости органического вещества почвы (УОВ) и нормирования антропогенных нагрузок (I) по ней**

<b>Устойчивость органического вещества почвы (УОВ), %</b>	<b>Оценка степени устойчивости органического вещества почвы</b>	<b>Степень антропогенной нагрузки</b>
<30	очень слабая	недопустимая
31-60	слабая	предельно допустимая
61-90	средняя	допустимая
91-110	оптимальная	благоприятная
>111	высокая	

Были проведены исследования содержания в почве гумуса и негумифицированного органического вещества (табл.65,66). Установлено, что на залежи и в посевах многолетних трав содержание негумифицированного органического вещества (в т/га и % от органического вещества почвы) в почве в среднем 1,7-2,3 раза выше, чем в зернотравяном севообороте и в 2,3-2,9 раза, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом (табл.65-66). В бесменном пару его меньше в 13-17 раз. В зернотравяном севообороте в пахотном слое почвы негумифицированного органического вещества накапливается в 1,4 раза больше, чем в зернопаропропашном.

**Запасы негумифицированного органического вещества  
в почве на различных угодьях**

Объект исследования	НВ, т/га
Залежь	13,7
Многолетние травы	9,1
Пашня, зернотравяной севооборот	5,2
Пашня, зернопаропропашной севооборот	5,4
Пашня, бессменный пар	0,4

Пределы устойчивости органического вещества почвы определяются наличием в ней негумифицированного органического вещества и его количеством. При этом негумифицированное органическое вещество эффективно выполняет гумусовоспроизводительную функцию только при его оптимальном содержании в почве и при соотношении в нём  $C:N = 32 \pm 4$ .

Органическое вещество в зависимости от содержания в нем негумифицированного органического вещества характеризуется разной степенью устойчивости (табл.66) в зависимости от вида сельскохозяйственного использования и степени антропогенной нагрузки. В черноземе типичном в наших опытах на пашне органическое вещество почвы в зернотравяном севообороте более устойчиво, чем в зернопаропропашном.

Степень его устойчивости соответственно средняя и слабая. Высокая величина показателя устойчивости органического вещества почвы выявлена на залежи и в посевах многолетних трав. Это связано как с поступлением в почву с травами большого количества пожнивно-корневых остатков, так и с накоплением питательных элементов, доступных растения и микроорганизмам.

Анализ оценки агрогенной нагрузки по её влиянию на устойчивость органического вещества чернозёма типичного согласно шкале (табл. 7) показал, что благоприятная ее степень характерна для залежи и посевов многолетних трав. Допустимая степень антропогенной нагрузки наблюдается в зернотра-

вяном севообороте. Предельно допустимая степень антропогенной нагрузки отмечена в зернопаропропашном севообороте. Недопустимая степень антропогенной нагрузки установлена в бессменном пару и соответствует очень слабой устойчивости органического вещества почвы.

Таблица 66

**Нормирование антропогенной нагрузки по её влиянию на устойчивость органического вещества чернозема типичного**

Объект исследования	Гумус, %	НВф	НВтр	УОВ, %	Оценка степени устойчивости органического вещества почвы	Степень антропогенной нагрузки
Залежь	6,22	5,0	3,73	134	высокая	благоприятная
Многолетние травы	5,34	4,0	3,20	125	высокая	благоприятная
Пашня, зернотравяной севооборот	5,23	2,4	3,14	76	средняя	допустимая
Пашня, зернопаропропашной севооборот	5,13	1,7	3,08	55	слабая	предельно допустимая
Бессменный пар	4,65	0,3	2,79	11	очень слабая	недопустимая

НВф – фактическое содержание негумифицированного органического вещества в почве, % от органического вещества почвы; НВтр – требуемое количество негумифицированного органического вещества в почве, % от органического вещества почвы; УОВ – устойчивость органического вещества почвы, %

Таким образом, разработан метод, позволяющий определять устойчивость органического вещества почвы по содержанию в почвах угодий и на целине гумуса и негумифицированного органического вещества и по ней оценивать степень антропогенной нагрузки не только в угодье, но и в агроландшафте по формуле 1.

## 6.6. Координатный метод оценки нормируемых агротехногенных нагрузок в элементарных агроэкосистемах

Целью оценки нормируемых агротехногенных нагрузок является установление пригодности планируемой агротехнологии на предмет использования ее для формирования и поддержания экологически сбалансированных агроландшафтов (ЭСА).

Экологическая сбалансированность агроландшафта может быть оценена двумя признаками, на наш взгляд, достаточными для принятия решений о необходимости реконструкции агроландшафта в целом и оптимизации управления продукционным процессом в элементарных агроэкосистемах.

Первый признак включает сбалансированность стабилизирующих и дестабилизирующих экологическую среду угодий. Главным дестабилизирующим средо объектом в агроландшафте является площадь пашни. Оптимальная площадь пашни в составе других угодий рассчитывается по формуле 25 (Бахирев, 2012):

$$\text{Порт} = (\text{П} + \text{БЗ})/2, \quad (25)$$

где Порт – оптимальная площадь пашни, га;

П – площадь фактической пашни, га;

БЗ – площадь буферной зоны ( в т.ч. аналогичные объекты других ведомств, но находящиеся на территории хозяйства(водосбора) и оказывающие влияние на состояние окружающей среды), га. Из формулы следует, что площадь пашни должна составлять около 50% от общей площади. Такие же результаты по Воронежской области получили Линкина А.В. и Лопырев М.И. (2012), что подтверждает прямую верификацию в оценке идентичности разных методов расчета Порт.

Второй признак – равновеликость привносимой и отчуждаемой из элементарной агроэкосистемы энергии. Элементарная агроэкосистема в сбалансированном агроландшафте – территориально ограниченный участок пашни с относительно однородными ландшафтными условиями производства сельскохозяйственных культур и внутренними ресурсами земледелия, которые с

компенсационными антропогенными вложениями материальных средств расходуются на получение планируемого урожая культуры или совместного посева культур. Рассматриваемая система по сути – это поле, организованное не традиционно (по принципу деления севооборотного массива, выделенного административно, на равновеликие участки по количеству возделываемых культур), а на базе ландшафтно-типологического районирования пашни, учитывающего: подтип почв, мощность гумусового слоя и содержание гумуса в нем, механический состав, суммарную радиацию и запасы продуктивной влаги за вегетационный период, продолжительность вегетационного периода и другие местные неоднородности ландшафта. Эти и другие организационно-территориальные образования составляют каркас такой сложной управляемой системы, именуемой ЭСА.

ЭСА – это агроландшафт, в котором достигнуто и поддерживается территориальное равновесие стабилизирующих и дестабилизирующих экологическую среду угодий и равновеликость привносимых и отчуждаемых энергий в элементарных агроэкосистемах.

В обычных агроэкосистемах с зерновыми культурами, по мере освоения новых агротехнологий и высокоурожайных сортов, не редки достижения 4-6 – кратной окупаемости энергетических и материальных затрат энергией получаемого и отчуждаемого из системы продукта. Однако самые высокие экономические эффекты и прибыли, характеризующие якобы успешную деятельность, могут оказаться нецелесообразными с общественной точки зрения. Обществу выгоднее агротехнологии, соблюдающие экологические императивы, чем те агротехногенные нагрузки, которые несут опасность деградации земель и ухудшение среды живым организмам.

Нормирование антропогенного воздействия на агроландшафты, как отмечают многие исследователи, носит отрывочный, бессистемный характер и подчинено ближайшим, частным целям, что в целом не отражает той роли, которую сельскохозяйственная деятельность играет в изменении окружающей среды (Г.А. Булаткин, В.В. Ларионов, 1992). Основные усилия по эколо-

гическому нормированию направлены не на предупреждение негативных последствий, а на критерии выявления зон бедствия. До сих пор нет не только официальных нормативных и методических документов по определению предельно допустимых нагрузок на агроландшафты, но и обоснованной методологии геоэкологического нормирования (Милащенко Н.З. и др., 2000).

