

ДЕПАРТАМЕНТ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

TACIS FDRUS 9702 “Укрепление сельскохозяйственной реформы
посредством образования”



О.А.Соколов

АГРОЭКОЛОГИЯ

Агроэкологический мониторинг в устойчивом развитии
агроэкосистем

Учебное пособие

Москва - 2000

УДК 574
ББК 4+20.1
С59

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Ученые-аграрии
Ученые-аграрии



Соколов О.А.

С59 Агрэкология. Учеб. пособие О.А.Соколов. – М.: МСХА, 2000, 217 с.

О.А.Соколов

ISBN 5-8122-0391-1

АГРОЭКОЛОГИЯ

Агрэкологический мониторинг в устойчивом развитии
агрэкологический мониторинг в устойчивом развитии

Учебное пособие

© О.А.Соколов

© TACIS, 2000

Москва - 2000

МОДУЛЬ 1. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Введение

Оценка и прогноз состояния окружающей среды и тенденция его изменения служат основой агроэкологического мониторинга и должны учитываться при планировании устойчивого развития агроэкосистем. В результате представляется возможным осуществлять систему целенаправленных мероприятий по регуляции качества среды и предотвращению негативных последствий антропогенных воздействий на агроэкосистемы. Универсальная система агроэкологического мониторинга обеспечивает возможность решения поставленных экологических задач в устойчивом развитии агроэкосистем.

Экологическая безопасность требует учета всех факторов, определяющих уровень жизни, а значит, и долголетия человека. В ее обеспечении существенную роль играет комплекс средств, выбранный обществом для управления качеством окружающей среды.

Что вы будете изучать

- Роль агроэкологического мониторинга в устойчивом развитии агроэкосистем.
- Устойчивое развитие природных комплексов, ландшафтов и агроэкосистем.
- Нормы реакции агроэкосистем на антропогенные воздействия.
- Условия реконструкции и создания устойчивых агроэкосистем.

Цели модуля

- Показать роль и место агроэкологического мониторинга в системе устойчивого развития агроэкосистем.
- Дать систему оптимизации структурно-функциональной организации агроэкосистем.
- Обучить методам реконструкции и создания устойчивых агроэкосистем.

После изучения модуля Вы сможете

- Определить возможности агроэкологического мониторинга в оценке устойчивого развития агроэкосистем.
- Создавать систему устойчивого развития агроэкосистем.
- Научно обосновать сбалансированность процессов устойчивости агроэкосистем при антропогенном воздействии.

Основная литература



1. Агроэкология. Учебник под ред. В.А.Черникова. М.: Колос, 2000.
2. Реймерс Н.Ф. Начала экологических знаний. М., 1993.

Дополнительная литература



Соколов О.А. и др. Конструирование устойчивых агроэкосистем. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1993, 34 с.



Ключевые слова

Допустимые пределы изменений, емкость, инерция, оползни, устойчивость, эластичность

1.1. РОЛЬ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Агроэкологический мониторинг представляет собой общегосударственную систему наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агроэкосистем (и сопредельных с ним сред) в процессе интенсивной сельскохозяйственной деятельности

Основная цель – создание высокоэффективных, экологически сбалансированных агроценозов на основе расширенного воспроизводства почвенного покрова, максимального использования природных ресурсов, рационального применения средств химизации.

Задачи агроэкологического мониторинга:

- организация наблюдений за состоянием агроэкосистем;
- получение объективной, систематической и оперативной информации по регламентированному набору обязательных показателей, характеризующих состояние и функционирование основных компонентов агроэкосистем;
- оценка получаемой информации;
- прогноз возможного изменения состояния данного агроценоза или системы их в ближайшей и отдаленной перспективе;
- выработка решений, рекомендаций, консультаций всех функциональных и организационных уровней; предупреждение возникновения экстремальных ситуаций и обоснование путей выхода из них; направленное управление эффективностью агроэкосистем.

Основными принципами агроэкологического мониторинга являются:

- ▶ **Комплексность**, то есть одновременный контроль за тремя группами показателей, отражающих наиболее существенные особенности variability агроэкосистем

(показатели ранней диагностики изменений; показатели, характеризующие сезонные или краткосрочные изменения; показатели долгосрочных изменений).

- ▶ **Непрерывность контроля** за агроэкосистемой, предусматривающая строгую периодичность наблюдений по каждому показателю с учетом возможных темпов и интенсивности его изменений.
- ▶ **Единство целей и задач исследований**, проводимых разными специалистами (агрометеорологами, агрохимиками, гидрологами, микробиологами, почвоведом и т.д.) по согласованным программам под единым научно-методическим руководством.
- ▶ **Системность исследований**, то есть одновременное исследование блока компонентов агроэкосистемы: атмосфера–вода–растение–животное–человек.
- ▶ **Достоверность исследований**, предусматривающая, что точность их должна перекрывать пространственное варьирование, сопровождаться оценкой достоверности различий.
- ▶ **Одновременность** (совмещение, сопряженность) **наблюдений** по системе объектов, расположенных в различных природных зонах.

Одним из методических приемов изучения природной среды является, как известно, разделение ее на определенные подсистемы (блоки) в зависимости от целей эксперимента. В качестве изучаемых вариантов, например, целесообразно использовать принятые системы земледелия, обеспечивающие различные уровни продуктивности агроэкосистемы.

В системе устойчивого развития агроэкосистем агроэкологический мониторинг занимает ведущее место (рис. 1.1.1). Важным условием повышения устойчивости экосистем (и особенно агроэкосистем) служит разработка, совершенствование и строгое соблюдение экологических нормативов, стандартов, правил и других регламентов, регулирующих хозяйственную деятельность по использованию ландшафтов. Величины предельно допустимых концентраций поллютантов, устанавливаемые по степени вредности веществ или рефлекторной реакции организма на них, являются наиболее распространенными показателями состояния загрязненности природной среды.

Одна из распространенных в настоящее время точек зрения заключается в том, что конечной целью экологического нормирования является стремление сохранить естественное течение сукцессионных процессов на основании определения норм состояния объекта посредством анализа параметров агроэкосистемы и интервалов их естественных колебаний, а также установления соответствующих пороговых и критических пределов. Этот этап называют экологической регламентацией. Следующий этап – это собственно экологическое нормирование. Заключается он в определении экологических нормативов на основе экологических регламентов.

Использование системы наиболее общих и симптоматичных интегральных параметров агроэкосистем позволяет оценивать отклонения от некоторого состояния, условно принимаемого за норму, а следовательно, – наблюдающуюся степень нарушения. При таком подходе анализу подлежит триада:

Фактор воздействия–свойства агроэкосистемы (устойчивость)–
степень воздействия (измененность).

Основными блок-компонентами агроэкосистем являются: атмосфера, вода, почва, растения. Проведение мониторинга по каждому из этих объектов имеет определенные особенности.

Почвенный экологический мониторинг состоит из трех последовательных взаимосвязанных частей:

- Контроль (наблюдение) за состоянием почв и почвенного покрова и оценка их пространственно-временных изменений.
- Прогноз вероятных изменений состояния почв и почвенного покрова.
- Научно обоснованные рекомендации по направленному регулированию основных средств и режимов в почвах, непосредственно определяющих их плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

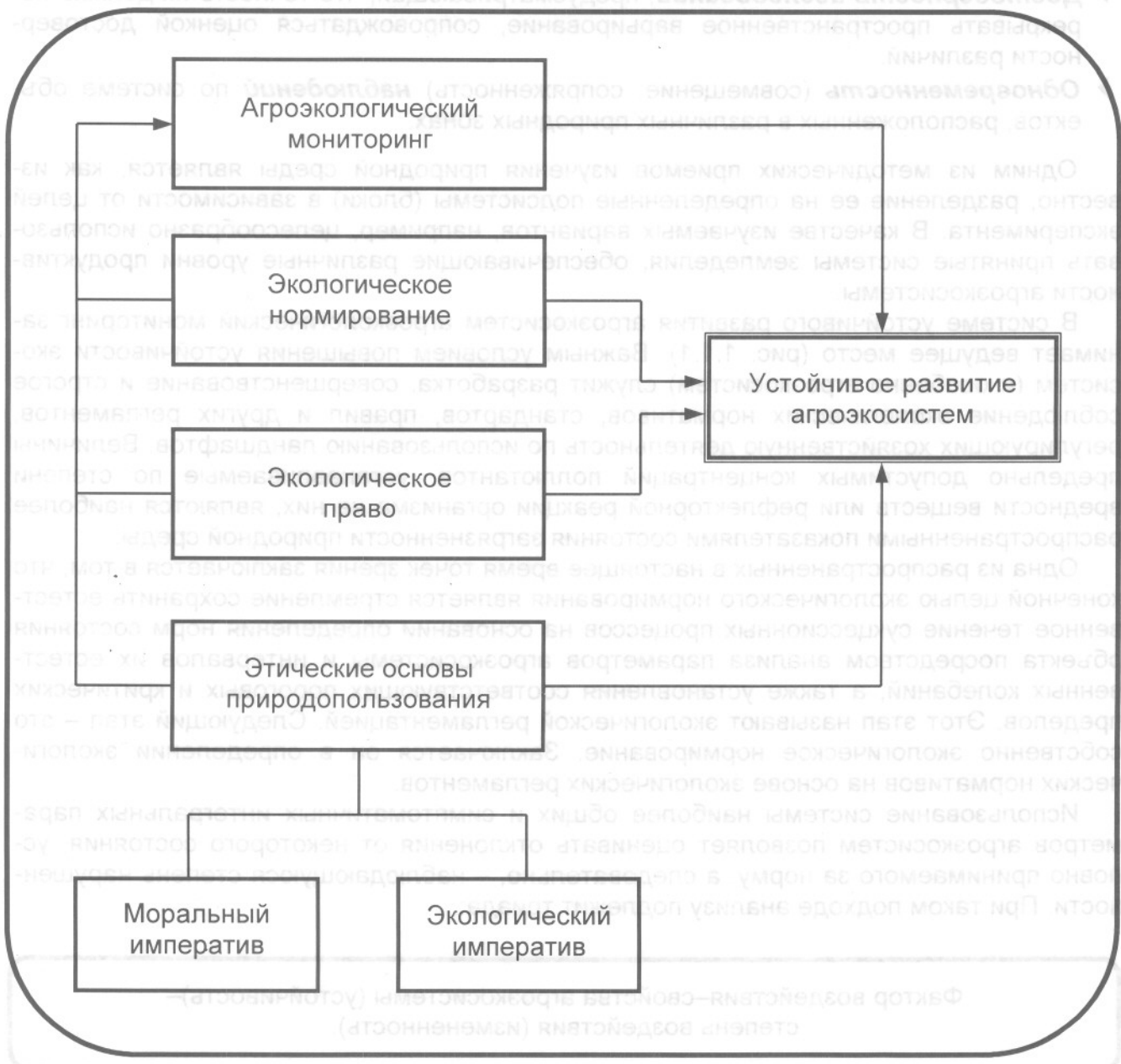


Рис. 1.1.1. Участие агроэкологического мониторинга в системе регуляции устойчивого развития агроэкосистем

Методологические предпосылки организации и проведения почвенно-экологического мониторинга определяются не только генезисом почв и структурой почвенного покрова, системами слежения за их состоянием (наземные, дистанционные), но и особенностями хозяйственного использования земельных угодий. **Необходимым условием успешного решения функциональных задач мониторинга является опережающее поступление информации о состоянии почв и почвенного покрова по отношению к сведениям о регулирующих воздействиях, направленных на рациональное использование почв (в частности, агротехнические, мелиоративные, противоэрозионные и другие мероприятия).**



Какие задачи решает почвенно-экологический мониторинг в системе устойчивого развития агроэкосистем?

Усиление негативных антропогенных воздействий, обуславливающих нарушение почв и снижение их плодородия, объективно диктует необходимость включать в программы почвенно-экологического мониторинга комплекс задач. Ориентировочный перечень их можно представить так:

- ▶ определение потерь почвы (в том числе скорости потерь) в связи с развитием водной эрозии и дефляции;
- ▶ контроль за изменением кислотности и щелочности почв (прежде всего, в районах с повышенными дозами внесения минеральных удобрений при осушении и орошении, а также при использовании мелиорантов и промышленных отходов, в окрестностях крупных промышленных центров, которые характеризуются высокой кислотностью атмосферных осадков);
- контроль за изменением водно-солевого режима и водно-солевых балансов мелиорируемых, удобряемых или каким-либо другим способом изменяемых почв;
- выявление регионов с нарушенным балансом основных элементов питания растений; обнаружение и оценка скорости потерь почвами гумуса, доступных форм азота и фосфора;
- контроль за загрязнением почв тяжелыми металлами, выпадающими с атмосферными осадками, и за локальным загрязнением их тяжелыми металлами в зонах влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей;
- контроль за загрязнением почв химическими средствами защиты растений в районах их постоянного использования (например, на рисовых полях);
- контроль за загрязнением почв детергентами и бытовыми отходами, особенно на территориях с высокой плотностью населения;
- сезонный и долгосрочный контроль за структурой почв и содержанием в них элементов питания растений, за водно-физическими свойствами и уровнем грунтовых вод;
- экспертная оценка вероятности изменения свойств почв при сооружении гидромелиоративных систем, внедрении новых систем земледелия и технологий, строительстве крупных промышленных предприятий и других объектов.

Для достижения репрезентативности наблюдений и объективности оценок состояния и изменений почвенно-агрохимических свойств почвенные обследования целесообразно проводить с периодичностью в 10–15 лет, а агрохимические – через 5 лет. Повторные работы такого рода (в инструктивных документах называемые корректировкой материалов ранее проведенных крупномасштабных почвенных обследований), с одной стороны, позволяют устранять недостатки и восполнять пробелы прежних на-

блюдений, а с другой – (что наиболее существенно) выявлять и фиксировать происшедшие изменения свойств почв и почвенного покрова вследствие антропогенных воздействий, развития процессов эрозии и т.д.