В начале решения какого-либо вопроса, связанного с рациональным использованием ресурсов, как известно, стоит упорядочение терминологического аппарата, заключающееся в установлении однозначности в определениях родовых и видовых понятий. В рассматриваемом случае под нормированием нами понимается: установление предела, меры воздействия, средней величины; признание обязательным порядка выполнения работы в сфере производственной деятельности и природопользования.

Исходя из правил устойчивого развития агроландшафтов, одним из которых является экологическая сбалансированность (Милащенко, 2000), а также энергетической концепции агротехногенной нагрузки, считаем необходимым включение в объем такого понятия как «нормирование антропогенных нагрузок в агроландшафте» все действия по планированию и плановые объемы привносимой в агроландшафт антропогенной энергии. Такое заключение исходит из того, что все современные изменения в агроэкосистемах генетически связаны с увеличением энергетических нагрузок, поступающих в систему.

Отклик системы в виде результативного показателя всей совокупности воздействий – урожая является характеристикой ее энергетического состояния и критерием оценки необходимости принятия решений в изменении агротехнологии. Такой подход в оценке качества нагрузки и выборе предпочтительного варианта методологически, на наш взгляд, отвечает понятию формирование ЭСА. Формирование ЭСА – поэтапная реализация нормированных (запланированных) мероприятий по достижению территориального равновесия между стабилизирующими и дестабилизирующими среду факторами и ме-

ханизма простого воспроизводства основных свойств в элементарных агро-экосистемах.

Простым воспроизводством считают восстановление основных свойств до уровня предшествующего началу эксплуатации ее в заданном режиме. Индикаторами основных свойств являются: водопрочность почвенной структуры, водопроницаемость почв, объемный вес, мощность гумусового слоя и содержание гумуса в нем, кислотность, засоренность, загрязненность, величина эмиссии  $O_2$  и депонирования  $CO_2$ , состав и структура почвенной фауны и др. По изменению перечисленных факторов судят об отклонении режима функционирования системы.

Техногенные нагрузки в агроландшафтах отличаются большим разнообразием по видам, формам и направленности воздействия на компоненты природно-территориального комплекса, а так же продолжительности действия и результатам последствий. Из-за разнообразия антропогенных факторов, действующих на компоненты реальной агроэкосистемы, практически невозможно предложить единый показатель допустимой нагрузки (Н.З.Милащенко и др., 2000).

За последние 30 лет широко развилось энерго-экономическое направление в оценке результатов нормирования агротехногенных нагрузок в агроэкосистемах и агроландшафте в целом. Для оценки общего репродуктивного процесса в агроэкосистемах Вацлав Шкопек и Рудольф Орцт (1985) предложили два основных показателя – экономическую эффективность антропогенного энергоматериального дополнения (АЭД) и индекс продукта. Первый из них характеризует экономическую эффективность, второй – степень безотходности производства и, естественно, экологичность:

$$Ээ = \text{отток (продукт)} / (\text{приток (АЭД)}), \quad (26)$$

$$Ип = \text{продукт} / \text{общий отток (продукт + отходы)}, \quad (27)$$

где Ээ – показатель экономической эффективности, отн. ед.;

Ип – показатель индекса продукта, отн. ед., причем  $Ип \leq 1$ .

В России для оценки агротехногенных нагрузок, так же как и в США (Pimentel D., Berardi Q., Fast S., 1983), используют показания коэффициента энергетической эффективности (КЭэ), получаемого путем деления урожайности (в энергетическом эквиваленте) на совокупные энергозатраты.

С экологической точки зрения, показатели Ээ и КЭэ ни в какой мере не отражают рациональность природопользования и адекватность агротехнологии новой парадигме земледелия, провозглашенной несколько лет назад РАСХН. Из приведенных формул эффективности нагрузки получается, что чем больше значение, например, КЭэ, тем выше качество нагрузки.

Иными словами, чем больше энергии изымается из агроэкосистемы по сравнению с тем, что привносится под планируемый урожай, тем эффективнее производство. На самом деле это деградиционный вариант природопользования. Об этом в свое время писал автор теории полного возврата Либих (Захаров С.С., 1967). Полный возврат, по Либиху, в настоящем трактуется как простое воспроизводство свойств системы. Воспроизводство свойств управляемой системы как понятие более расширенное и в совокупности с экологической составляющей в идеале, по нашему мнению, простое воспроизводство может быть достигнуто при равенстве экологического и экономического эффектов.

На рис.22 представлена графическая интерпретация интегрированного эколого-экономического эффекта, как координатного метода диагностики качества нормируемой нагрузки на агроэкосистему. В системе прямоугольных координат на оси абсцисс (X) в данном случае откладывается привносимая для обеспечения заданного уровня урожая и качества среды энергия, а на оси ординат (Y) – величина отчуждаемой из системы энергии, заключенной в продукте.

При равновеликости энергий, как это должно быть в ЭСА с простым воспроизводством основных свойств системы, точки пересечения с равновесным (идеальным) сочетанием по X и Y лягут на прямой линии ON. При неравновеликом сочетании они расположатся с удалением от данного вектора

оптимальности, вплоть до дискриминанты АВ (линия разграничения положительных и отрицательных значений аргументов).

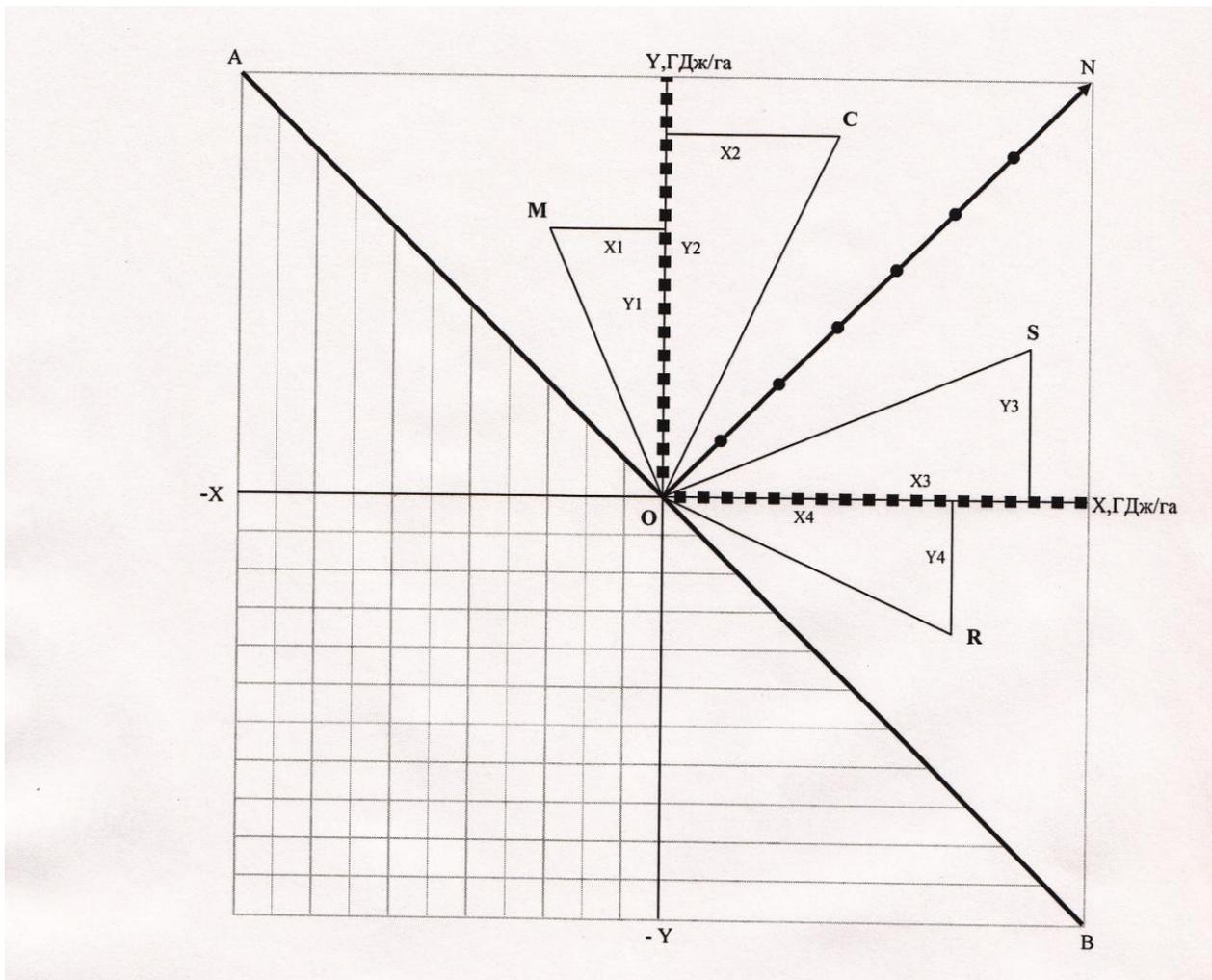


Рис.22. Графическая интерпретация эколого-экономического эффекта

Точки с отрицательным экологическим или экономическим эффектом могут появиться в случае проявления непредвиденных негативных явлений (вымораживание, выпревание, вымокание посевов; отсутствие всходов; эрозия, дефляция и проч.). В связи с этим, антропогенные нагрузки, координатные точки которых приходятся на сектора АОУ и ВОХ, следует считать непригодными для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, а также нежелательными в любых других случаях природопользования. Остальные сектора на представленном рисунке подразделены на удовлетворительные для обычных деградирующих агроландшафтов, опти-

мальные и идеальные для формирования и поддержания сбалансированных агроландшафтов.

$$Кэээ (M) = \angle AOM/90, \angle AOM = 45^\circ - \text{tg } X1/Y1$$

$$Кэээ (C) = \angle AOC/90, \angle AOC = 45^\circ + \text{tg } X2/Y2$$

$$Кэээ (S) = \angle BOS/90, \angle BOS = 45^\circ + \text{ctg } X3/Y3$$

$$Кэээ (R) = \angle BOR/90, \angle BOR = 45^\circ - \text{ctg } X4/Y4$$

Рисунок дает визуальное представление о качестве нагрузки (по месту расположения точки в системе прямоугольных координат) и служит доказательным инструментарием в обосновании классов качества нормируемой агротехнологии. Для определения класса качества нагрузки по интегрированному эколого-экономическому эффекту (условно Кэээ) и, соответственно, степени пригодности ее для формирования экологически сбалансированных агроэкосистем достаточно определить угол склонения точки, например M, C, S, R, от линии дискриминанты в сторону вектора оптимальности (ON) и разделить его на  $90^0$ .

Угол склонения для точки M будет равен  $(45^0 - \text{tg } X1/Y1)$ , для R –  $(45^0 - \text{ctg } X4/Y4)$ . Таким образом, можно получить численное значение Кэээ в относительных единицах (относительно эталона) и по классификации качества произвести оценку пригодности агротехногенной нагрузки для формирования ЭСА (табл.67).

Таблица 67

### Классификация агротехногенных нагрузок

Класс качества по Кээ		Класс качества по Кэээ	
I.	< 1 – очень низкий (маргинальный)	I.	$\leq 0,59$ – нежелательный деградиционный
II.	1 – 2,9 – низкий	II.	0,60 – 0,74 – удовлетворительный для несбалансированных агроландшафтов
III.	3-5 – средний	III.	0,75 - 0,95 – оптимальный для формирования ЭСА
IV.	>5 – высокий	IV.	0,95- 1,00 – идеальный для всех вариантов природопользования

Оценка агротехнологий по результатам их эколого-экономической эффективности показала, что из 53 опубликованных разными авторами технологий 34 признаны непригодными для формирования ЭСА. В таблице 68 представлены данные оценки почвообрабатывающих нагрузок в технологии производства озимой пшеницы. Уборка урожая производилась традиционно с копнением соломы и удалением ее с поля. По оценке авторов эксперимента с

Таблица 68

**Оценка эффективности агротехнологий возделывания озимой пшеницы (исх. данные Романенко А.А. и др., 2013)**

Показатели	Обработка почвы			
	традиционная	разуплотняющая	безотвальная	поверхностная
Урожайность, т/га	6,02	5,86	5,69	5,51
Выход валовой энергии, ГДж/га	96,3	93,8	91,0	85,0
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	23,0	23,2	22,9	22,7
Кээ	4,2	4,0	4,0	3,7
Класс качества по Кээ	3	3	3	3
Кэээ без соломы	0,66	0,66	0,67	0,67
Класс качества по Кэээ без соломы	2	2	2	2
Кэээ с оставлением соломы	0,94	0,94	0,93	0,93
Класс качества по Кэээ с соломой	3	3	3	3

Примечание: Кээ – коэффициент экономической эффективности;  
Кэээ – коэффициент эколого-экономической эффективности.

использованием показателя экономического эффекта (Кээ) все виды обработок относятся к среднему III классу качества. По интегрированному эколого-экономическому эффекту (Кэээ) нагрузки соответствуют II непригодному для

формирования ЭСА классу. Для его трансформации в класс «оптимальный» соломой следует оставлять на месте произрастания и заделывать в почву.

В таблице 69 контрольные варианты агроэкосистем с сахарной свеклой характеризуются как наиболее эффективные, т.е. там, где отчуждаемая из системы энергия превышает привносимую в 4 раза. Такое природопользование, как известно, ведет к деградации почвенного плодородия, снижению

Таблица 69

**Оценка эффективности агротехногенных нагрузок в агроэкосистемах с сахарной свеклой**  
(исх. данные Боронтов О.К. и др., 2013)

Обработка почвы	Удобрение	Продукт, ГДж/га	Затраты, ГДж/га	Кээ кл.	Кэээ кл.	Кэээ+б. кл.
Отвальная глубокая (30 – 32 см)	0	106	21,64	4,9/3	0,64/2	0,84/3
	(NPK) <sub>45</sub>	131	29,7	3,3/3	0,65/2	0,86/3
	(NPK) <sub>59</sub>	136	40,0	3,4/3	0,69/2	0,89/3
Безотвальная мелкая (21 – 22 см)	0	94	20,9	4,5/3	0,65/2	0,85/3
	(NPK) <sub>45</sub>	124	38,7	3,2/3	0,70/2	0,89/3
	(NPK) <sub>59</sub>	126	39,4	3,2/3	0,70/2	0,90/3
Безотвальная (плоскорезная) (12-14 + 30-32см)	0	85	20,7	4,1/3	0,66/2	0,87/3
	(NPK) <sub>45</sub>	104	40,0	2,6/2	0,74/2	0,74/3
	(NPK) <sub>59</sub>	125	39,0	3,2/3	0,70/2	0,89/3
Комбинированная (21-22), (12-14 + 30-32 см)	0		21,8	4,4/3	0,65/2	0,86/3
	(NPK) <sub>45</sub>	96	39,3	3,1/3	0,71/2	0,90/3
	(NPK) <sub>59</sub>	122	39,3	3,1/3	0,71/2	0,92/3

Примечание: Кээ – коэффициент экономической эффективности;  
Кэээ – коэффициент эколого-экономической эффективности с удалением ботвы с поля;  
Кэээ+б. – эффективность с оставлением ботвы на поле;  
Кл. – класс качества агротехнологии.

урожаев. Оценка нагрузок по Кэээ подтверждает непригодность рассматриваемых технологий для формирования ЭСА. В целях повышения их классно-

сти до уровня «оптимальный» свекольную ботву следует оставить на поле и запахать.

В агроэкосистемах с ячменем (табл.70) контрольные варианты с их высокой энерго-экономической эффективностью можно отнести ошибочно к технологиям повышенной классности.