Структура агроэкологического мониторинга включает универсальные параметры, характеризующие каждый компонент агроэкосистемы. Важнейшая задача – получение высококачественной продукции – требует всестороннего и разноуровневого контроля. Токсические вещества, поступающие в результате деятельности человека в агроэкосистемы, через атмосферу, гидросферу и почву, включаясь в биогеохимические круговороты, транспортируются по цепочке:

**Растения–корма–продукты питания–организм животных–
организм человека.**



|| Почему должна контролироваться вся трофическая цепь?

Будучи одним из обязательных условий формирования системы целенаправленного управления производством экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, агроэкологический мониторинг должен основываться и на знании процессов биогеохимического круговорота веществ. При этом важна «емкость» мониторинга. В перечень показателей, подлежащих контролю, обязательно входят элементы, влияющие опосредственно или прямо на организм человека и животных. Возможное наличие биогенных элементов, тяжелых металлов и других ингредиентов следует контролировать в поливной и питьевой воде, растительной и животной продукции, лекарственном сырье; должен также осуществляться контроль за качеством продукции в процессе переработки и т.д. **По сути дела подконтрольной должна быть вся трофическая цепь.**

Для объективного учета биогеохимических особенностей территорий при проведении мониторинга целесообразно основываться на многолетних сведениях, в том числе: исторических (характер землепользования за период в 50 лет и более, начало эксплуатации земельного фонда, динамика уровней химизации и т.п.); агрохимических (сравнение с ранее взятыми почвенными монолитами анализов современных почв, особенно по содержанию микроэлементов, тяжелых металлов и др.); на климатических условиях, развитии процессов химического загрязнения воздуха и водных источников; на наличии естественных биогеохимических провинций.

1.2. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В систему экологической безопасности входит в первую очередь:

- охрана здоровья человека;
- сохранение и развитие духовного мира человека;
- охрана окружающей человека среды.

Основным условием решения этой проблемы является придание устойчивого развития всем компонентам биосферы, в том числе и человека, поскольку социальные взрывы происходят зачастую в регионах переуплотнения популяций. К этому необходимо еще добавить, что развитие, которое не является устойчивым, через

определенный промежуток времени приводит к полной деградации. Отсюда поиск путей управления устойчивым развитием природно-экологических комплексов является неотъемлемой жизненно важной системой жизнеобеспечения человека.

Согласно сложившимся определениям, под экосистемой понимается совокупность живых организмов в неорганической среде их обитания, занимающих определенное пространство и способных к саморегуляции.

Все экосистемы, как известно, характеризуются наличием:

- ➔ потоков энергии;
- ➔ трофических цепей;
- ➔ структур пространственно-временного разнообразия;
- ➔ биогеохимических круговоротов элементов;
- ➔ развития и эволюции;
- ➔ управления.

Антропогенный фактор в экосистеме реализуется в виде непосредственного воздействия на ее элементы, пищевые цепи, структуры, круговороты веществ и потоки энергии в ходе производственной деятельности, а также посредством происходящих изменений в природе, в частности, в атмосфере (повышение температуры, разрушение озонового экрана вследствие возрастания концентрации CO_2 , CH_4 , NO , SO , хлорфтористого углерода, выпадение кислотных осадков).



Что происходит в экосистеме в результате антропогенных воздействий на нее?

В результате воздействия антропогенных источников возмущения экосистем изменяются:

- ▶ свойства и режимы почвы;
- ▶ качество воздуха;
- ▶ запасы и качество воды;
- ▶ величина и качество сельскохозяйственной продукции;
- ▶ численность, видовое разнообразие, ареалы распространения, генотип биоты и ее физиолого-метаболическая активность.

Сама же экосистема приобретает ряд специфических характеристик, свойственных конкретным типам хозяйственной деятельности. Так, при аграрном типе антропогенного фактора экосистема трансформируется в агроэкосистему (рис. 1.2.1), которая представляет собой часть наземной экосистемы, находящуюся под влиянием сельскохозяйственной деятельности человека; структура и способ ее **функционирования регулируются с помощью импорта вещества и энергии** с целью поддержания состояния наивысшей продуктивности и предотвращения сукцессии.

Функционирование агроэкосистемы предполагает наличие разной по интенсивности и продолжительности постоянной антропогенной нагрузки на составляющие ее компоненты.

Поэтому, чтобы предотвратить возможность необратимых изменений в агроэкосистеме, важно предвидеть результат этих воздействий, исходя из *величины предельно допустимых нагрузок*, а также *учитывая механизмы адаптации и уровня устойчивости* слагаемых агроэкосистемы к природным и антропогенным нагрузкам.

Производственная, в том числе и сельскохозяйственная деятельность человека осуществляется в границах целостных природных образований – ландшафтов. Ландшафт – территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных или природных и антропогенных компонентов, а также комплексов более низкого таксономического ранга:

- наиболее общий целостный объект охраны природы;
- ресурсосберегающая и ресурсовоспроизводящая система;
- среда жизни и деятельности человека;
- хранилище генофонда;
- природная лаборатория и источник эстетического восприятия.

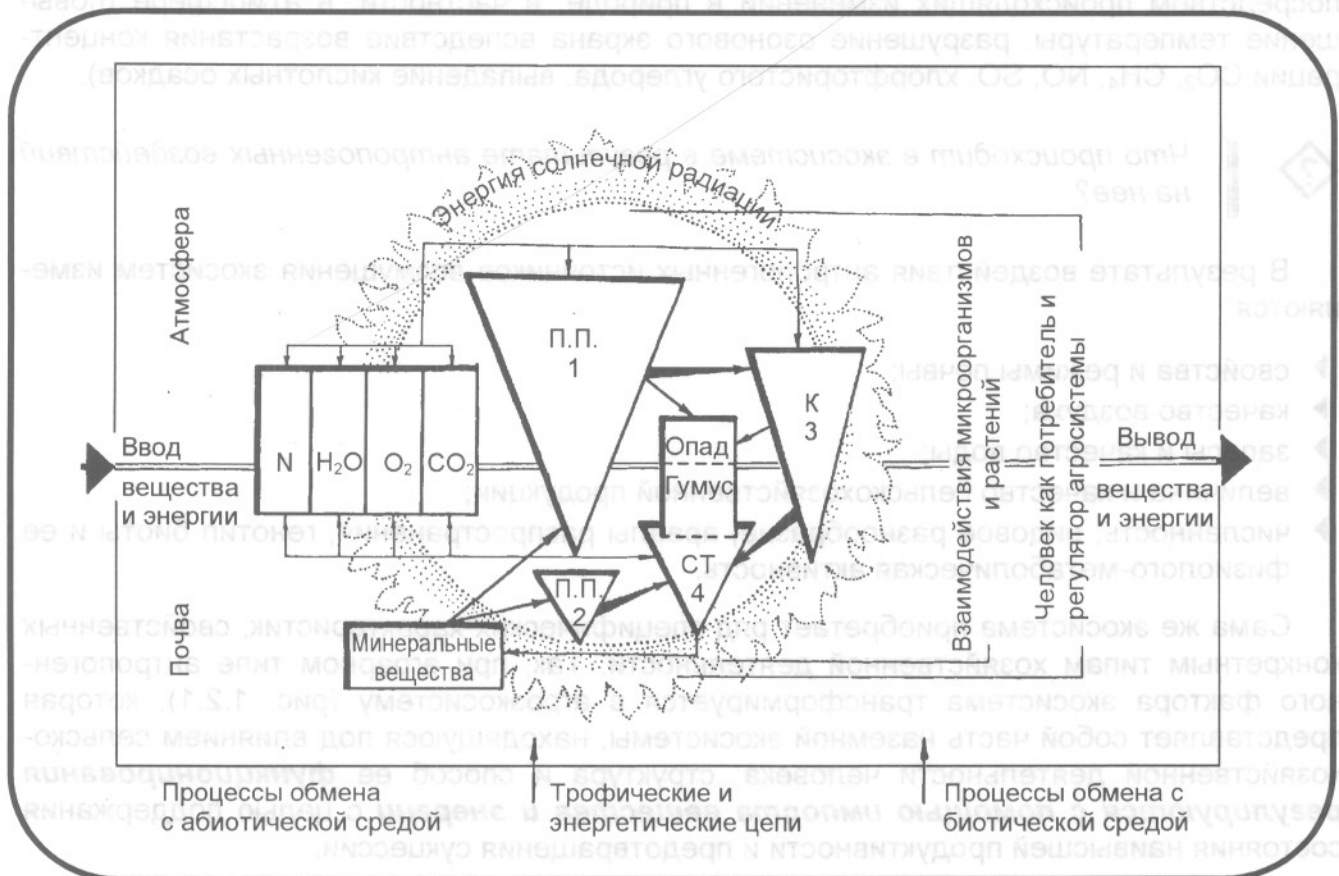


Рис. 1.2.1. Схема согласования циклов веществ и энергии в биосфере и их взаимодействие: 1 – первичные продуценты (растения); 2 – первичные продуценты (почвенная биота); 3 – консументы; 4 – сапротиты

Наиболее общий целостный объект охраны природы с этой точки зрения рассматривается как ресурсосодержащая и ресурсовоспроизводящая система, среда жизни и деятельности человека, хранилище генофонда; природная лаборатория и источник эстетического восприятия. **Это – территория, однородная по происхождению и истории развития, обладающая единым геологическим основанием, однотипным рельефом, единообразным сочетанием почв, растительности и отличающаяся от других территорий структурой, характером взаимосвязи и взаимодействия между отдельными компонентами этой территории. По различным основаниям выделяют природные и антропогенные, культурные и акультурные, степные, горные, лесные, болотные и другие ландшафты, в том числе и агроландшафты.**

Агроландшафты – антропогенные ландшафты с преобладанием в их биотической части сообществ живых организмов, искусственно сформированных человеком (антробιοценозов) и заменивших естественные фито- и зооценозы на большей части территории. В более узкой трактовке под агроландшафтом понимают ландшафт, на большей части которого естественная растительность заменена посевами и посадками сельскохозяйственных растений, под агроландшафтами понимают также пейзажи сельской местности.

Наряду с аргументированным объяснением различных реальных и возможных ситуаций необходимы дельные рекомендации по организации рационального природопользования и предотвращению отрицательных последствий, обусловленных непродуманным вмешательством в окружающую среду и ее непредвиденными изменениями.

В сфере аграрного производства исторически осуществляется постоянный процесс конструирования искусственного биогеоценотического покрова, реализуемый путем разработки и внедрения различных систем земледелия. И здесь в первую очередь необходимо разумно учитывать и максимально использовать естественный базис производства, определяемый ландшафтными особенностями конкретной территории. В ряду многоплановых аспектов столь актуальной проблемы как экологизация сельского хозяйства, грамотные учет и оценка ландшафтной доминанты являются основополагающими и требуют первоочередного внимания.

1.3. ЦЕЛОСТНОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ

Оптимизация природной среды – это поиск сбалансированного соотношения между эксплуатацией экосистем (при рациональном использовании естественных ресурсов), их охраной и целенаправленным преобразованием. Между тем деятельность человека приводит к значительным и устойчивым изменениям природной среды. В агроэкосистемах, как известно, к таковым относят:

- ▶ процессы эрозии и дефляции почв;
- ▶ загрязнение почв и природных вод химическими веществами, вымываемыми из минеральных удобрений и пестицидов;
- ▶ эвтрофикация водоемов;

- ▶ уплотнение, подкисление и понижение биологической активности почв;
- ▶ изменение видового состава, численности и распределения флоры и фауны.

Охрана и рациональное использование отдельных компонентов природной среды не имеет реального смысла вне оптимизации более сложных целостных территориальных единиц, какой и является ландшафт.

Рассматривая предпосылки формирования устойчивых агроэкосистем, необходимо основываться на **ландшафтно-экологическом подходе**, который предполагает:

- ➔ изучение природных явлений и процессов и инвентаризацию их ресурсного потенциала;
- ➔ оценку природных систем применительно к возможным видам использования;
- ➔ прогнозирование вероятных изменений природных комплексов в результате их использования;
- ➔ разработку подходов к управлению процессами изменения природных комплексов из-за антропогенного воздействия, определение путей и способов их регулирования;
- ➔ обоснование и разработку рекомендаций по оптимизации агроландшафтов.

Природные системы (экосистемы) характеризуются рядом свойств, определяющих их (систем) отношение к внешним воздействиям. Это:

- целостность;
- устойчивость;
- эластичность;
- инерция;
- емкость;
- допустимые пределы изменений.



|| В чем суть изменчивости, трансформации и развития экосистем?

Под **изменчивостью** понимают способность экосистем под влиянием внешних сил или факторов саморазвития переходить из одного состояния в другое. По глубине **трансформации** систем различают изменения в ходе функционирования, динамики и развития. Функционирование – это совокупность процессов передачи и превращения вещества и энергии, поддерживающая систему в определенном состоянии. Здесь происходят небольшие количественные изменения, которые носят ритмичный суточный и сезонный характер. Динамика представляет собой обратимые изменения, которые происходят в рамках структуры системы. Сюда, например, относят многолетние периодические колебания, так называемые «восстановительные смены». В процессе динамики по сравнению с функционированием происходят более глубокие изменения. Но они не ведут к качественной перестройке структуры, а лишь медленно подготавливают ее. **Развитие (эволюция)** – это необратимые изменения систем с коренной перестройкой структуры и формированием новых ландшафтов, что связано как с внешними воздействиями (природными и антропогенными), так и внутренними ценотическими (саморазвитие); такие экосистемы теряют устойчивость.

При интенсивном сельскохозяйственном использовании земельного фонда, когда равновесие в агроэкосистемах поддерживается искусственно, необходимо знать и учитывать структуру агроландшафтов, их системообразующие свойства. Основным «целевым свойством» ландшафта является **экологический потенциал** – интегральная предпосылка его использования. Он характеризует способность ландшафта соответствовать требованиям, предъявленным к нему человеком. Во всех случаях организация агроэкосистем должна быть дифференцирована по типам и видам ландшафтов, основываться на зонально-провинциальных особенностях, типологических и индивидуальных свойствах.

Особенно важно, чтобы намечаемые хозяйственные нагрузки на агроэкосистемы регулировались в соответствии с их природной структурой.

В противном случае, особенно в агроэкосистемах с неустойчивым природным равновесием, несоответствие сложившейся специализации сельского хозяйства потенциальным возможностям ландшафтного ресурса приводит к возникновению и развитию негативных процессов – потере агроэкосистемами устойчивости, нарушению ландшафтно-экологического равновесия на данной территории и т.д. Поэтому необходимо сопоставлять существенные функциональные структуры ландшафта и его потенциал, определять целесообразные направления рационального использования потенциала.

В этих целях требуется оценить:

- ▶ направление и скорость естественного развития каждого элемента ландшафта;
- ▶ изменение как отдельных компонентов, так и всей агроэкосистемы под влиянием производственной деятельности;
- ▶ вероятное развитие форм использования природного потенциала.

Ландшафтное прогнозирование предполагает функциональное разграничение ландшафтных образований (процесс пространственного дифференцирования деятельности человека, придающей структурным участкам определенные функции). Например, в агроландшафте охрана и воспроизводство потенциала почвенного плодородия должны быть главными функциями, а затем решаются вопросы размещения сельскохозяйственного производства, формирования инфраструктуры и др.

При выборе параметров состояния агроэкосистем для целей экологического нормирования важно учитывать ряд особенностей:

- ➔ достаточно высокую степень интегрированности и универсальности параметра;
- ➔ адекватную реакцию параметра на разные формы и интенсивность воздействия того или иного фактора на данную систему;
- ➔ высокую степень информативности; выбираемые методы определения параметра не должны вносить существенных изменений в агроэкосистему.

1.4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА И ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

В процессе длительной эволюции у естественных экосистем выработалась **способность к саморегуляции и самовосстановлению**. При трансформации же естественных экосистем в агроэкосистемы значительно изменяются вещественно-энергетические и информационные связи, в том числе и во всем агроландшафте.

Такие ландшафты, нарушенные выше допустимых пределов (норм), теряют способность к самовоспроизводству основных компонентов и в итоге быстро деградируют.

Современный агроландшафт – это не просто преобразованный (модифицированный) природно-территориальный комплекс, а многокомпонентное образование со специфическими природно-хозяйственным генезисом, фитоценотическим обликом, экологической ситуацией.

Будущее агроландшафтов во многом зависит от территориальной и организационной согласованности природных и антропогенных структур, но в первую очередь, – от хозяйственной деятельности. Еще В.В.Докучаев обращал внимание на необходимость территориальной дифференциации и адаптации землепользования как по ландшафтными зонам, так и по «типам местности природы».

Принципы построения агроландшафтов, имеющие практическое значение и основанные на «самовосстановлении» и «самоочищении» агроэкосистем и их компонентов, можно свести к следующим:

- ▶ **Принцип адекватности.** Производственная деятельность в агроландшафтах должна функционально соответствовать функциям биосферы, то есть быть адекватной природным закономерностям окружающей среды. Это может достигаться применением прогрессивных систем земледелия (выделение севооборотов с многолетними травами на склонах, замена вспашки бесплужной обработкой и другие агротехнические приемы) с учетом экологических особенностей структуры сложившихся естественных ландшафтов.
- ▶ **Принцип совместимости.** Компоненты (элементы) территории агроландшафтов проектируются и создаются с учетом природно-антропогенной совместимости. Суть в том, чтобы элементы территории агроландшафтов были органически взаимосвязаны и представляли единую систему, согласованную со строением природных комплексов и хозяйственной деятельностью.

Примером недостаточного учета фактора природно-антропогенной совместимости при формировании ландшафтов может служить проектирование крупных прямоугольных клеток – полей на сложных формах склонов. Между тем целесообразно было проектировать поля в виде горизонтально-контурных и полосных микрозон.

- ▶ **Принцип соответствия фитоценозов местообитанию.** При структурировании агроландшафта важно грамотно выбрать место размещения посевов и посадок различных групп сельскохозяйственных растений на неоднородных по экологическим свойствам и расположению участках возделываемых земель. Требуется также учитывать биологические особенности имеющегося набора культур, чтобы обеспечить повышение их урожайности при одновременном сохранении плодо-

родия почв. Практическую реализацию этого принципа следует рассматривать как необходимое условие формирования устойчивых агроэкосистем. Вышесказанное наглядно подтверждают материалы таблиц 1.4.1–1.4.3. Так, в первом случае (табл. 1.4.1) на основании десятилетних данных отчетливо прослеживается изменение урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных условий. Таблица 1.4.3 подтверждает необходимость учета природоохранных ограничений при формировании агроэкосистем.

Таблица 1.4.1

Урожайность основных сельскохозяйственных культур в зависимости от условий рельефа, ц/га (по: [Варламов и Волков, 1991])

Коэффициент расчлененности, км/км ²	Озимая пшеница	Ячмень	Сахарная свекла	Кукуруза (зеленая масса)
0,3–0,4	24,4	22,7	287	312
0,7–0,8	21,5	20,4	261	296
1,1–1,2	19,7	18,8	256	279
1,5–1,6	17,4	16,5	224	257

Таблица 1.4.2

Сравнительная пригодность почв для возделывания сельскохозяйственных культур (по: [Варламов и Волков, 1991])

Культура	Почвы по механическому составу							
	песчаные	легко-суглинистые	супесчаные	легко-суглинистые	суглинистые	Тяжело-суглинистые	глинистые	тяжелоглинистые
Пшеница	П	П	Р	Л	Л	Л	Р	Д
Рожь	Р	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Р
Овес	Д	Р	Л	Л	Л	Л	Л	Р
Ячмень	Д	Д	Л	Л	Л	Л	Р	Д
Просо	Д	Л	Л	Л	Л	Л	Р	Д
Кукуруза	П	Л	Л	Л	Л	Л	Р	Д
Гречиха	Д	Л	Л	Л	Л	Р	Р	Д
Картофель	П	Л	Л	Л	Л	Л	Р	Д
Лен	П	П	Д	Р	Л	Л	Р	Д
Свекла	П	Д	Р	Л	Л	Л	Р	Д
Капуста	П	Д	Р	Л	Л	Л	Р	Д
Морковь	Д	Р	Л	Л	Р	Л	Р	Д

Условные обозначения. Условия произрастания культур: Л – лучше всего; Р – неплохое; Д – в благоприятные годы может дать неплохой урожай; П – размещение противопоказано.

Таблица 1.4.3

Сравнительная пригодность антропогенно обусловленных участков для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом природоохранных ограничений

Зоны антропогенного воздействия	Степень пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур							
	зерновые	картофель	лен	сахарная свекла	силосные	травы, в том числе		
						сено, сенаж	з. к.	выпас
Почвоохранные осушенные торфяники (м):								
до 1,	2	0	0	0	0	3	3	2
до 1–2,	3	2	0	2	0	3	3	1
более 2.	3	2	0	2	0	3	3	1
Почвы с маломощным гумусовым горизонтом	2	1	0	1	1	2	2	0
Почвы легкого мехсостава, подверженные дефляции почвы, подверженные водной эрозии:								
в слабой степени,	3	2	3	2	2	3	3	2
средней,	2	1	2	1	1	2	2	1
сильной.	1	0	1	0	0	2	2	0
Водоохранные:								
2-й пояс зоны санитарной охраны подземного водозабора,	1	0	0	0	0	2	2	2
2-й пояс зоны санитарной охраны открытого водозабора,	1	0	0	0	0	2	2	0
водоохранные зоны малых рек,	2	2	2	2	2	3	3	2
прибрежные полосы малых рек.	0	0	0	0	0	2	2	0
Территории, загрязняемые:								
стоками животноводческих комплексов и ферм,	1	1	2	1	1	2	0	0
промышленными объектами,	2	1	3	1	1	2	1	0
вдоль автодорог с интенсивным движением.	1	0	3	0	1	1	0	0

Условные обозначения: 0 – непригодность, 1 – малопригодные, 2 – пригодные, 3 – наиболее пригодные.

- ▶ **Принцип приоритета фитомелиорации.** При формировании почвоохранных, самовосстанавливающихся и самоочищающихся агроландшафтов и агроэкосистем ведущая роль должна принадлежать фитомелиорации. В этом случае создаются условия для выполнения одного из важнейших законов земледелия – **закона минимума**. Так, ограничивающим фактором часто является дефицит почвенной влаги. Растительная же мелиорация способствует формированию более устойчивого влагооборота в агроэкосистемах. С учетом сказанного, практическая задача организации территории агроландшафта заключается в определении разумного соотношения между полем, лугом, лесом в увязке с другими компонентами.
- ▶ **Принцип пространственного и видового разнообразия.** Агроэкосистемы должны создаваться с учетом требования пространственного и видового разнообразия среды.

Существует закономерность, согласно которой, чем разнообразнее и сложнее структура агроландшафта, тем выше его устойчивость, способность противостоять различным внешним воздействиям.

Сохранение, например, естественных компонентов улучшает микроклимат, способствует увеличению животного населения. В частности, расселяется больше птиц, поедающих грызунов, питающихся насекомыми. Ландшафты с большим видовым разнообразием лучше самовосстанавливаются и самоочищаются, поскольку сложная «мозаичность» их строения способствует поддержанию их устойчивости как природного, так и природно-антропогенного равновесия.

- ▶ **Принципы оптимизации структуры и соотношения земельных угодий.** При землеустройстве агроландшафтов для определенного сельскохозяйственного региона землепользования в соответствии с местными природными условиями устанавливаются (должны устанавливаться) экологически и экономически обоснованные структура и соотношение размеров площадей пашни, лугов, леса и вод. По этому поводу сложились различные суждения. Представляет, в частности, интерес предложенная Н.Ф.Реймерсом (1990) схема соотношений площадей естественных и преобразованных экосистем (рис. 1.4.1). Согласно рисунку, целесообразное экологическое равновесие (100% полезностей) возникает при соотношении 60 (естественные) и 40% (преобразованные экосистемы). Заслуживает также внимания разработка норм оптимального сочетания биотических составляющих ландшафта и технологических условий территории. Так, поля как важнейший элемент агроландшафта должны быть оптимальны по размеру, обеспечивая, с одной стороны, производительное использование сельскохозяйственных машин, а с другой – уменьшение уплотняющего воздействия техники на почву. Критерием правильного решения задачи является устойчивость сформированного ландшафта. В этом соотношении привлекательным представляется предложенное А.А.Варламовым и С.Н.Волковым (1991) понятие **экологически устойчивый участок (ЭУУ)**.

ЭУУ – территория, выделенная с учетом однородности характеристик ее природных ресурсов, комплексности их действия и сохраняющая свои ландшафтные особенности в процессе хозяйственного использования.

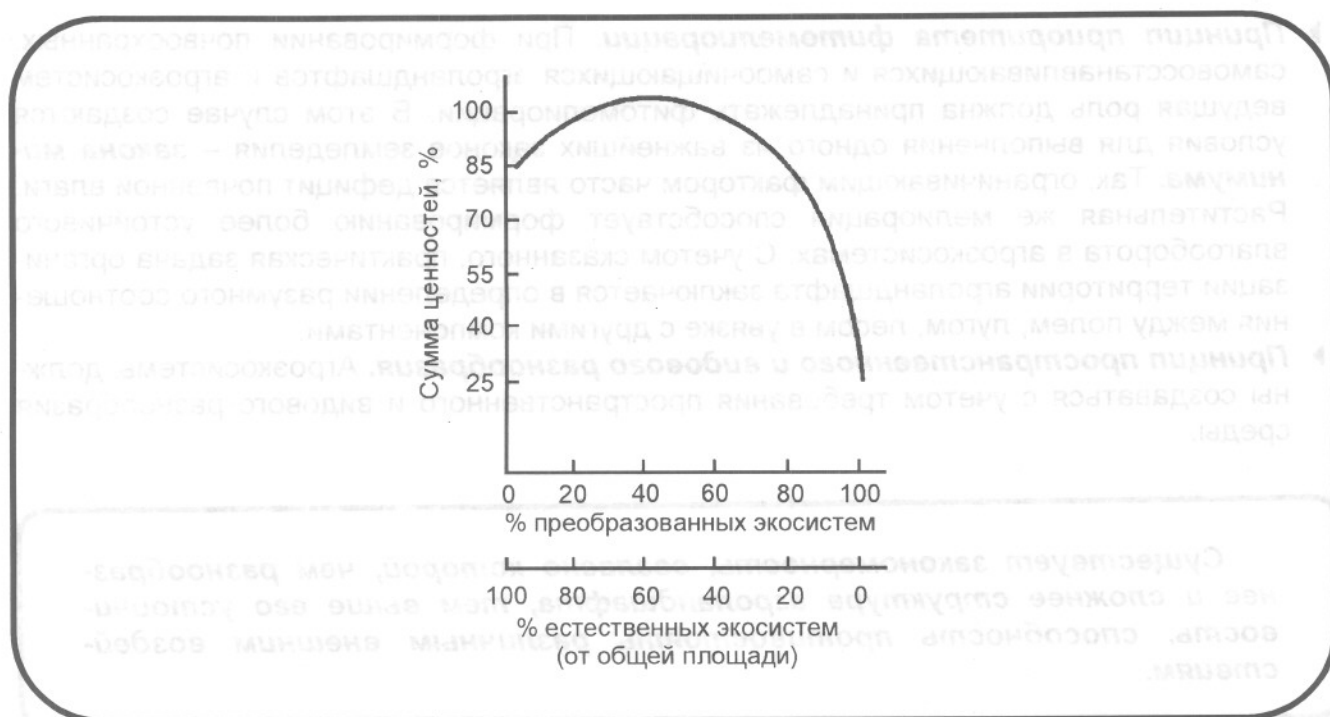


Рис. 1.4.1. Суммарный эколого-социально-экономический эффект при различных соотношениях площадей преобразованных и естественных экосистем

Если в процессе хозяйственного использования обеспечивается возможность прекращения или ослабления негативного воздействия физико-географических и социально-экономических условий на почвенные, водные и растительные ресурсы (эрозия, засоление и уплотнение почв, осушение местности, зарастание сельскохозяйственных угодий лесом и кустарником, ухудшение условий существования флоры и фауны и т.д.), то пространственное расположение участка сохраняется, но его потенциал и экономическая оценка увеличиваются. В конечном счете сохраняются организация территории участка и устойчивость использования его отдельных ресурсов. При этом не ограничиваются возможности роста экономического плодородия почв и дифференциального дохода с участков.