Таблица 70

**Оценка эффективности агротехногенных нагрузок в агроэкосистемах с ячменем (исх. данные Алиева А.М. и др., 2013 г.)**

№ варианта опыта, ротация, фон	Год	Продукт, ГДж/га	Затраты, ГДж/га	Кээ кл.	Кэээ кл.	Кэээ+с. кл.
4-1. Навоз+ N <sub>50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	1965	46.1	23.8	1.94/2	0.81/3	0.88/3
	1966	33.7	23.4	1.44/2	0.85/3	0.89/3
	1967	46.3	24.3	1.91/2	0.82/3	0.88/3
4-2. Навоз+N <sub>75</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1971	68.1	23.8	2.87/2	0.72/2	0.92/3
	1972	23.2	21.5	1.08/2	0,81/3	0.98 /4
	1973	15.0	21.0	0.71/1	0,76/3	0,89/3
4-3. Навоз+N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	1975	20,1	24,8	0,81/1	0,78/3	0,94 /3
	1976	46,8	26,0	1,80/2	0,87/3	0,88/3
	1977	62,7	26,9	2,33/2	0,76/3	0,89/3
4-4. Навоз+N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	1981	20.6	20.3	1.02/2	0,80/3	1,0/4
	1982	-	-	-		-
	1983	65.8	23.1	2.84/2	0.72/2	0.91/3
4-5. Навоз+N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	1987	82,0	32,0	2,56/2	0,75/3	0,90/3
	1988	33,8	22,0	1,54/2	0,85/3	0,87/3
	1989	45,9	24,2	1,90/2	0,82/3	0,85/3
4-6. Навоз+N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	1993	52,3	23,6	2,22/2	0,77/3	0,88/3
	1994	62,4	22,3	2,80/2	0,72/2	0,89/3
	1995	44,8	21,7	2,06/2	0,79/3	0,91/3
5-9. Контроль	1987	55,2	13,7	4,03/3	0,66/2	0,89/3
	1988	32,2	10,4	3,07/3	0,70/2	0,94/3
	1989	39,5	12,1	3,026/3	0,69/2	0,92/3
6-9. Контроль	1993	59,1	12,0	4,90/3	0,64/2	0,94/3
	1994	44,6	10,9	4,10/3	0,66/2	0,95/3
	1995	32,8	10,5	3,11/3	0,70/2	0,92/3

Однако, этого мы не наблюдаем в выводах по результатам опытов потому, что урожаи на контроле невысокие и затраты минимальные, а отсюда никому не нужный эффект по Кээ. Продукт, в данном случае, получается за

счет расходования ресурсов ландшафта, некомпенсируемых привносимой в систему энергией. С оставлением соломы на поле в качестве энергетического материала для воспроизводства органического углерода в почве качество агротехнологий отвечает требованиям применимости их в ЭСА.

В представленной оценке эффективности антропогенных нагрузок в агроэкосистемах с горохом (табл.71) наблюдаем тот же бытующий принцип в определении их качества: чем выше показания Кээ, тем лучше агротехнология.

Таблица 71

**Оценка эффективности антропогенных нагрузок в агроэкосистемах с горохом на зерно**

(исх. данные Котляровой Е.Г. и др., 2013 г.)

Обработка почвы	Удобрение	Продукт, ГДж/га	Затраты, ГДж/га	<u>Кээ</u> кл.	<u>Кэээ</u> кл.	<u>Кэээ+с.</u> кл.
Вспашка	0	30,2	7,4	4,1/3	0,66/2	0,94/3
	N <sub>50</sub> P <sub>70</sub> K <sub>40</sub>	34,3	7,8	4,4/3	0,64/2	0,94/3
	N <sub>100</sub> P <sub>140</sub> K <sub>80</sub>	32,3	8,0	4,0/3	0,66/2	0,94/3
Мелкая обработка	0	22,0	6,7	3,3/3	0,64/2	0,94/3
	N <sub>50</sub> P <sub>70</sub> K <sub>40</sub>	24,6	7,1	3,4/3	0,68/2	0,93/3
	N <sub>100</sub> P <sub>140</sub> K <sub>80</sub>	28,5	7,3	3,9/3	0,67/2	0,89/3
Нулевая обработка	0	19,0	6,9	2,7/2	0,73/2	0,91/3
	N <sub>50</sub> P <sub>70</sub> K <sub>40</sub>	20,8	7,3	2,8/2	0,72/2	0,90/3
	N <sub>100</sub> P <sub>140</sub> K <sub>80</sub>	23,6	7,5	3,1/3	0,70/2	0,92/3

Примечание: класс качества агротехнологических нагрузок по Кээ (2 – нежелательный или непродолжительно возможный), (3 – средний); по Кэээ без оставления соломы на поле (2 – удовлетворительный кратковременный); (3 – оптимальный).

Это правило существует всегда, когда игнорируются экологические императивы. Формирование экологически сбалансированных агроландшафтов и их территориальных структур (элементарных агроэкосистем) подчинено правилу простого воспроизводства основных свойств систем, основанному на сбалансированности энергетических взаимоотношений отчуждения и привне-

сения в виде продукта и затрат на его производство. Одним из критериев энергетических взаимоотношений служит интегрированный показатель Кэээ.

Координатный метод представления и анализа энергетических характеристик агротехногенных нагрузок в агроэкосистемах исключает элемент субъективности в оценке их качества и для своей реализации требует всего 2 информационных показателя – величины отчуждаемой и привносимой в систему энергии. Исключается необходимость использования (табл.72) тригонометрических функций в поисках угла склонения точки от пересечения значений аргументов (X, Y) при наличии информации о значении угла наклона гипотенузы в прямоугольном треугольнике в зависимости от соотношения катетов, в процентах.

Таблица 72

**Значение углов наклона, выраженных в градусах и процентах**

Числовое значение угла наклона					
Град	%	Град	%	Град	%
1,0	1,7	10,5	18,5	27,0	50,9
1,5	2,6	11,0	19,4	28,0	53,2
2,0	3,5	11,5	20,3	29,0	55,4
2,5	4,4	12,0	21,2	30,0	57,7
3,0	5,2	12,5	22,2	31,0	60,1
3,5	6,1	13,0	23,1	32,0	62,5
4,0	7,0	14,0	24,9	33,0	64,9
4,5	7,9	15,0	26,8	34,0	67,4
5,0	8,7	16,0	28,6	35,0	70,0
5,5	9,6	17,0	30,6	36,0	72,6
6,0	10,5	18,0	32,5	37,0	75,3
6,5	11,4	19,0	34,4	38,0	78,1
7,0	12,3	20,0	36,4	39,0	81,0
7,5	13,2	21,0	38,4	40,0	83,9
8,0	14,1	22,0	40,4	41,0	88,9
8,5	14,9	23,0	42,4	42,0	90,0
9,0	15,8	24,0	44,5	43,0	93,2
9,5	16,7	25,0	46,6	44,5	96,6
10,0	17,6	26,0	48,8	45,0	100,0

**Пример расчета Кэээ:**

Энергия отчуждаемого продукта - 96,3 ГДж/га (y).

Привнесенная в агроэкосистему энергия - 23,0 ГДж/га (x).

Угол склонения точки пересечения энергетических эквивалентов в сторону вектора оптимальности от линии ординаты в %:

$$\alpha \% = x \cdot 100 / y = 23,0 \cdot 100 / 96,3 = 24\% \sim 13,5^{\circ}.$$

Угол склонения точки от линии дискриминанты равен  $13,5^{\circ} + 45^{\circ} = 58,5^{\circ}$ .

$$K_{эээ} = 58,5^{\circ} / 90^{\circ} = 0,66.$$

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, разработана система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов, включающая критерии нормирования антропогенной нагрузки, методы и шкалы оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах.

В качестве критериев влияния сельскохозяйственной деятельности на агроэкосистемы для оценки и нормирования антропогенной нагрузки использовали: 1) показатель интенсивности воздействия антропогенных нагрузок на трансформацию органического вещества почвы; 2) показатель устойчивости органического вещества почвы; 3) соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса (сбалансированность процессов, показатель устойчивости почвы); 4) интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества почвы), учитывающий агрохимические, агрофизические и биологические параметры почвы по сравнению с эталонной; 5) комплекс показателей, отражающих направленность почвенных процессов (уровень их воспроизводства), качество почвы (агрохимические, агрофизические и биологические параметры), уровень деградации (степень эродированности, величина смыва, химическое загрязнение), производительную устойчивость агроландшафта, оцениваемую по фактической и потенциальной урожайностям сельскохозяйственной культуры и коэффициенту её вариации во времени по годам; 6) оптимальность размера пашни в структуре агроландшафта и близость показателя эколого-экономической эффективности к эталонному значению для агро-

экосистемы.