1.5. ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Целевая установка сельского хозяйства объективно направлена на получение максимума биологической продукции. Сообразно этому и развиваются (да и будут развиваться) аграрные производственные системы. Между тем, как известно, сугубо технократический подход к необходимому процессу интенсификации производства в аграрном секторе вступил в серьезные противоречия с возможностями поддержания природно-антропогенного равновесия. В конечном итоге сработал принцип бумеранга в виде негативных последствий для экологического состояния и продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Незатейливый факт. В районах сплошной распашки земель и неоднократного проведения химических обработок посевов ощущается столь существенный недостаток энтомофагов (насекомоядных организмов) и опылителей, что возникает угроза существованию природных биоценозов, формированию урожая культурных растений.

Возможности современной экологической науки позволяют совершенствовать существующие и разрабатывать новые методы ведения сельскохозяйственного производства, открывая дополнительные резервы в растениеводстве и животноводстве для стабилизации агроландшафтов.

Важные условия экологизации сельского хозяйства – использование биоценологических экосистемных принципов. Организация агроландшафтных комплексов и севооборотов должна быть направлена на поддержку целостности биоценологических систем и развитие различных трофических уровней. От практики поддержания на полях только продуцентов – культурных растений – следует переходить к более полному и активному использованию естественных регуляторных механизмов в агроценозах.

В первую очередь необходимы анализ и учет ландшафтно-экологических особенностей конкретной территории. Создаваемые агроландшафты функционируют в соответствии с природными закономерностями данного района. Основой для анализа ландшафтной неоднородности и изменчивости земельного фонда в процессе его сельскохозяйственного использования служат материалы количественного и качественного учета состояния агроэкосистем. Пока же степень изученности почвенных условий в разных ландшафтах неодинакова. Слаба обеспеченность аграрного сектора базовыми природными картами (геоморфологической, почвенной, геоботанической, ландшафтной).



|| Почему важно регулировать хозяйственные нагрузки на ландшафт с учетом его природной структуры?

Ландшафтно-экологический анализ агроландшафта должен основываться на знании его морфологических компонентов (типологическое картографирование), **региональных различий** (районирования), **учете многочисленных взаимосвязей** (баланс веществ и энергии). Особенно важно регулировать намечаемые хозяйственные нагрузки на ландшафт, соотносясь с его природной структурой. В противном случае, особенно в ландшафтах с неустойчивым природным равновесием, несоответствие сложившейся специализации сельского хозяйства потенциальным ресурсным возможностям ландшафта приводит к возникновению и развитию негативных процессов, к нарушению природно-антропогенного равновесия на данной территории.

Наряду с влиянием антропогенных факторов нужно учитывать и естественные тенденции развития ландшафтов, **возможности проявления неблагоприятных природных процессов в сельском хозяйстве**. Последние воздействуют медленнее, но масштабнее (изменение климата, сейсмичность, процессы эрозии и др.). Рациональ-

ным можно считать такое воздействие, при котором обеспечивается правильный ресурсооборот, расширенное воспроизводство возобновляемых ресурсов ландшафта (повышение плодородия почвы, продуктивности естественных и культурных фитоценозов и др.). Анализ ландшафтной неоднородности и изменчивости – многоступенчатая система подходов к раздельной оценке природных компонентов и всего ландшафтного комплекса.

В агроэкосистемах происходят изменения как отдельных биотических компонентов, так и трансформация системы в целом. При этом нарушаются ее внутренняя структура и функционирование, обеспечивающие определенную устойчивость с помощью различных механизмов самоорганизации и самовоспроизводства. Для определения происходящих и возможных изменений перспективной является разработка интегральных параметров, характеризующих структурно-функциональную организацию агроэкосистем по их биотической компоненте.



Задание 1.5.1. Назовите десять признаков круговорота веществ, вовлеченных в биологические циклы экосистем. Дайте им краткую характеристику, включая единицы измерения процессов.

Такого рода характеристики отражают процессы создания, использования, разрушения и остаточного накопления биотической продукции различных категорий (первичной, вторичной, остаточной, мертвой), а также некоторые этапы круговорота веществ, вовлеченных в биологические циклы:

■ **Запас живой биомассы** (фито-, зоо- и микробиомассы в г/м² или т/га абсолютно сухого веса).

Под биомассой понимается общее количество живого органического вещества, накопленного к данному моменту.

Кроме абсолютных показателей, могут применяться отнесенные к единице площади соотношения биомассы различных групп организмов или их частей.

■ **Запас мертвого органического вещества**, заключенного в сухостое, валеже, отмерших органах (сухие, но не отпавшие ветви на деревьях, кустах: ветошь у травянистых растений), а также накопившегося в лесной подстилке, торфяном горизонте почв, в степном войлоке. Мертвое органическое вещество включает также трупы животных, грибы и гумус почв.

■ **Интегральная характеристика структуры органического вещества агроэкосистемы** определяется как соотношение запасов гумуса, фитомассы, зоомассы и биомассы (микроорганизмы). Представляется в виде формулы «органического вещества агроэкосистемы».

Показатели функционирования агроэкосистем также должны учитываться при оценке их состояния. Под функционированием понимается смена состояний системы, определяемая изменениями в годичном цикле запасов веществ и интенсивностей потоков. В основе функционирования экосистем лежит биологический круговорот, осуществляющийся по следующей типовой схеме: на «восходящей ветви» происходит создание первичной продукции при одновременном расходе ее на дыхание; на «нисходящей ветви» идет потребление фитофагами, отмирание и деструкция.

■ **Оценка текущего функционирования автотрофных и гетеротрофных компонентов** проводится по величинам первичной и вторичной продуктивности, а

также их соотношению. **Величина чистой первичной продукции** ($\text{г/м}^2 \times \text{год}$ или сутки, $\text{т/га} \times \text{год}$) – продукция автотрофных организмов, которая практически совпадает с продуктивностью фитоценоза. Она определяет энергетический потенциал системы и характеризуется количеством органического вещества (фитомассы), образуемого за год в наземной и подземной сфере сообщества за вычетом части, затраченной на дыхание. Фактически – это годичный прирост.

Величина вторичной продукции включает в себя продуцирование зоомассы и фитомассы гетеротрофными организмами.

Позволяет оценить «вклад» разных групп консументов и редуцентов в отчуждении фитомассы из годичного прироста, в деструкции и минерализации растительных остатков. Отношение первичной продукции к вторичной отражает сбалансированность биологической продукции.

■ **Опад** ($\text{г/м}^2 \times \text{год}$, $\text{т/га} \times \text{год}$) – количество органического вещества, заключенного во всех ежегодно отмирающих наземных и подземных частях растений.

■ **Истинный прирост** ($\text{т/га} \times \text{год}$) – количество органического вещества, остающееся в сообществе в результате годичного прироста, за вычетом опада.

■ **Скорость воспроизводства органического вещества** – отношение величины первичной продукции к запасу живой фитомассы (в %). Наибольшая – в луговой степи, наименьшая – в лесу. Чем меньше этот показатель, тем больше задержка веществ и дальнейшая их консервация. Увеличение показателя свидетельствует о высоком динамизме процессов.

■ **Скорость общего оборота органического вещества** – отношение величины запаса живого и мертвого органического вещества (включая и не включая гумус) к продукции (в %). Этот критерий позволяет выявить подвижность каждой единицы органического вещества при прохождении этапов трансформирования продукции. Например, она минимальная в полярном и бореальном поясах и почти на порядок выше в луговой степи и пустыне.

■ **Скорость деструктивных процессов.** Этим процессам принадлежит важная роль в биологическом круговороте наземных систем, поскольку преобладающая часть биологической продукции трансформируется в форме детрита под действием различных деструктивных агентов, минуя трофические цепи растительноядных организмов.

Потребление животными продукции фитомассы составляет всего лишь единицы процентов, а порядка 88–99% первичной продукции поступает в почвенную детритную подсистему.

В качестве показателя скорости деструкционных процессов применяется отношение ежегодного поступления мертвой массы к ее запасу (**опадно-подстилочный коэффициент, выражаемый в %**).

■ В дополнение к основным показателям рекомендуются параметры, связанные с изменением **биогеохимического цикла**, особенно в условиях техногенеза. Это, в частности, показатели содержания химических элементов в органическом веществе:

- годичное потребление (накопление) химических элементов, $\text{кг/га} \times \text{год}$;

- годичный возврат химических элементов с опадом, кг/га×год;
- количество элементов, которое ежегодно удерживается в фитоценозе (определяется как разница между потреблением химических элементов и их возвратом, кг/га×год).

(Показатели эти рассчитываются умножением веса отдельных структурных компонентов на содержание того или иного химического элемента в единице учета).

Определение основных показателей функционирования систем позволяет исследовать происходящие в них внутренние процессы формирования первичной продукции, последующих потребления и разложения. Взаимодействие с абиотическими компонентами обуславливает круговорот питательных элементов и потоки энергии. Использование экосистемного подхода предполагает, что анализируемый сельскохозяйственный объект состоит из взаимодействующих компонентов, которые образуют систему с характерными для данного уровня организации свойствами.



Какими отличительными признаками обладают агроэкосистемы и по каким параметрам оценивают их функционирование?

Агроэкосистема имеет определенный состав, структуру и режим, которые поддерживаются и регулируются человеком. При отсутствии контроля со стороны человека она постепенно теряет свои свойства. Естественно, что без знания структуры и функционирования агроэкосистем на балансово-вещественно-энергетическом уровне принимаемые меры управления могут оказаться несостоятельными и даже вредными. Функции экосистем целесообразно анализировать в следующих направлениях:

- ➔ потоки энергии;
- ➔ пищевые цепи и сети;
- ➔ структура пространственного разнообразия;
- ➔ круговороты питательных элементов;
- ➔ развитие и эволюция.

Агроэкосистемы – это природные системы, измененные под воздействием соответствующих технологических и социальных факторов. Создание агроэкосистем преследует в первую очередь экономические цели – устойчивое производство сельскохозяйственной продукции. При этом достаточно очевидна необходимость гармоничного сочетания экономических интересов с экологическими требованиями. По существу управление сельским хозяйством адекватно управлению агроэкосистемами.

Основным организующим началом в любой агроэкосистеме является взаимодействие между производством и потреблением. Поэтому, учитывая, что внутренние регулирующие механизмы те же, что свойственны природным экосистемам, поддержание самоорганизующихся процессов в агроэкосистемах способствует уменьшению вещественно-энергетических затрат на внешние (антропогенные) регулирования. Взаимодействия на трофическом уровне могут быть упорядочены посредством влияния на цепи питания. При этом основное внимание должно уделяться физиологическим аспектам:

- процессам роста и развития;
- переносу энергии;
- круговороту питательных веществ;
- регулированию рождаемости и смертности популяции.

Регулирование продукционного процесса, направленное на рост продуктивности и повышение устойчивости агроэкосистем, – задача первостепенной важности.

Интенсификация сельскохозяйственного производства на экологических началах – процесс многоплановый. Это обстоятельство предопределяет возможность применения нескольких принципиально различных и взаимодополняющих подходов.

Один из них – перестройка структуры фитоценозов. Например, вместо традиционных монокультур – одновидовых посевов – можно внедрять поликультурные посевы, основываясь на принципе дифференциации растений по экологическим нишам. Такие поля более выгодны энергетически. На них можно получать разнообразные и неоднократные урожаи в течение вегетационного периода. Наряду с продуктивностью при этом обеспечивается большая устойчивость посевов.

Перспективно также применение **севооборота с формированием горизонтальной ротации культур**. В этом случае создается пространственно-разнородный агрофитоценоз, который может поддерживать постоянный резерв разнообразных энтомофагов. Эффективное и рациональное использование многолетних плодосмен, организованных по типу протекания сукцессий, – от однолетних до древесных культур. Это позволяет меньше вмешиваться в жизнь почвы, беречь ресурсы, максимально использовать естественные восстановительные процессы, что особенно актуально при вовлечении в хозяйственный оборот нарушенных площадей. Следует учитывать, что **устойчивость к сорнякам выше не у максимально выравненных по генетическим качествам сортов, а у гетерогенных сортов хозяйственных видов**.

По этой причине основным принципом биологической борьбы с сорняками должен стать максимальный захват культурными растениями экологических ниш во времени и в пространстве.

1.6. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ АГРОЛАНДШАФТОВ В ЦЕЛЯХ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ

Сельскохозяйственная организация территории должна осуществляться с учетом ее ландшафтно-типологических и региональных различий. Одной из важнейших функций рациональной организации территории является формирование такого морфологического облика агроландшафта, который отличался бы не только высокой продуктивностью, но и экологическим разнообразием, эстетической привлекательностью и удовлетворял бы санитарно-гигиеническим требованиям.

С экологических позиций современный ландшафт понимается как целостная система взаимосвязей и взаимодействий слагающих его компонентов.

В соответствии с приведшейся ранее общей трактовкой понятие устойчивости – устойчивость ландшафта может рассматриваться как способность сохранять свои структуру и функции при внешних воздействиях.

Под оптимальным ландшафтом понимают ландшафт, структура и функции которого максимально соответствуют возможностям и потребностям нормального сбалансированного развития отдельных его компонентов или же определенным целям его использования.

Соответственно этому положению оптимизация ландшафта это:

- ▶ комплекс мероприятий по сохранению или модификации существующих связей и формированию новых между различными составляющими ландшафта в целях рационального его использования;
- ▶ сохранение полезных свойств (в том числе природных ресурсов) ландшафта и предупреждение возможной их утраты;
- ▶ установление максимально полного соответствия природного потенциала ландшафта социально-экономическим функциям, задаваемым ему человеком.

В оптимизации техногенных ландшафтов главное место занимает целенаправленное восстановление или реконструкция природно-техногенных комплексов, обеспечивающая возобновление и повышение их продуктивности, природоохранительной, хозяйственной, санитарно-оздоровительной и эстетической ценности.



Какие пять требований необходимо учитывать при оценке экологической устойчивости ландшафта?

При оценке экологической устойчивости и оптимизации ландшафта рекомендуется учитывать следующие требования:

- ▶ Оценка и прогнозирование состояния и изменений в ландшафтах должна осуществляться на основе **системного изучения**, так как научно доказано наличие биотической саморегуляции и самоорганизации (в той или иной степени) ландшафта как системы, обладающей территориальной устойчивостью и четкой ограниченностью в пространстве.
- ▶ Системный подход к ландшафту позволяет выявить его структуры, существенные связи компонентов в пространстве и времени. Отсюда – возможность **поиска вариантов, принципов и методов согласования взаимоотношений для различных типов ландшафта.**

- ▶ **Экологическая стабильность и продуктивность экосистем** (агроэкосистем) находится в тесной взаимосвязи с разнообразием абиотических и биотических элементов ландшафта. Особенно важно грамотно оценить сложившиеся ландшафтные структуры и предполагаемые их модификации на основе учета коэффициентов экологического разнообразия.
- ▶ Экологическая устойчивость ландшафта включает как устойчивость к антропогенным нагрузкам, так и гибкость системы в ее реакции на то или иное нарушение. При оценке вещественно-энергетических и других связей между компонентами необходимо определять потенциальные нагрузки на ландшафт.
- ▶ При определении оптимальной структуры и функциональных связей отдельных агроэкосистем в соответствии с эколого-экономическим потенциалом агроландшафта необходимо принимать во внимание **первичную биологическую продукцию**, пространственно-временное распределение популяций организмов по трофическим цепям, биоразнообразию.

Агроландшафты, несмотря на то, что определенная часть их естественного растительного покрова заменена агроценозами, являются целостными генетически однородными пространственно-временными единицами.

Характеристика их должна содержать объективные сведения:

- ➔ об особенностях геологического строения территории и современных геоморфологических процессах (карст, оползни, суффозия);
- ➔ о рельефе и составе почвенных разностей;
- ➔ о режиме агроклиматических и агрометеорологических условий;
- ➔ водном балансе;
- ➔ состоянии растительного и животного мира.

Например, для анализа и оценки почвенно-мелиоративных условий необходимы данные о площади почв по их основным классификационным единицам, агрохимических характеристиках, площадях, подверженных эрозии и дефляции, оползням, вторичному засолению, заболачиванию и т.д. Должна быть раскрыта причинная обусловленность отрицательных природных процессов и тенденций их развития, определена система мер борьбы с неблагоприятными явлениями. **Очень важно определить перспективные площади для сельскохозяйственного освоения и необходимые для этого мелиоративные работы.** Должны быть также оценены потери земельных угодий, вызванные необоснованным отводом земель.

Столь же подробные характеристики даются и по другим компонентам ландшафта. Весьма существенно, чтобы при покомпонентном анализе, как основе последующих интегральных обобщений, получили должное освещение их наиболее значимые особенности, оказывающие как прямое, так и косвенное воздействие на состояние и развитие ландшафта, целесообразные направления его хозяйственного использования, пути и способы модификации и т.д. Так, при рассмотрении морфологической структуры уместно обратить внимание на состав и соотношение урочищ, степень нарушенности пространственной структуры и др.; не должны, разумеется, оставаться без внимания межэкосистемные абиотические связи в агроландшафте.

Для соответствующих практических решений представляет интерес предложенный В.М.Фридландом (1967) **индекс антропогенной преобразованности конкретной территории** – $I_{a.t.}$. Для его определения служит формула:

$$I_{a.t.} = r \times g_m \times g,$$

где r – ранг антропогенного преобразования в баллах; g_m – процент исследуемой территории; g – общая земельная площадь. **Региональный же индекс антропогенной преобразованности** ($I_{a.p.}$) можно представить как:

$$I_{a.p.} = \sum_{i=1}^n I_{a.t.}$$

При этом $r \geq I_{a.p.} \leq r_{a.t.}^{\max}$.

Равновесное состояние агроландшафтов достигается путем оптимизации круговорота веществ и потоков в них энергии. Оценка тенденций изменения геохимической активности среды является достаточно репрезентативным показателем для прогнозирования возможной ее самоочистки.

Основной управляющий механизм стабилизации биогеоценотического процесса находится в почвах, выступающих в качестве своеобразного связующего звена, регулятора и преобразователя различных вещественно-энергетических потоков.

Отсюда – первостепенное значение сохранения и поддержания саморегулирующихся свойств почв. Несомненно, что и устойчивость агроландшафтов к антропогенным воздействиям в значительной мере зависит от степени устойчивости обрабатываемых пахотных земель к разнообразным нагрузкам техногенного происхождения.

По исследованиям М.А.Глазовской (1976, 1981), регулируя скорость геохимических превращений и интенсивность выноса токсичных веществ из агроэкосистем, можно управлять их устойчивостью, т.е. способностью к самоочищению. При этом доминирующее значение принадлежит узловым звеньям миграционной структуры территории – **геохимические барьеры**, от которых в основном зависит степень накопления и выноса техногенных веществ. В этом отношении можно обратиться к такому примеру. Количественные оценки влияния лесных фитоценозов на окружающую среду позволили выявить их роль в качестве:

- ▶ биогеохимического барьера;
- ▶ значимости в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур;
- ▶ способности к воспроизводству чистой воды и кислорода;
- ▶ восстановление деградированных почв.

Только комплексный подход, интегрирующий многообразие факторов, взаимосвязей и взаимозависимостей позволяет грамотно и конструктивно решать задачи формирования устойчивых и оптимальных ландшафтов.

Для характеристики состояния, устойчивости и некоторых аспектов ландшафтов рекомендуется применять следующие комплексные оценки:

- Технологические, определяющие степень пригодности агроландшафта для конкретного вида хозяйственной деятельности. Здесь целесообразно учитывать природно-ресурсный потенциал и эколого-хозяйственное состояние территории, кадастровые данные о ландшафтах, экспертные и прогнозные оценки, стоимостные показатели.
- Оценки, отражающие степень понижения устойчивости агроландшафта в зависимости от разных видов воздействий, в том числе биоэкологические (по степени неблагоприятных изменений биотической компоненты и ее генофонда); демэкологические (по степени неблагоприятных природных изменений для здоровья человека и его социального статуса), устанавливаемые посредством использования биоиндикационных методов, различных норм с учетом предполагаемого развития конкретных территорий.
- Оценки, характеризующие степень изменения агроландшафтов путем сравнения показателей фактических или прогнозируемых состояний с показателями нормативов как для абиотической, так и биотической составляющих (ГОСТы, ПДЭН, региональные и местные нормы, наличие или отсутствие индикаторов и др.).

С позиций системного подхода, учитывающего особенности формирования и функционирования ландшафтов, некоторые возможные предпосылки оптимизации агроландшафтов представляются следующими:

- ➔ Формирование и поддержание оптимальных структуры и функционирования земельных угодий, обеспечивающих необходимое разнообразие и устойчивость агроландшафта. При этом необходимо основываться на геоэкологическом мониторинге ландшафтного фонда, что позволяет объединить различные типы агроэкосистем, урочищ, фаций в гомогенные группы по утилитарно-экологическим функциям.
- ➔ Экологическая оптимизация агроландшафтов должна обеспечивать восстановление и сохранение местного генетического фонда живой природы, а также восстановление и сохранение естественных ценозов. При успешном проведении такого рода работ целесообразно ставить и решать вопросы об оптимальных площадях естественной природы, оптимальной лесистости.
- ➔ Восстановление и сохранение обводненности территории, которая должна соответствовать естественному фону данного ландшафтного образования. В этом отношении важны стабилизация и поддержание природно-обусловленного уровня поверхностных и грунтовых вод, возрождение утраченных водотоков и родников. Достаточно значимы экспертиза проводимых водохозяйственных мероприятий и функционирующих гидротехнических сооружений, установление экологических критериев регулирования и использования местного и транзитного стока поверхностных вод.
- ➔ Экологическая оптимизация агроландшафтов обеспечивается целенаправленным развитием сети охраняемых природных территорий различных рангов и статуса (от микрозаказников – до заповедников). При этом необходимо учитывать как ландшафтно-географические (уровни организации и иерархию ландшафтов), так и биоэкологические (наличие природно-миграционных русел, транзитных коридоров, очагов выживания) предпосылки.

Учету и сохранению подлежат также эстетические и этические ценности, рекреационно-культурные ресурсы агроландшафта.

Рассматривая вопросы устойчивости и оптимизации ландшафтов, очень важно располагать системой количественных оценок и характеристик изучаемых процессов. В этой связи заслуживает внимания возможность оценивать степень **экологической устойчивости ландшафта** посредством **коэффициента экологической стабилизации ландшафта (КЭСЛ)**, интегрирующего качественные и количественные характеристики абиотических и биотических элементов.

Согласно В.А.Баранову (1997), первый метод основан на определении и сопоставлении площадей, занятых различными элементами ландшафта, с учетом их положительного или отрицательного влияния на окружающую среду:

$$КЭСЛ_1 = \frac{\sum_{i=1}^n F_{СТ}}{\sum_{i=1}^m F_{НСТ}}$$

где $F_{СТ}$ – площадь, занимаемая сельскохозяйственными культурами и растительными сообществами, оказывающими положительное влияние на ландшафт (леса, зеленые насаждения, естественные луга, заповедники, заказники и пахотные земли, занятые многолетними культурами: люцерной, клевером, травосмесями); $F_{НСТ}$ – площади, занятые нестабильными элементами ландшафта (ежегодно обрабатываемыми пашнями, землями с неустойчивым травяным покровом, склонами, площадями под застройкой и дорогами, зарастающими или заиленными водоемами, местами добычи полезных ископаемых, другими участками, подвергшимися антропогенному опустошению).

При КЭСЛ₁:

- 0,5 и менее – с ярко выраженной нестабильностью,
- 0,51–1,00 – нестабильный,
- 1,00–3,00 – условно стабильный,
- 4,51 и более – с ярко выраженной стабильностью.

Биотические элементы ландшафта влияют на его стабильность в неодинаковой степени. Для оценки необходимо учитывать не только их площадь, но и внутренние свойства и качественные состояния (влажность и профиль биотопа, структуру биомассы, геологическое строение, местоположение и морфологию поверхности).

$$КЭСЛ_1 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i K_{Э \times 3} K_r}{F_T}$$

где f_i – площадь биотического элемента; $K_{э\text{х}3}$ – коэффициент, характеризующий экологическое значение отдельных биотических элементов (например, площадь застройки – 0; пашня – 0,14; виноградники – 0,29; хвойные леса – 0,38; сады, лесные культуры, лесополосы – 0,43; огороды – 0,5; луга – 0,62; хвойношироколиственные леса – 0,63; пастбища – 0,68; водоемы и водотоки – 0,79; лиственные леса – 1,0); K_r – коэффициент геолого-морфологической устойчивости рельефа (1,0 – стабильный; 0,7 – нестабильный; например, рельеф песков, склонов, оползней); F_T – площадь всей территории ландшафта.

Оценка ландшафта производится по следующей шкале:

- ▶ КЭСЛ₂ менее или равен 0,33 – нестабильный,
- ▶ 0,34–0,50 – малостабильный,
- ▶ 0,51–0,66 – среднестабильный,
- ▶ более 0,66 – стабильный.

Расчеты по КЭСЛ₁ и КЭСЛ₂ дают основную информацию о степени экологической устойчивости исследуемого ландшафта, необходимую для выбора соответствующих мероприятий по его защите и перестроению.

1.7. УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ

Современные агроэкосистемы, будучи одним из ключевых факторов формирования и развития биотехносферного пространства и незаменимым средством жизнеобеспечения человеческого общества, выполняют важную функциональную роль в биосферных процессах, в поддержании устойчивости биосферы. Исходя из рассмотренных ранее в этой главе общих принципов организации и оптимизации агроландшафтов и агроэкосистем, серьезного внимания требует обеспечение устойчивости последних.

Для оценки современных и перспективных систем земледелия, практических мер по управлению агроэкосистемой, а также эффективности реконструкции существующих и создания новых агроэкосистем категория «**устойчивости экосистемы**» имеет основополагающее значение. Естественно, что результаты такого рода оценки зависят от смысла, вкладываемого в понятие «устойчивость», которое, что весьма существенно, в современной литературе трактуется по-разному.



Что такое устойчивость агроэкосистем и чем она обеспечивается?

Устойчивость агроэкосистем – (согласно приводившемуся ранее определению устойчивости) свойство системы сохранять и поддерживать значение своих параметров и структуры в пространстве и времени, качественно не меняя характер функционирования.

Агроэкосистема представляет трансформированную в результате хозяйственной деятельности человека часть наземной экосистемы. Структура и функционирование ее регулируются с помощью дополнительного ведения вещества (удобрения, пестициды,

мелиоранты) и энергии с целью поддержания оптимальной и стабильной продуктивности выращиваемых культур и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Природные экосистемы, в отличие от агроэкосистем, представляют собой совокупность живых организмов в неорганической среде, которые, занимая определенное пространство, связаны между собой обменом веществ и энергии и способны к саморегуляции.



|| В чем суть принципа Ле Шателье?