Разработаны методы оценки и нормирования антропогенной нагрузки, отличающиеся своими особенностями, достоинствами и условиями применения. Для оценки, прогнозирования и нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия рекомендуется использовать метод, позволяющий оценивать комплексное воздействие пяти факторов (вид растительности, сельскохозяйственной культуры; севооборот, система обработки почвы, органические удобрения, минеральные удобрения) на трансформацию органического вещества почвы в баллах, и на этой основе проводить её нормирование.

Для проведения контроля агроландшафтов по антропогенной нагрузке (при отсутствии химического загрязнения) и для нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов рекомендуются три метода. Первый метод позволяет на основе определения показателя устойчивости органического вещества почвы по фактическому содержанию в почве негумифицированного органического вещества и гумуса оценивать степень антропогенной нагрузки на почву и проводить её нормирование. Другой метод позволяет на основании определения соотношения интенсивности потери органического вещества в почве по эмиссии  $\text{CO}_2$  и уровня компенсации дефицита баланса гумуса экспериментально оценивать сбалансированность процессов потери и восполнения органического вещества почвы, а следовательно, её устойчивость, и на этой основе более точно нормировать антропогенную нагрузку. Третий метод обеспечивает нормирование антропогенной нагрузки в агроландшафтах по оценке её влияния на интегральный индекс экологического состояния почвы (комплексный критерий качества).

Комплексностью, всесторонним подходом отличается метод, позволяющий на основе анализа комплекса показателей, отражающих направленность и уровень воспроизводства почвенных процессов, качество почвы, сте-

пени деградаций и производительную устойчивость агроландшафта, провести оценку соответствия антропогенной нагрузки экологической емкости агроландшафта, а также её нормирование. Его рекомендуется использовать для оценки и нормирования антропогенной нагрузки при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Применимость метода ограничивается только наличием данных по необходимым показателям.

Координатный метод оценки нормируемых агротехногенных нагрузок в элементарных агроэкосистемах позволяет определить класс качества нагрузки, провести выбор оптимального варианта природопользования, рекомендуется использовать для оценки качества природопользования, природоохранной деятельности и при формировании экологически сбалансированных агроландшафтов и проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

К методам разработаны и представлены необходимые формулы для определения и расчета показателей и критериев, алгоритм проведения оценки и нормирования полей и угодий агроландшафта с различной антропогенной нагрузкой. Предложены шкалы оценки и нормирования антропогенных нагрузок по всем используемым критериям для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Выделены четыре градации нормирования антропогенной нагрузки (благоприятная, допустимая, ограниченно допустимая, недопустимая) или три (допустимая, ограниченно допустимая, недопустимая) в зависимости от метода; четыре класса качества агротехногенных нагрузок.

Проведена апробация разработанных методов в агроландшафтах на пашне в зависимости от вида севооборота, в бессменном пару, на многолетних травах, залежи, в лесополосе. Выявлено, что методы, апробированные на одних и тех же объектах показали одинаковые результаты оценки и нормирования антропогенной нагрузки, несмотря на то, что были использованы разные критерии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Курской области. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1971. – 104 с.
2. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Наука, 1975. – 656 с.
3. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство/ Под редакцией академиков РАСХН В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784с.
4. Агроэкологическое состояние чернозёмов ЦЧО / Под ред. А.П. Щербачова и И.И. Васенёва. – Курск. 1996. – 326 с.
5. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 287с.
6. Алиев А.М., Ваулина Г.И., Цимбалист Н.И., Шмонин В.А. Энергетическая эффективность технологий возделывания ячменя в шести ротациях севооборота многолетнего стационара//Плодородие, №5, 2013, с.29-32.
7. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте / Д.Л. Арманд. – М. : Мысль, 1975. – 456 с.
8. Афанасьева, Е.А. Чернозёмы Средне-Русской возвышенности / Е.А. Афанасьева. – М.: Наука, 1966. – 224 с.
9. Балюк, С.А. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров Украины / С.А. Балюк, Н.Н. Мирошниченко, А.И. Фатеев // Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1501-1509.
10. Бахирев Г.И. Ресурс пашни в экологически сбалансированном агроландшафте//Информационно-технологическое обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 11-13 сентября 2012 г., Курск: ГНУ Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2012. - С. 41-45.

11. Березин, П.Н. Физическая деградация почвы: параметры состояния / П.Н. Березин, И.И. Гудима // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 67-70.
12. Бирюкова, О.Н. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России / О.Н. Бирюкова, Д.С. Орлов // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 171-188.
13. Благодатский, С.А. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / С.А. Благодатский, Е.В. Благодатская, А.Ю. Горбенко, Н.С. Паников // Почвоведение. – 1987. – № 4. – С. 64-71.
14. Боронтов О.К., Косякин П.А., Елфимов М.Н., Манаенкова Е.Н., Попов С.С., Енин Е.В., Дьяков Д.С., Королев В.А. Эффективность основной обработки почвы под сахарную свеклу в Центрально-Черноземной зоне//Земледелие, №4, 2013, с.20-23.
15. Булаткин, Г.А., Ларионов В.В. Основы энергетической концепции агротехногенной нагрузки/ Г.А. Булаткин, В.В. Ларионов. - Пушкино, 1992, 27 с.
16. Булгаков, Н.Г. Индикация состояния природных систем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов / Н.Г. Булгаков // Успехи современной биологии. 2002. – Т. 122, №2. – С. 115-135.
17. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
18. Виноградов, Б.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России/ Б.В. Виноградов, В.В. Орлов, В.В. Снакин // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1993 №5. С. 77-89.
19. Виноградов, Б.В. Основы ландшафтной экологии / Б.В. Виноградов. – М.: ГЕОС, 1998. – 418 с.
20. Волков, С.Н. Землеустройство. Том 2. Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство. С.Н. Волков. - М.: Колос, 2001. 648 с.
21. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: автореферат дисс. на соиск. степени доктора биол. наук. – Екатеринбург, 2003.

22. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень)/ Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.
23. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. – М.: Госкомэкология России, 1999.
24. Гиляров, М.С. Зоологический метод диагностики почв / М.С. Гиляров. – М.: Наука, 1965. – 278 с.
25. Гражданкин, А.И. Количественная оценка риска аварий в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов топливно-энергетического комплекса/ А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности №1, 2005.- С. 46-48
26. Гродзинский, М.Д. Эмпирические и формально-статистические методы определения областей допустимых и нормальных состояний / М.Д. Гродзинский // Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. – М.: МГУ, 1988. – С. 215-224.
27. Груздева, Л.П. Применение биоиндикации для выявления техногенного загрязнения агроландшафтов/ Л.П. Груздева, В. С. Груздев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. – № 3. – С. 13–16.
28. Деградация почв: методы отбора и подготовки проб для физико-химического и биологического анализа: Учебное пособие / С.Ю. Селивановская, Р.Х. Гумерова, П.Ю. Галицкая, Ю.В. Медянская. – Казань: Казанский университет, 2011. – 57 с.
29. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. – М.: МГУ, 1972. – 292 с.
30. Добровольский, Г.В. Деградация почв – проблема глобального экологического кризиса / Г.В. Добровольский // Век глобализации. – 2008. – № 2. – С. 54-65.
31. Добровольский, Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.

32. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
33. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. доп. и перераб./ Б.А. Доспехов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
34. Захаров, С.С. Земледелие Западной и Северо-западной зон СССР/ С.С. Захаров. - М.: Колос, 1967. - 303 с.
35. Зырин, Н.Г. Научные основы разработки предельно допустимых количеств тяжелых металлов в почвах // Докл. симпозиумов 7 съезда Всесоюзного общества почвоведов/ Н.Г. Зырин, А.И. Обухов, С.Г. Малахов и др. – Ташкент, 1985. Ч. 6. – С. 276-281.
36. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды/ Ю.А. Израэль. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. -375 с.
37. Казеев, К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методика исследований/ К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. - Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 2003. 202 с.
38. Карпачевский, Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе/ Л.О. Карпачевский. - М.: Изд-во МГУ, 1977. С. 217–224.
39. Кирюшин, В.И. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин, П.Ф. Ганжара, И.С. Кауричев, Д.С. Орлов, А.А. Титлянова, А.Д. Фокин. – М.: МСХА, 1993. – 97 с.
40. Кирюшин, В.И. Оценка качества земель и плодородия почв для формирования систем земледелия и агротехнологий / В.И. Кирюшин // Почвоведение. – 2007. – № 7. – С. 871-880.
41. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
42. Когут, Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах/ Б.М. Когут // Почвоведение, 2003, N 3. С. 308 - 316.

43. Когут, Б.М. Трансформация гумусового состояния чернозёмов при их сельскохозяйственном использовании / Б.М. Когут // Автореферат диссертации доктора сельскохозяйственных наук. 1996. – 48 с.
44. Колесников С.И. Экологические основы природопользования: Учебник. Изд. 2-е. М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К<sup>о</sup>", 2009. 304 с. (Гриф Минобрнауки РФ).
45. Колесников, С.И. Экология: Учебное пособие. изд. 4-е/ С.И. Колесников,. - М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и Ко", Ростов н/Д: Наука-Пресс, 2009. 384 с. (Гриф УМО по классическому университетскому образованию).
46. Копцик, Г.Н. Устойчивость лесных почв к атмосферному загрязнению / Г.Н. Копцик// Лесоведение, 2004. № 4. – С. 61-71.
47. Котлярова Е.Г., Лубенцов С.М. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания гороха на зерно//Земледелие, №8, с.34-35.
48. Кочуров, Б.И. Землеустройство и ландшафтоведение: взаимосвязи, цели и задачи / Б.И. Кочуров, Ю.Г. Иванов // Экологические системы и приборы. – 2002. – № 7. – С. 28–30.
49. Критерии и параметры допустимых антропогенных нагрузок на компоненты агроландшафта /Под ред. Г.Н. Черкасова и Н.П. Масютенко. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2005. – 60 с.
50. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной ситуации и зон экологического бедствия. Утв. Минприроды РФ 30 ноября 1992 г. – М.: Минприроды России, 1992.
51. Курганова, И.Н. Оценка газообразных потерь углерода из почв агроэкосистем Российской Федерации / И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, Т.Н. Мякшина, Д.В. Сапронов, В.Н. Кудеяров // Труды IV Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере». Санкт-Петербург, 2007. С.54–57.

52. Ландшафтное земледелие (Вопросы теории, методики исследования и агроэкологического мониторинга ландшафтных систем земледелия). Под редакцией Г.А. Романенко и А.Н. Каштанова. – М.: РАСХН, 1994. – 92с.
53. Ландшафтное земледелие. Часть 1. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе. - ВНИИЗиЗПЭ, Курск, 1993. - 100 с.
54. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга / А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов. – М.: НИА-Природа, 2004. – 271 с.
55. Левич, А.П. Методические проблемы анализа экологических данных и пути их решения: метод локальных экологических норм / А.П. Левич, Н.Г. Булгаков, Д.В. Рисник, Е.С. Милько // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. Вып. 18. №1. С. 9-22.
56. Линкина, А.В. Состав и соотношение земельных угодий в экологических ландшафтных системах земледелия Центрального Черноземья. ВГАУ/ А.В. Линкина, М.И. Лопырев. - Воронеж, 2012, 20 с.
57. Макаров, О.А. Почему нужно оценивать почву? (Состояние/качество почвы: оценка, нормирование, управление, сертификация) / О.А. Макаров. – М.: МГУ, 2003. – 259 с.
58. Масютенко М.Н. Влияние севооборотов, систем обработки почвы и экспозиции склона на агрофизические и биологические свойства чернозема типичного и урожайность сельскохозяйственных культур: автореф. дисс. ...канд. сельск. наук. - Рамонь, 2014. - 24 с.
59. Масютенко, Н.П. Антропогенная деградация гумусного состояния чернозёмов ЦЧР / Н.П. Масютенко // Чернозёмы России: экологическое состояние и современные почвенные процессы: материалы Всероссийской конференции посвященной 70-летию кафедры почвоведения и агрохимии Воронежского государственного университета. – Воронеж: ВГУ, 2006. – С. 55-59.

60. Масютенко, Н.П. Влияние удобрений, типа севооборота, экспозиции склона и вида угодий на динамику содержания микробной биомассы в черноземе типичном / Н.П. Масютенко, О.В. Нагорная, О.В. Лукьянчикова // *Агрохимия*. – 2009. – № 5. – С. 49-54.
61. Масютенко, Н.П. К определению экологической устойчивости агроландшафта / Н.П. Масютенко, М.Н. Масютенко // *Сборник докладов научно-практической конференции «Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия» Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева»*. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. - С.92–96.
62. Масютенко, Н.П. Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов // *Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: материалы Междунар. научно-практ. конф. (с элементами научной школы для молодёжи) /Сост.: Кулачкова С.А., Макаров О.А., М.: МАКС Пресс, 2010. С.115–117.*
63. Масютенко, Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства/ Н.П. Масютенко. - М.: Россельхозакадемия, 2012. - 150 с.
64. Масютенко, Н.П. Устойчивость органического вещества чернозёмов к антропогенным воздействиям / Н.П. Масютенко // *Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Модели и технологии оптимизации земледелия*. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2003. – С. 505-508.
65. Матвеев, Ю.М. Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах/ Ю.М. Матвеев, И.В. Попова, О.В. Чернова // *Агрохимия*, 2001. № 12. – С. 54-60.
66. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель // *Охрана окружающей природной среды: почвы*. – М.: ВНИИ природы, 2001. – С. 65-110.

67. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. — 240 с.
68. Милащенко, Н.З. Устойчивое развитие агроландшафтов/ Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. - Пушино, 2000, т.1, 330 с.
69. Мотузова, Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический Проект: Гаудеамус, 2007. – 237 с.
70. Нагорная, О.В. Влияние степени антропогенного воздействия на эмиссию CO<sub>2</sub> из черноземных почв Курской области / О.В. Нагорная // Регион – 2006: стратегия оптимального развития. Матер. междунар. научно-практич. конф. – Харьков, 2006. – С. 236–237.
71. Никитин, Б.А. Уточнение к методике определения гумуса в почве / Б.А. Никитин // Агрехимия. – 1983. – № 8. – С. 101-106.
72. Одум, Е. Экология / Е. Одум. – М.: Мир, 1968. – С. 130.
73. Опекунов, А.Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду/ Учебное пособие/ А.Ю. Опекунов. - С.-Пб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2006. – 261 с.
74. Опекунов, А.Ю. Экологическое нормирование: Учеб. пособие / А.Ю. Опекунов. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001. - 216 с.
75. Орлов, Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.Н. Суханова. – М.: Наука, 1996. – 256 с.
76. Пиковский, Ю.И. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами/ Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, С.С. Чернянский и др. // Почвоведение.2003. № 9. С. 1132–1140.
77. Полянская, Л.М. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв / Л.М. Полянская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2005. – № 6. – С. 706-714.
78. Пономарёва, В.В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В.В. Пономарёва, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.

79. Природопользование, охрана окружающей среды и экономика. Теория и практикум: Учеб. пособие/ Под ред. А.П. Хаустова. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 614 с.
80. Пых, Ю.А. Об оценке состояния окружающей среды. Подходы к проблеме / Ю.А. Пых, И.Г. Малкина-Пых // Экология, 1996. № 5. – С. 323-329.
81. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-Р (ред. от 08.08.2009) «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года».
82. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
83. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв: Методические рекомендации / Сост. К.В. Дьяконова. – М.: ВАСХНИЛ. Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1984. – 96 с.
84. Рисник, Д.В. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные существующих систем экологического нормирования/ Д.В. Рисник, С.Д. Беляев, Н.Г. Булгаков, А.П. Левич // Успехи современной биологии. 2012. Т.132 №6. С. 531-550.
85. Романенко, А.А. Эффективность различных технологий возделывания озимой пшеницы и кукурузы на зерно / Романенко А.А., Кильдюшкин В.М., Солдатенко А.Г. // Земледелие, №5, 2013. - С.32-35.
86. Романенко, Г.А. Проблемы деградации, охраны и восстановления продуктивности сельскохозяйственных земель России (научное издание) / Г.А. Романенко, А.Л. Иванов... Н.П. Масютенко, и др. М.: ВНИИА, 2007, – 76 с.
87. Савич, В.И. Физические свойства почв, как матрица их плодородия / В.И. Савич, Р.Ф. Байбеков, В.Н. Банников // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: Тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева. – М., 2002. – С. 85.