Устойчивость системы, как известно, характеризует **принцип Ле Шателье**, который состоит в следующем: **скорость поглощения углерода экосистемами (при малых относительных возмущениях окружающей среды) пропорциональна приросту концентрации углерода в окружающей среде по отношению к невозмущенному доиндустриальному состоянию.**

До начала прошлого столетия поглощение углерода экосистемами суши подчинялось принципу Ле Шателье, т.е. в этот период биота эффективно компенсировала все воздействия человека на экосистемы, и проблемы загрязнения окружающей среды не возникало. В начале прошлого столетия экосистемы суши перестали поглощать избыток углерода из атмосферы. Они начали выбрасывать углерод в атмосферу, увеличивая загрязнение окружающей среды промышленностью и транспортом. Структура экосистем суши оказалась нарушенной в глобальном масштабе. Зная, что хозяйственная деятельность человека направлена на «преобразование природы», можно оценить порог антропогенного воздействия, начиная с которого принцип Ле Шателье перестает действовать, т.е. экосистема теряет устойчивость.

В доиндустриальную эпоху площади используемых земель составляли менее 5% территории всей суши, из которых человек использовал не более 20% продукции экосистем. Поэтому общая доля потребления человеком продукции биосферы не превышала 1%. Сегодня эта доля на порядок выше.

Огромная скорость продукции и деструкции органических веществ, протекающих в экосистемах, несет в себе открытую опасность быстрого разрушения окружающей среды при нарушении замкнутости круговорота веществ.

Благодаря же замкнутости биохимических круговоротов функционирование экосистем оказывается возможным на основе органических соединений, энергия которых используется при их разложении.

Поэтому необходимым условием устойчивости является ограничение внешнего потока питательных веществ в экосистему и количество этих веществ непосредственно в экосистеме. Продуктивность процессов синтеза или разложения органического вещества должна быть намного больше внешнего поступления питательных веществ в экосистему.

Если внешний поток покрывает половину биологических потребностей, то поддержание устойчивой замкнутости круговорота веществ становится невозможным. Случайные совпадения потока питательных веществ и удаление продуктов жизнедеятельности, сохраняющие стабильность окружающей среды, не могут быть устойчивыми. Поэтому интенсивность синтеза и разложения должна превосходить внешние потоки питательных веществ настолько, насколько биота, функционирующая на основе сообществ и замкнутого круговорота веществ, с одной стороны, была бы способной компенсировать любые изменения состояния окружающей среды и, с другой, была бы более конкурентоспособной, чем биота, живущая за счет внешних потоков веществ. Следовательно, **только запасы и концентрация питательных веществ в окружающей среде могут определяться и поддерживаться на устойчивом уровне биотой экосистем.**

Параметрами устойчивости агроэкосистемы являются:

- ➔ функции, режимы и свойства почвы;
- ➔ структура и продуктивность агрофитоценоза;
- ➔ структура и организация микробного сообщества;
- ➔ интенсивность и сбалансированность биогеохимического круговорота;
- ➔ потоки информации.

Для количественной оценки устойчивости экосистемы выделяют связь воздействующих факторов, включающих тип, интенсивность, длительность и количество возмущений, а также связь экосистем с основными параметрами, ответственными за ее устойчивость, и областями (зонами) устойчивого состояния, которых может быть от одной до нескольких. Изменение структуры экосистемы или переход ее параметров в область неустойчивого состояния ведет к потере устойчивости. В том случае, если переход от одной области устойчивого равновесия в другую сопровождается сохранением внутренних связей экосистемы, речь идет об **упругости экосистемы, под которой следует понимать переход из одной области устойчивого равновесия в другую с сохранением внутренних связей экосистемы.**

Способность экосистемы вернуться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия природного или антропогенного фактора характеризует ее **стабильность.**

Названные категории приемлемы и для характеристики антропогенных экосистем. Основная проблема в этом случае заключается в качественной и количественной формализации соответствующих категорий, применительно к особенностям агроэкосистемы.



|| Что характеризует устойчивость и стабильность агроэкосистем?

Несомненно, что в ряду параметров, ответственных за **устойчивость и стабильность агроэкосистемы, первостепенное значение имеет величина продуктивности агроценозов**, падение которой по причине самых разных обстоятельств (например, дефицит или избыток элементов минерального питания, засуха или переувлажнение, деградирующие почвы и т.п.) (рис. 1.7.1) ниже заданного уровня свидетельствует о переходе агроэкосистемы в неустойчивую область. Однако сниже-

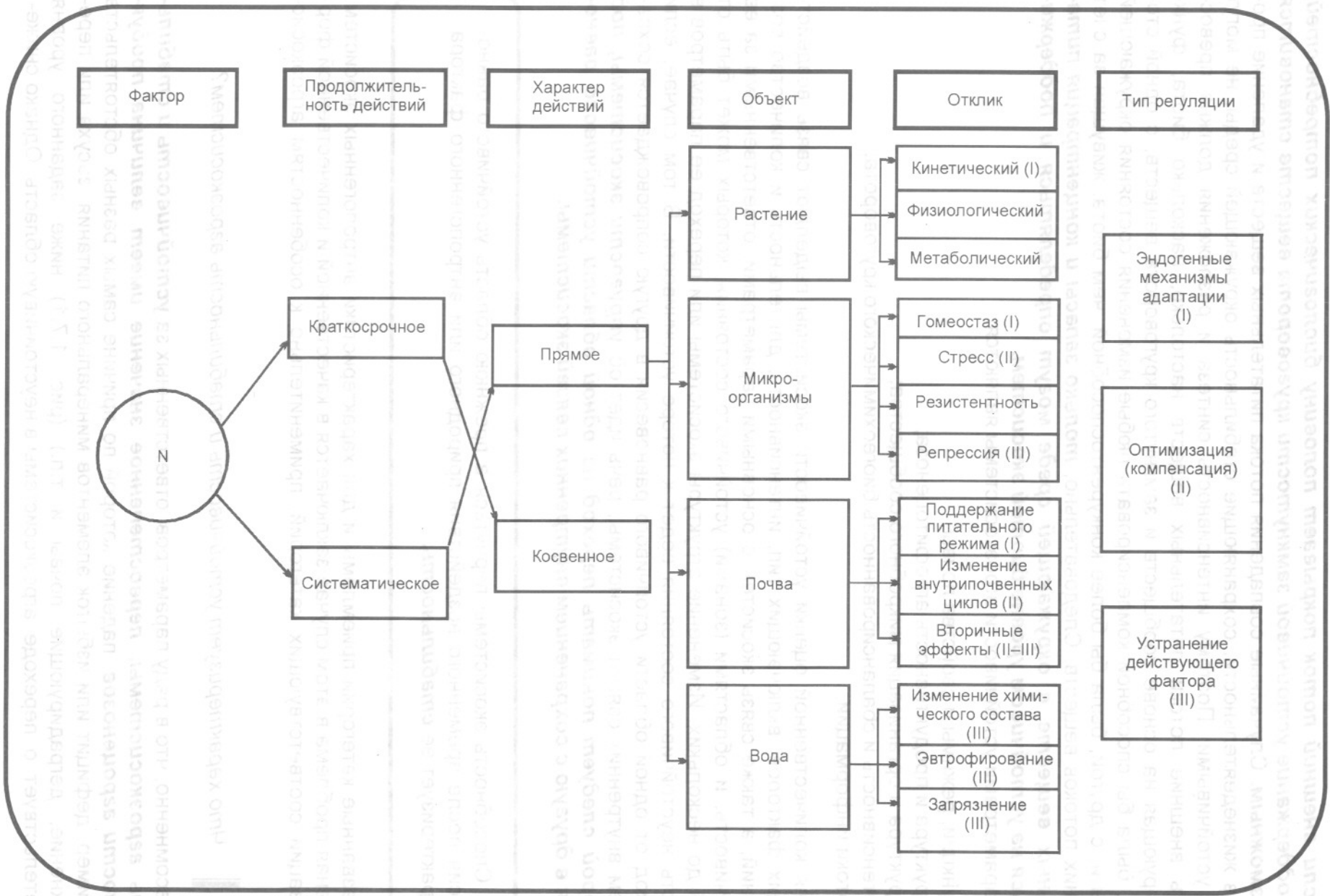


Рис. 1.7.1. Типы ответных реакций компонентов экосистем на антропогенное воздействие (азотные удобрения)

ние урожайности – это уже конечная фаза отклика агроэкосистемы на имеющиеся возмущения, которой предшествуют изменения других параметров, таких как: физиологическая и метаболическая активность микробного сообщества, сбалансированность биогеохимических циклов элементов, уровень плодородия почвы. Контроль за названными параметрами позволяет выявить скрытые формы нарушений устойчивости и достаточно оперативно поддерживать стабильность агроэкосистемы, то есть сохранять заданные характеристики параметров в течение определенного промежутка времени. Следовательно, устойчивость и стабильность агроэкосистемы недостаточно рассматривать в виде простой функциональной зависимости между каким-либо воздействующим фактором и одним из параметров, ответственных за устойчивость, как это распространено в большинстве современных моделей. Более объективную оценку могут дать комплексные почвенно-агрохимические, эколого-физиологические и эколого-токсикологические исследования с применением методов системного анализа и математического моделирования. Наибольшая трудность заключается в выделении зон устойчивости агроэкосистемы, определении их границ и времени сохранения или достижения нового устойчивого состояния при наличии кратковременных или постоянных воздействий, поскольку эти вопросы еще не разработаны в полной мере даже в концептуальном плане. Рассмотрим некоторые закономерности отклика основных слагаемых агроэкосистемы, которые одновременно являются и параметрами ее устойчивости (микробное сообщество, агрофитоценоз, почва) на действие аграрных форм антропогенного фактора.

1.8. АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ И РЕАКЦИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА

Основным агентом биохимической функции почвы является микробное сообщество, которое представляет собой совокупность совместно обитающих организмов разных видов, составляющих определенное экологотрофное единство.

Микробное сообщество является наиболее чувствительным из всех биотических компонентов экосистемы к изменениям экологической обстановки, изменяющейся в ходе сельскохозяйственного освоения экосистем при наличии других форм антропогенного воздействия, в том числе и загрязнителей.



Какие адаптивные зоны устойчивости характерны для микробоценозов почвы?

В ответ на возрастающие антропогенные нагрузки микробное сообщество претерпевает структурно-функциональные изменения, выражающиеся в последовательной смене четырех адаптивных зон. Каждой из них свойственен определенный интервал воздействующей нагрузки, определяющий совокупность изменений активно функционирующего в почве микробного сообщества, обеспечивающих приспособление сообщества к данным условиям. В **первой адаптивной зоне (зона гомеостаза)**, характерного для низкого уровня нагрузки) происходит изменение общей биомассы микробного сообщества при неизменных показателях состава и организации сообщества (табл. 1.8.1). Средние уровни нагрузки вызывают изменения в организации

Таблица 1.8.1

**Адаптивные зоны изменчивости микробного сообщества
в зависимости от уровня антропогенной нагрузки**

Адаптивная зона	Признаки
1. Гомеостаза	Изменяется общая биомасса активно функционирующего сообщества: состав и организация сообщества не меняются.
2. Стресса	Перераспределение популяций по степени доминирования; развитие в почве токсинообразующих микроорганизмов; снижается продуктивность сельскохозяйственных культур на 30–60%.
3. Резистентности	Резко сокращается видовое разнообразие, развитие получают устойчивые к данному фактору популяции микроорганизмов; происходит гибель большинства видов.
4. Репрессии	Полное элиминирование роста и развития микроорганизмов.

микробного сообщества в виде перераспределения популяций по степени доминирования, тогда как состав сообщества не отличается от контрольного (**зона стресса**). В ответ на характерные для этой адаптивной зоны концентрации агрохимикатов и тяжелых металлов происходит доминирующее развитие токсинообразующих микроорганизмов. Для **третьей адаптивной зоны (зона резистентности)** под действием высокого уровня нагрузки характерны изменения состава микробного сообщества: его видовое разнообразие резко сокращается из-за гибели большинства организмов, свойственных контрольной почве. Преимущественное развитие получают устойчивые к данному фактору популяции. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к полному подавлению роста и развития микроорганизмов в почве (**зона репрессии**). Из приведенной схемы отклика микробного сообщества на антропогенные факторы следует, что **допустимой нормой нагрузки для микробного сообщества можно считать ту, которая не выводит систему из зоны гомеостаза**, где микробное сообщество является устойчивой и стабильной системой. Характерные для зоны стресса изменения в микробном сообществе в дальнейшем закрепляются и сохраняются в течение длительного времени, несмотря на прекращение воздействия и восстановление условий окружающей среды, что свидетельствует о переходе системы в другое устойчивое состояние при потере стабильности. Антропогенное вмешательство в микробное сообщество и перестройка их состава и организации могут давать самые разнообразные эффекты: от позитивных до нейтральных и отрицательных. Устранение кислотности почвы путем известкования благоприятно отражается на развитии азотфиксирующей микрофлоры. Происходящее перераспределение степени доминирования микроорганизмов в сообществе, вызванное известкованием кислой дерновоподзолистой почвы, обеспечивало увеличение устойчивости ее микробной системы к высоким дозам минеральных удобрений, что выражалось в расширении зоны гомеостаза и в увеличении предельной дозы удобрений, вызывающей микробный токсикоз.

Внесение полного минерального удобрения в умеренных дозах стимулирует микробную активность при избытке легкоразлагаемых углеродсодержащих соединений, что свойственно почвам, обогащенным растительными остатками с широким соотношением C:N.

В черноземах перестройка микробных сообществ проявляется в преимущественном развитии микроорганизмов, осуществляющих минерализацию органических азот- и углеродсодержащих соединений. Реакция денитрификаторов на антропогенное воздействие проявляется преимущественно на последнем этапе нитратредукции, которая может как усиливаться (например, при орошении), так и снижаться. Для diaзотрофов свойственно снижение или сохранение исходного уровня азотфиксирующего потенциала по мере увеличения антропогенных нагрузок. При длительном применении минеральных удобрений изменяется состав и численность фототрофных микроорганизмов и их трофических зоопартнеров. Систематическое применение азотных удобрений приводило к снижению вдвое численности представителей альгоценоза, унификации фототрофного сообщества, которое в данном случае включает только три вида одноклеточных зеленых водорослей, исчезновению из верхних горизонтов почвы нематод, коллембол, личинок насекомых и к преобладанию клещей.



В чем специфика перестройки микробного сообщества в ответ на высокие дозы агрохимикатов?

Негативные последствия перестройки микробного сообщества в ответ на высокие дозы агрохимикатов проявляются в ингибировании почвенных ферментов и ограничении метаболической способности почвы, в нарушении внутрпочвенных циклов биогенных элементов, в накоплении продуцируемых грибами и микроорганизмами фенольных соединений, органических кислот, наличие которых свидетельствует о развитии в почве признаков фитотоксичности. Так, в длительно удобряемой почве чайных плантаций содержание фенольных соединений превышало в 10–15 раз по сравнению с контролем.

К серьезным нарушениям микробных сообществ почвы приводят загрязненные минеральными примесями атмосферные осадки. Из-за загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, NH_3 и NO_x в лесной подстилке и верхнем горизонте почвы вблизи азотнотукового завода преобладают аммонификаторы и грибы, тогда как численность актиномицетов, целлюлозолитиков и нитрификаторов резко снижалась.

1.9. НОРМЫ РЕАКЦИИ АГРОФИТОЦЕНОЗА НА АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Агрофитоценоз относится к числу важнейших компонентов агроэкосистемы, а его продуктивность в наибольшей мере характеризует устойчивость и стабильность находящейся в сельскохозяйственном использовании экосистемы.

В отличие от природной экосистемы, где продуктивность фитоценоза регулируется внутренним механизмом, продукционный процесс в агроэкосистеме требует постоянного контроля и управления в виде разнообразных форм аграрной деятельности человека.

Поэтому растения в ходе онтогенеза испытывают интенсивные прямые или трансформированные антропогенные воздействия, которые не всегда однозначно ведут к росту урожая. Получение заданного уровня продуктивности в течение определенного

промежутка времени как свидетельство стабильности агроэкосистемы может быть не достигнуто из-за экстремальных метеоусловий, загрязненности атмосферного воздуха, выпадения кислотных осадков, неблагоприятных свойств и режимов почвы, ее загрязнения, стрессовой реакции почвенных микроорганизмов на антропогенные нагрузки и возникновения почвенной токсичности, почвоутомления, возделывания сортов некоторых культур, малоустойчивых к болезням, вредителям и сорным растениям, адаптации последних к пестицидам, неодинаковой реакции видов и сортов растений на возрастающие дозы агрохимикатов, которые оказывают полифункциональное влияние на растения, выступая, в зависимости от концентрации, стимулятором или ингибитором физиологических процессов и других причин. По характеру действия фактор может быть:

- ▶ лимитирующим;
- ▶ нормальным;
- ▶ оптимальным;
- ▶ угнетающим.

Количественная градация этих зон определяется типом воздействия. Реакция растений на каждый природный или антропогенный фактор подчиняется известной криволинейной зависимости, характерной для всех биологических систем, в пределах которой проявляется несколько характерных зон реакции растений (рис. 1.9.1).



Задание 1.9.1. Назовите зоны устойчивости продуцентов к антропогенному воздействию, дайте им характеристику. Чем отличаются эти зоны?

На основе анализа закономерности изменений продуктивности растений в широком интервале доз азотных удобрений можно выделить три типа реакции растений на ко-

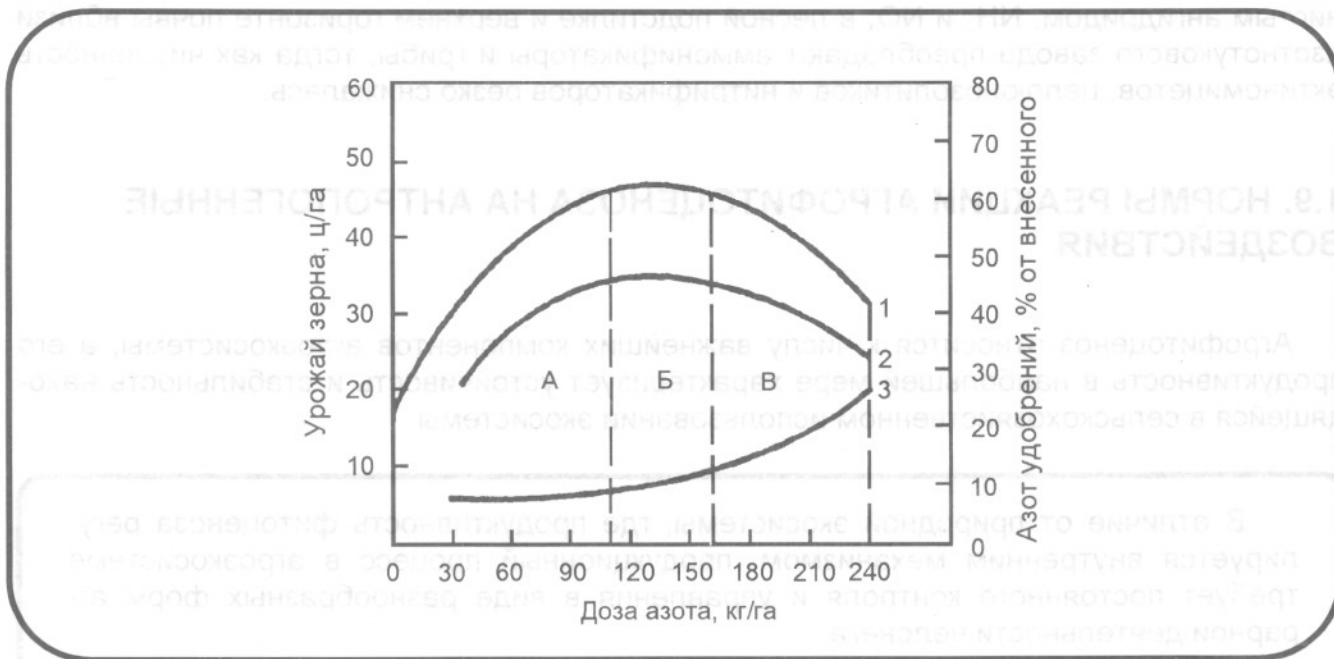


Рис. 1.9.1. Закономерности действия возрастающих доз азотных удобрений на продуктивность растений, использование азота удобрений и его потери. 1 – урожай зерна, 2 – использование азота удобрений растениями, 3 – потери азота удобрений. Зоны устойчивости: А – кинетическая, Б – физиологическая, В – метаболическая

личество внесенного азота, проявляющиеся в изменении величины продукционного процесса и характера обмена веществ: **кинетический, физиологический и метаболический**. Первый тип реакции характерен при лимитирующем и нормальном обеспечении растений азотом, второй – при нормальном и оптимальном и третий – при избыточном (угнетающем). В кинетической зоне растения активно реагируют на увеличение концентрации азота; усиливаются ростовые процессы, дыхание, синтез белковых соединений, повышается их продуктивность с линейной зависимостью от применяемых доз удобрений. В физиологической зоне растения могут формировать максимальную продукцию, однако прирост сухого вещества от вносимых доз азота минимален. Физиологические изменения растительного организма в пределах этой зоны достигают предпатологического состояния, подтверждением чего служит ухудшение многих показателей качества урожая в области максимальных его величин. Известно, что оптимум качества наступает при меньших дозах азота, которые необходимы для получения наибольшего урожая. Для зоны метаболического типа отклика характерно:

- подавление ростовых процессов;
- происходит накопление промежуточных продуктов метаболизма (нитраты, аминокислоты);
- снижается скорость образования хлорофилла и интенсивность фотосинтеза;
- нарушается обмен углеводов и минеральных веществ;
- снижается продуктивность растений.

При остродефицитном или избыточном обеспечении растений азотом создаются предпосылки потери агрофитоценозом своей устойчивости, последствия чего могут проявиться в самых разнообразных вариантах (массовые поражения посевов вредителями и болезнями, ограниченное поступление в почву корневых выделений и растительного опада, получение некондиционного семенного материала, загрязнение водисточников, деградация почвы и т.д.). Следует отметить, что подобная ситуация может иметь место лишь при многолетнем отсутствии агрономического контроля за посевами и в принципе маловероятна. Поскольку остродефицитный или избыточный режим питания растений легко устраним (например, внесение минеральных удобрений в первом случае или соломы во втором), а границы проявления метаболического отклика достаточно подвижны и легко смещаются, в частности, изменением соотношения азота с фосфором и калием, использованием различных модификаций внесения удобрений в почву, то подобные нарушения устойчивости агрофитоценоза в этих условиях являются временными и не ведут к потере стабильности агроэкосистемы. Кроме того, для каждого вида и сорта характерны свои границы нормального, оптимального и избыточного содержания азота в почве, в пределах которых растения развиваются по одному из перечисленных типов реакции на азотное питание. Поэтому непременным условием сохранения устойчивости и стабильности агроэкосистемы является оптимизация структуры посевных площадей, дифференцированное размещение культур в пределах севооборота с таким расчетом, чтобы ограничить негативные эффекты узкой специализации растениеводства. В свою очередь, удобрение сельскохозяйственных культур должно производиться так, чтобы обеспечивался кинетический или, в крайнем случае, физиологический тип отклика растений.



Почему технология локального применения азотных удобрений считается экологически безопасной?

Поиск и разработка экологически безопасных технологий выращивания сельскохозяйственных культур актуален, поскольку соответствует принципам рационального природопользования. К ним относится прежде всего технология локального применения азотных удобрений, которая отвечает ряду требований:

- ▶ обеспечивает регуляцию превращения азота в корнеобитаемом слое почвы;
- ▶ регулирует потребление азота удобрениями и азота почвы растениями в онтогенезе;
- ▶ оказывает направленное действие на продукционный процесс и на формирование урожая с оптимальными показателями качества;
- ▶ создает безопасное состояние аккумуляции азотистых соединений в системе «почва–растение»;
- ▶ повышает устойчивость возделываемых культур к неблагоприятным абиотическим факторам.

Согласно технологии локального применения, азотные удобрения вносятся в почву на глубину 10–12 и 6–7 см в сторону от ряда высеваемых семян, если высеиваются семена и внесение удобрений осуществляется одновременно с помощью комбинированной сеялки. При локальном применении удобрений они вносятся в почву в виде узкой ленты или экрана на заданную глубину. Если же удобрения применяются заблаговременно (перед посевом культуры), то их вносят поперек будущих рядков высеваемых семян. При этом расстояние между лентами удобрений составляет для зерновых культур 15 см, для пропашных 30 см.

Благодаря той специфике поведения азота удобрений, которая складывается при локализации их в почве, растения используют в 1,2–1,6 раза больше азота по сравнению с технологией разбросного применения туков (табл. 1.9.1). При этом резко снижаются газообразные потери азота (в 1,6–3,2 раза), что придает этой технологии экологическую целесообразность.

Что касается агрономической эффективности, то при локальном применении азотных удобрений продуктивность сельскохозяйственных культур возрастает на 22–46%

Таблица 1.9.1

Использование азота удобрений растениями и его потери при различных способах применения азотных удобрений, % от внесенной дозы

Культура	Использование азота, %		Потери азота, %	
	при разбросном применении	при локальном применении	при разбросном применении	при локальном применении
Озимая пшеница	28	43	63	39
Яровая пшеница	27	43	42	19
Ячмень	38	59	32	10
Гречиха	32	40	25	10
Свекла кормовая	39	54	31	22
Картофель	47	71	35	13

по сравнению с технологией разбросного применения. Наибольшей эффективностью эта технология отличается при возделывании кукурузы и вико-овса.



|| Каким эффектом обладают природные регуляторы роста?

Повышению устойчивости растений к биотическим факторам (болезням) способствуют **защитно-стимулирующие составы** на природной основе, поскольку использование химических средств защиты растений привело к значительному загрязнению объектов окружающей среды, создает реальную угрозу здоровью человека. Этих негативных последствий лишены биостимуляторы на основе природных соединений. К ним относится культура цианобактерий. Добавление препарата в болтушку перед обработкой корней рассады капусты способствовало существенному снижению поражения растений болезнями. Препарат цианобактерий полностью предотвращал поражение растений килой, снижал почти в 2 раза заболевание растений слизистым бактериозом и почти в 3 раза – черной ножкой. Препарат цианобактерий улучшал потребление элементов питания, что способствовало существенному (на 374 ц/га) повышению продуктивности капусты белокочанной.

1.10. УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Разнообразие форм техногенного и аграрного воздействия, увеличивающиеся масштабы и объемы антропогенной нагрузки, наличие многочисленных негативных изменений в почвах, свойства, режимы и функции которых стали отличаться от реликтовых или эталонных почв, послужили основанием говорить о патологии почвы. Не менее справедливо будет утверждение о патологическом состоянии большинства современных агроэкосистем, основные компоненты которых подвержены той или иной форме антропогенного воздействия и находятся в конечных зонах устойчивости, граничащих с потерей этого качества. Подобное состояние агроэкосистемы напрямую связано со стратегическими и тактическими издержками, которые характерны для аграрной деятельности человека и проявляются в характере землепользования и культивирования агроэкосистемы. К настоящему времени в науке и практике сформировались две противоположные концепции использования и управления агроэкосистемами, базирующимися на **традиционном и биологическом ведении земледелия**.