88. Салицевич, С.А. Гелеобразные корневые выделения растений и их действие на почву и корневую микрофлору//Методы изучения продуктивности корневых систем. Международный симпозиум/С.А. Салицевич - Л., 1968. – С. 53.
89. Семенченко, В.П. Экологическое качество поверхностных вод/ В.П. Семенченко, В.И. Разлуцкий– Минск, изд. «Беларуская навука», 2010, – 329 с.
90. Сидоров, М.И. Роль негумифицированных растительных остатков почвы в земледелии / М.И. Сидоров, Н.И. Зезюков // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1981. – № 11. – С. 78-84.
91. Система показателей оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых экологически сбалансированных агроландшафтов. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. – 42с.
92. Смагин, А.В. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий /А.В. Смагин, Н.А. Азовцева, М.В. Смагина, А.Л. Степанов, А.Д. Мягкова, А.С. Курбатова // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 603-615.
93. Смагин, А.В. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства/ А.В. Смагин, С.А. Шоба, О.А. Макаров – М.: МГУ, 2008. – 360 с.
94. Соловиченко, В.Д. Мониторинг почвенного покрова Белгородской области / В.Д. Соловиченко, В.Н. Самыкин // Инновации, землеустройство и ресурсосберегающие технологии в земледелии. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2007. – С. 453-456.
95. Сотнева, Н.И. Изменение экологических функций черноземов при сельскохозяйственном использовании / Н.И. Сотнева // Кризис почвенных ресурсов: причины и следствия: Тезисы докладов международной студенческой конференции. – СПб, 1997. – С. 119-120.
96. Сухановский, Ю.П. Модель управления эрозионными процессами в агроландшафтах/ Ю.П. Сухановский, Г.И. Бахирев, И.П. Здоровцов. - Курск. ВНИИЗиЗПЭ.-2004.- 35 с.

97. Теории и методы физики почв: коллективная монография /Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.
98. Терехова, В.А. Триадный подход к экологической оценке городских почв / В.А.Терехова, М.А. Пукальчик , А.С. Яковлев // Почвоведение. - 2014. №9. – С.1145-1152.
99. Тишлер, В. Сельскохозяйственная экология / В. Тишлер. – М.: Колос, 1971. – 455 с.
100. Толковый словарь по почвоведению / Под ред. А.А. Роде. – М.: Наука, 1975. – 286 с.
101. Трейт, Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты (Пер. с англ.) / Р. Трейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
102. Трифонова, Т.А. Использование информационно-аналитической системы в почвенно-экологических исследованиях / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, Д.А. Будаков // Почвоведение. – 2007. – № 1. – С. 23-30.
103. Уваров, Г.И. Динамика и баланс гумуса в почвах разной интенсивности использования в условиях северо-восточной части Украины / Г.И. Уваров, А.И. Иванов // Агрохимия. – 1992. - №5. – С. 96-101.
104. Управление качеством городских почв (Методическое пособие) / Под общ. ред. С.А. Шобы и А.С. Яковлева. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 96 с.
105. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 (ред. от 05.02.2007) «Об охране окружающей среды».
106. Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
107. Флоринский, М.А. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий/ М.А. Флоринский, М.И. Лунев, А.В. Кузнецов и др. М.: Центр научн.-техн. информ., пропаганды и рекламы, 1994. - 96 с.
108. Фрид, А.С. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных

почв европейской территории России при антропогенных воздействиях/ А.С. Фрид, И.В. Кузнецова, И.Е. Королева, А.Г. Бондарев, Б.М. Когут, В.Ф. Уткаева, Н.А. Азовцева.– М.: ГНУ Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 176 с.

109. Фрид, А.С. Методические подходы к разработке нормативов изменений структурно-функциональных свойств почв, почвенных процессов в зависимости от характера и интенсивности антропогенного воздействия и глобального изменения климата с целью корректировки агротехнологий / А.С. Фрид // Агрехимия. – 2009. – № 10. – С. 70-76.

110. Фрид, А.С. Экологическое нормирование свойств почв при антропогенных воздействиях / А.С. Фрид // Матер. Междунар. научной конф. «Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России». – СПб.: Издательский дом – СПб ГУ, 2011. – С. 498-499.

111. Хаустов, А.П. Нормирование антропогенных воздействий и оценки природоёмкости территорий: Учеб. пособие/ Хаустов А.П., Редина М.М. – М.: РУДН, 2008. – 282 с.

112. Хаустов, А.П. Управление природопользованием/ Хаустов А.П., Редина М.М. – М.: Высшая школа, 2005.- 113с.

113. Хуторов, А.А. Оценка экологического состояния антропогенно-трансформированных экосистем / А.А. Хуторов // Диссертация на соиск. уч. ст. канд. географических наук. – Москва, 2005. – 186 с.

114. Чекановская, О.В. Дождевые черви и почвообразование / О.В. Чекановская. – М.: АН СССР, 1960. – 202 с.

115. Чекмарев, П.А. Агрехимический мониторинг плодородия пахотных почв (на примере Кемеровской области)/ П.А. Чекмарев, О.И. Просяникова, В.В. Михайлов и др Кемерово, Кузбассвузиздат, 2011. - 135с.

116. Чекмарев, П.А. Динамика плодородия почв Республики Татарстан/ П.А. Чекмарев, А. А. Лукманов, С.Ш. Нуриев, Р.Ш. Гайров//Достижения науки и техники АПК. 2014. №4. С. 6–9.

117. Чекмарев, П.А. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России/ П.А. Чекмарев, С.В. Лукин // *Агрохимия*, 2013, № 4. – С.11-12.
118. Чекмарев, П.А. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах ЦЧР/ П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич, Н.П. Юмашев, В.И. Корчагин, А.Н. Хижняков// *Достижения науки и техники АПК*, - 2011. №9 - С.23-26.
119. Черкасов, Г.Н. Влияние вида севооборота, системы обработки почвы и экспозиции склона на динамику эмиссии CO<sub>2</sub> из чернозема типичного/ Г.Н. Черкасов, Н.П. Масютенко, М.Н. Масютенко // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. - № 6. - С.34–37.
120. Черников, В.А. Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
121. Черников, В.А. Агроэкология. Методология, технология, экономика / В.А. Черников, И.Г. Грингоф, В.Т. Емцев и др. – М.: КолосС, 2004. – 400 с.
122. Шабаев, А.И. Перспективная ресурсосберегающая технология производства яровой пшеницы/ А.И. Шабаев и др. - М., 2008, 55 с.
123. Шишов, Л.Л. Критерии и модели плодородия почв / Л.Л. Шишов, И.И. Карманов, Д.Н. Дурманов. – М.: Агропомиздат, 1987. – 184 с.
124. Шкопек, В. Антропоэкологическая система ландшафта, ее оценка и оптимизация/ В. Шкопек, Р. Орцт // *Экология*.- №1- 1989. - С.8-13.
125. Щеглов, Д.И. Направление современной эволюции черноземов центра Русской равнины / Д.И. Щеглов // *Современные проблемы охраны и воспроизводства почвенного плодородия*. – Киев, 1994. – С. 26-27.
126. Щербаков, А.П. Антропогенная деградация черноземов ЦЧО / А.П. Щербаков, И.И. Васенев // *Антропогенная деградация почвенного покрова*. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. – Т. 1. – С. 325-327.
127. Щербаков, А.П. Экологические проблемы плодородия почв ЦЧО / А.П. Щербаков, И.И. Васенев // *Почвоведение*. – 1994. – № 8. – С. 81-96.

128. Экологические функции городских почв / Отв. Ред.: Курбатова А.С., Башкин В.Н. Смоленск, 2004. 232 с.
129. Яковлев А. С. Экологическая оценка, экологическое нормирование и рекультивация земель: основные термины и определения / Яковлев А.С., Макаров О.А. // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2006. – № 3. – С. 64-70.
130. Яковлев, А.С. Методика экологической оценки состояния почвы и нормирование ее качества / А.С. Яковлев, В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов, М.В. Евдокимова, Е.А. Шулакова / Почвоведение. – 2009. – № 8. – С. 984-995.
131. Яковлев, А.С. Принципы экологического нормирования почв земель разного хозяйственного назначения / А.С. Яковлев, М.В. Евдокимова // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: материалы докладов Междунар. научно-практ. конф. (с элементами научной школы для молодёжи) / Сост. Кулачкова С.А., Макаров О.А. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 180–183.
132. Яковлев, А.С. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // А.С. Яковлев, М.В. Евдокимова / Почвоведение, 2011. №5. – С. 594-596.
133. Altieri M.A. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture / M.A. Altieri // Agr. Ecosystems Environm. – 1989. – Vol. 27. – № 1/4. – P. 37–46.
134. Anderson J.P.E. Soil respiration. In: Page A.L., Millar R.H., Keeney D.H. (eds). Methods of soil analyses, part 2. Agronomy 9, 2nd edn. Am. Soc. Agron. – Madison, Wisc., 1982. – P. 831-871.
135. Anderson, T.H. Ratios of microbial biomass to total organic carbon in arable soils / T.H. Anderson, K.H. Domsch // Soil Biol. Biochem. – 1989. – V. 21. – № 4. – P. 471-179.
136. Barros, E. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia / E. Barros, B. Pashanasi, R. Constantino, P. Lavelle // Biol. and Fert. Soils. – 2002. – V. 35. – № 5. – С. 338-347.

137. Bastida F., Moreno J.L., Hernandez T., Garcia C. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate // *Soil Chemistry & biochemistry*. 2006. No.38.
138. Bosatta, E. Theoretical analysis of microbial biomass dynamics in soils / E. Bosatta, G.I. Agren // *Soil Biol. Biochem.* – 1994. – V. 26. – P. 143-148.
139. Bossuyt, H. Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts / H. Bossuyt, J. Six, P.F. Hendrix // *Eur. J. Soil Sci.* – 2004. – V. 55. – № 2. – P. 393-399.
140. EEA. Environmental indicators: Typology and overview. Technical report N 25. – Copenhagen, 1999. – 19 p.
141. House, G. Comparison of soil arthropods and earthworm from conventional and no-tillage agroecosystems / G. House, R. Parmelee // *Soil Tillage Res.* – 1985. – V. 5. – № 4. – P. 351-360.
142. Jones, G.G. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers / G.G. Jones, J.H. Lawton, M. Shachak // *Ecology*. – 1997. – V. 78. – P. 1946-1957.
143. Linden, D.R. Faunal indicators of soil quality / D.R. Linden, P.F. Hendrix, D.C. Coleman // *Amer. Soc. Agron. Annu. Meet.* – Minneapolis, 1992. – P. 40-90.
144. Linkov I., Satterstrom F.K., Kiker G., Batchelor C., Bridges T., Ferguson E. From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: recent developments and applications // *Environ Int.* 2006. V. 32(8). P. 1072-1093
145. Novikov D/ Agricultural landscape as philosophical-ecological phenomenon / D. Novikov // *Memory in the Ontopoiesis of Life. Book 2. 52 Memory in the Orbit of the Human Creative Existence.* – London, New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 2009. – P. 263-270.
146. Pimentel D., Berardi G., Fast S, Energy efficiency of farm systems. Organic and conventional agriculture // *Agriculture, Systems and Environment*. 1983. Vol. 9.. №4. P. 359-372.

147. Post, W.M. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation / W.M. Post, L.K. Mann // *Soils and Greenhouse effect* / Ed. A.F. Bouwman. – New York: John Wiley, – 1990. – P. 401-406.
148. Rutgers M., Den Besten P. Approach to legislation in a global context, B. The Netherlands perspective – soils and sediments / Eds.: K.C. Thompson, K. Wadhia, A.P. Loibner. *Environmental toxicity testing*. Oxford, UK: Blackwell Publishing CRC Press, 2005. P. 269-289.
149. U.S. EPA. Benchmark Dose Technical Guidance Document. – Washington: EPA/630/R-00/001, 2000.
150. U.S. EPA. Framework for Cumulative Risk Assessment. U.S. EPA – Washington: National Center for Environmental Assessment EPA/630/P-02/001F, 2003.
151. U.S. EPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/R095/002F, 1998.
152. Williamson M. H. Introducing students to the concepts of population dynamics / M. H. Williamson. In: *The Teaching of Ecology*, ed. Lambert J.M., Blackwells. – Oxford, 1967. – 169–175 p.
153. Wu, J. Microbial biomass and organic matter relationships in arable soils / J. Wu, P. Brookes // *J. of the Sch. Of Food and Agriculture*. – 1988. – № 2. – V. 45. . – P. 540-546.
154. Zhang, H. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates / H. Zhang, S. Schrader // *Biol. Fert. Soils*. – 1993. – V. 15, – № 3. – P. 229-234.
155. De Paz J.M., Sanchez J., Visconti F. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region // *Journal of Environmental Management*. 2006. V.79. Is.2. P.150-162.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Экологическое нормирование антропогенной нагрузки .....	5
2. К оценке экологического состояния почвы.....	15
3. Экологическое нормирование качества почвы.....	20
4. Объекты, условия и методика проведения исследований.....	29
4.1. Геоморфологические и климатические условия.....	29
4.2. Объекты и методика проведения исследований.....	43
5. Методический подход и система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.....	50
6. Методы оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.....	58
6.1. Метод оценки и нормирования антропогенной нагрузки по её влиянию на трансформацию органического вещества почвы в агроландшафте и его апробация.....	58
6.2. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по интегральному индексу экологического состояния почвы (комплексному критерию качества).....	66
6.2.1. Сущность метода и алгоритм разработки шкал оценки экологического состояния почвы и нормирования антропогенных нагрузок.....	66
6.2.2. Апробация метода нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по интегральному индексу экологического состояния почвы (комплексному критерию качества).....	68
6.2.2.1. Характеристика экологического состояния почвы изучаемых объектов.....	68
6.2.2.2. Проведение интегральной оценки влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние почвы.....	89
6.2.2.3. Разработка шкалы оценки экологического состояния почвы.....	99
6.2.2.4. Интегральная (комплексная) оценка экологического состояния почвы по химическим, физическим и биологическим показателям.....	103
6.2.2.5. Оценка влияния степени агрогенного воздействия на экологическое состояние чернозёма типичного, разработка шкалы нормирования антропогенных нагрузок и её апробация.....	110
6.3. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по комплексной оценке (соответствию антропогенной	

нагрузки экологической емкости агроландшафта).....	119
6.4. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса и его апробация.....	134
6.5. Метод нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафтах по устойчивости органического вещества почвы и его апробация.....	147
6.6. Координатный метод оценки нормируемых агротехногенных нагрузок в элементарных агроэкосистемах и его апробация.....	155
Заключение.....	167
Список литературы.....	170

Научное издание

**Система оценки и нормирования антропогенной нагрузки для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов.** Коллективная монография/Под общ. ред. Н.П. Масютенко. - Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2014.- 187 с.

**Авторский коллектив:** Масютенко Н.П., д.с.-х.н. - *введение, разделы 1-5, 6.1-6.5, заключение*; Кузнецов А.В. - *разделы 2, 4, 6.1, 6.2.2, 6.5*; Масютенко М.Н. – *разделы 3, 4, 6.4*; Чуян Н.А., д.с.-х.н. - *разделы 1, 6.3*; Брескина Г.М., к.с.-х.н. - *разделы 1, 6.5*; Дубовик Е.В., к.с.-х.н. – *раздел 1, 6.3*; Панкова Т.И., к.б.н. - *раздел 6.5*; Бахирев Г.И., к.с.-х.н. - *раздел 6.6 (в авторской редакции)*.

Отпечатано ООО «ТОП»  
Подписано в печать 15.12.14 г. Формат 60x84 1/16  
Печать офсетная  
Усл. печ. л. 11,7 Тираж 150 экз. Заказ № 51  
Адрес : 305016, г. Курск, ул. Советская, 15а