Использование традиционной системы земледелия с широким применением агрохимикатов – обязательное условие поддержания высокой продуктивности агроэкосистемы, наличие которой компенсирует возможные экологические издержки. В рамках этой концепции приоритетными являются агрономический и экономический критерии. **В первом случае рассматривается величина прибавки урожая основной продукции сельскохозяйственных культур, а во втором – окупаемость материальных и финансовых затрат получаемой продукции.** Считается, что интенсификация традиционных систем земледелия не только не является причиной деградации компонентов агроэкосистемы, но и обеспечивает более высокий их уровень стабильности, предотвращения разрушения природного плодородия почв. Ущерб плодородию почвы и окружающей среде, наносимый несбалансированным применением пестицидов, удобрений и мелиорантов в избыточных дозах, использованием тяжелой техники в районах с повышенным увлажнением, нарушениями зональных технологий возделывания культур и мелиорации почв характерны для нерационального или экстре-

мального земледелия, в котором **категория «интенсивность» упрощенно понимается как концентрация ресурсов в расчете на единицу площади без учета степени и качества их использования.** В действительно интенсивном земледелии повышение урожая культур обеспечивается за счет эффективного использования средств химизации, биологических способов мелиоративных приемов, внедрения прогрессивных технологий, учитывающих зональную почвенно-экологическую специфику, что, в конечном счете, способствует повышению плодородия почв и охране агроландшафтов от загрязнения и деградации. Хотя эти положения весьма логичны и имеют экспериментальное подтверждение, закономерен вопрос, почему в странах с интенсивно развитым аграрным сектором высоким уровнем энергонасыщенности и технологичностью сельскохозяйственных операций, базирующихся на последних научных достижениях, экологическая ситуация остается достаточно напряженной, что дает повод усомниться в безопасности традиционных систем земледелия и разрабатывать альтернативные производственные системы.



|| Какие особенности характерны для биологической системы земледелия?

Наиболее известной альтернативной системой является биологическое земледелие. На первых этапах развития биологоорганической системы земледелия приоритетным направлением было получение высококачественной растениеводческой продукции, главным образом, за счет отказа от использования инсектицидов и применения биологических и агрономических способов защиты растений. В последние годы биологическая система земледелия рассматривается в более широком плане – **как составная часть концепции экологически чистой окружающей среды**, расширяя тем самым круг ограничений на применение агрохимикатов, включая и синтетические удобрения. Введение элементов биологического земледелия, как правило, приводит к:

- снижению экономических показателей производства;
- росту энергозатрат на получение единицы продукции;
- увеличению объема работ и их усложнению по сравнению с традиционной системой.

Согласно разным оценкам, **в результате отказа от минеральных удобрений в биологическом земледелии недополучается 40% продукции, а затраты труда возрастают на 25–30%.** Однако реальное воплощение идей биологического земледелия в практику, несмотря на всю их привлекательность, сдерживается не столько проблемами экологического характера, сколько отсутствием надежной теории, объясняющей механизмы функционирования и пределы устойчивости агроэкосистемы в условиях «биологизации» сельскохозяйственных технологий, недостаточным числом факторов, подтверждающих более высокое качество продукции биологического земледелия по сравнению с традиционным, а также слабостью доводов о более высокой вредности химических элементов, содержащихся в синтетических удобрениях, по сравнению с природными соединениями. Например, согласно биологическому земледелию, азот вносится в почву в виде органических удобрений, которые представлены в основном экскрементами животных с высоким содержанием мочевины. В то же время в биологическом земледелии не рекомендуется использовать мочевину, получаемую синтетически. Кроме того, сокращение объемов производства растениеводческой продукции в биологическом земледелии приходится компенсировать расширением площадей пашни в ущерб естественным экосистемам. Поэтому в действительности при традиционной системе земледелия степень аграрной нагрузки на единицу пло-

щадящий может быть даже ниже, чем при биологической. **Серьезным недостатком также является присущее биологической системе земледелия отрицательное сальдо в балансе фосфора и калия**, что негативно отражается на питательном режиме почвы. Исходя из преимуществ и недостатков этих двух противоположных концепций и учитывая многовариантность форм антропогенного давления на агроэкосистемы, стремление интенсифицировать все слагаемые стадии производства сельскохозяйственной продукции, принимая во внимание значительное ухудшение качества окружающей среды, **на первый план выдвигается проблема разработки новой системы земледелия, эффективность которой соответствовала бы более широкому спектру критериев.**

Наряду с агрономической и экономической эффективностью разрабатываемые мероприятия должны:

- ▶ иметь технологическую осуществимость;
- ▶ быть экологически допустимыми и энергетически целесообразными;
- ▶ обеспечивать сбережение и воспроизводство природных ресурсов.

Естественно, что в каждом частном случае эта система из шести критериев может быть расширена (например, физиологическая эффективность, критерий качества продукции) или, наоборот, в зависимости от поставленных целей сконцентрирована. Хотя с помощью этих критериев можно получить более полную информацию о функционировании агроэкосистемы, использование их в едином комплексе сопряжено с преодолением ряда объективных трудностей. Во-первых, цели одних критериев не совпадают или даже противоречат другим. Во-вторых, ряд критериев (ресурсный, экологический, технологический, качество продукции) достаточно сложно формализовать и качественно оценить из-за многообразия параметров, характеризующих эти свойства, и полифункциональности действия природных и антропогенных факторов на компоненты агроэкосистемы. Так, максимальная эффективность агроэкосистемы по одному из предложенных критериев не означает еще отсутствие каких-либо нежелательных моментов в ее функционировании.

Например, получение максимального урожая с помощью увеличения норм минеральных удобрений и других средств химизации сопровождается нежелательным нарушением в состоянии окружающей среды. Наибольший экономический эффект обеспечивается, как правило, низкими и умеренными дозами минеральных удобрений, а окупаемость – прибавкой урожая высоких доз резко снижается.



Чем характеризуется новый тип современного земледелия и почему так называется?

Осуществление противоэрозионных мер является средством сбережения ресурсов агроэкосистемы и оптимизации качества окружающей среды, однако достижение минимальной нормы допустимого смыва практически нереализуемо из-за резкого возрастания текущих и капитальных затрат, если допустимый уровень планируется в 1 т/га. Иными словами, обеспечение экологической чистоты агроландшафтов не должно выходить за рамки разумных технологических решений и экономических затрат. Следовательно, **современное управление устойчивостью агроэкосистемы и использование для этого практических средств должно предусматривать достижение разумного компромисса между величиной продукции, ее качеством, масштабами затрачиваемых природных и технических ресурсов и нарушениями в окружающей среде.** Эти параметры в своей совокупности характеризуют новый

тип современного земледелия – **адаптивный**, – понимая под этим **экологическую дифференциацию агротехнологий, направленную на достижение высокой степени соответствия аграрных форм деятельности природным механизмам саморегуляции экосистем за счет оптимизации или компенсации внешних и внутренних факторов и свойств лимитирующих развитие продуцентов агроэкосистемы**. В отличие от альтернативного земледелия, которое предполагает приоритет какого-либо одного критерия, адаптивно-компромиссное направлено на достижение рациональной их (критериев) сбалансированности и представляет собой промежуточную форму между биологическим и традиционным типами земледелия. Для адаптивно-компромиссного земледелия характерно смещение акцентов в стратегии оптимизации минерального питания растений. При этом предусматривается **создание условий и осуществление различных типов регуляции режима минерального питания, обеспечивающих максимальное включение питательных элементов в продукционный процесс и адаптацию динамики их поступления к динамике реальных потребностей в них растений**. Реализация этой стратегической задачи должна обеспечивать:

- максимизацию урожая;
- повышение качества продукции;
- сокращение удельных затрат питательных веществ из удобрений и из почвы на формирование единицы урожая;
- минимальную нагрузку на окружающую среду.

При формализации критериев оценки функционирования агроэкосистемы в целом или отдельных ее компонентов и их слагаемых используются разные подходы и параметры, что затрудняет их унификацию и количественную воспроизводимость.

Основным способом оценки происходящих в агроэкосистеме изменений является сравнение параметров, характеризующих состояние ее слагаемых с эталонными вариантами.

Создается соответствующая стандартная шкала, по которой отмечается разница между состоянием среды при воздействии и без воздействия какого-либо фактора. Однако такой подход не совсем справедлив, так как не отражает исходных различий, характерных для природной и сельскохозяйственной экосистемы, и не показывает динамику действия и отклика, происходящих в агроэкосистеме в результате разнообразных форм человеческой деятельности. Поэтому для оценки функционирования агроэкосистемы используется ряд специальных критериев.

В качестве критериев оценки влияния сельскохозяйственной деятельности на агроэкосистемы предлагается использовать показатель **экологичности земледелия ($K_{эз}$)**, для расчета которого используются следующие характеристики: урожай культур (Y) и их количество (n), коэффициент гумификации растительных остатков (K_r), масса вносимых органических удобрений (M_o) и коэффициент их гумификации (K_o), масса минерализации гумуса и количество пожнивных остатков ($M_{мп}$), масса потерь гумуса за счет эрозии ($M_{эв}$), масса расхода гумуса на формирование урожая ($M_{бу}$), коэффициенты, выражающие повторяемость культуры за ротацию севооборота (K_p) и долю данной культуры в севообороте (K_d). Используя эти параметры в модели,

$$K_{Эз} = \sum_{t=1}^n \frac{(УКг + M_o K_o) K_d K_o}{M_{МП} + M_{ЭВ} + M_{ВУ}}$$

было показано, что в результате эрозии и насыщенности севооборотов техническими культурами происходит активный расход гумуса, а низкая величина коэффициента (0,3–0,4) свидетельствует о недостаточной экологичности используемых систем земледелия. В качестве индикаторных показателей экологичного состояния экосистем и устойчивости почв к стрессовому эффекту загрязнителей, наряду с содержанием органического вещества, часто используются величины размера почвенных частиц и pH почвенного раствора, с помощью которых оценивается **стрессовая емкость почвы**.



Что такое интегральная характеристика реакции растений на минеральные удобрения?

Интегральную характеристику реакции растений на минеральные удобрения дают показатели агрономической и физиологической их эффективности, а также величина эффективности и усвоения питательного вещества, которая чаще называется коэффициентом использования действующего вещества удобрения. В первом случае определяются затраты питательного вещества удобрения на формирование прибавки урожая основной продукции (I). Во втором – оцениваются затраты дополнительного использования элемента питания в удобренном варианте на формирование урожая (II), эффективность усвоения питательных веществ растениями характеризуется отношением прибавки общего выноса элементов, получаемой от применяемого удобрения, к его дозе (III).

$$A.Э. = \frac{Y_y - Y_{б/y}}{D_y} \text{ – кг основной продукции/кг д.в-ва} \quad (I)$$

$$Ф.Э. = \frac{Y_y - Y_{б/y}}{B_y - B_{б/y}} \text{ – кг основной продукции/кг общего выноса} \quad (II)$$

$$Э.У. = \frac{B_y - B_{б/y}}{D_y} \cdot 100\% \quad (III)$$

Для характеристики пределов экологического насыщения агроэкосистемы биогенными элементами, а также определение миграционно-аккумуляционной их способности целесообразно определять **состояние баланса макро- и микроэлементов в ландшафтно-геохимических структурах**. В пределах агроэкосистемы рассчитывают **показатель интенсивности баланса** макроэлементов, который представляет собой величину возмещения выноса элементов растениями дозой удобрений.

Результаты исследований показывают, что снижение этой величины до 60% свидетельствует об истощении актуального плодородия почвы.

1.11. УСЛОВИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ

Конструирование агроэкосистем в чистом виде с соблюдением всех заданных параметров и принципов осуществимо лишь при сельскохозяйственном освоении новых территорий, что в условиях современных масштабов вовлеченности земель в аграрное производство не имеет существенного значения. Примером может служить распашка целинных почв, окультуривание осушенных болотных, опустыненных, засоленных и других почв.

В используемых уже почвах реализация программы конструирования агроэкосистемы подразумевает частичную или коренную реконструкцию уже сложившихся природнохозяйственных единиц.

В первом случае речь идет об использовании отдельных организационно-хозяйственных или технологических мер, направленных на устранение или компенсацию лимитирующих нормальное функционирование агроэкосистемы факторов, либо исправление свойств каких-либо ее слагаемых элементов с целью повышения их адаптационных возможностей. Во втором случае предусматривается одновременное воздействие на все главные звенья агроэкосистемы, благодаря чему видоизменяются основные ее функции.

Предотвращение негативных процессов, таких как эрозия и дефляция, деградация, подкисление, засоление, аридизация, переувлажнение, загрязнение делает агроэкосистему более устойчивой и продуктивной.

Использование системы критериев, оценивающих разные функции агроэкосистемы, а также комплекса показателей-индикаторов, позволяющих количественно интерпретировать ее изменчивость под действием антропогенных факторов, служит базовой информацией для конструирования высокопродуктивных и устойчивых агроэкосистем.

Первый уровень повышения устойчивости реконструируемой агроэкосистемы заключается в осуществлении глобального, регионального и локального почвенного мониторинга, включающего в себя системный контроль за физической и биологической деградацией почвы, ее загрязнением и питательным режимом, начиная от источников воздействия и кончая реакцией отдельных составных ее компонентов, а также за общим состоянием окружающей среды. На втором уровне осуществляются рекультивация нарушенных засоленных и загрязненных почв, окультуривание агрохимически разбалансированных почв, преобразование рельефа и другие мероприятия. Одновременно видоизменяется структура севооборотов, системы удобрения и защиты культур от вредителей и болезней, используются более мягкие агротехнические операции.

Ограничение эрозионных процессов в реконструируемых агроэкосистемах с достаточной долей эффективности может быть решено лишь на ландшафтно-био-сферном уровне, включающем водосборные бассейны в целом, путем создания эрозионно-устойчивых ландшафтов на основе комплексного учета показателей гидрологического режима почв, морфологии, морфометрии, генезиса эрозионного рельефа,

пространственно-временной изменчивости противоэрозионной стойкости почв, вклада антропогенного фактора в развитие ландшафтов на разных стадиях их хозяйственного освоения. Основными элементами гидротехнических, агротехнических, технологических и биологических мероприятий по созданию эрозионно-устойчивых ландшафтов являются:

- регулирование поверхностного стока;
- планировка поверхности;
- посев многолетних трав и промежуточных культур;
- реплантация смытых почв;
- создание контурных буферных полос;
- сохранение на поверхности почвы растительных остатков;
- оптимизация противодефляционной способности растений.

Примером реконструирования элементов агроэкосистемы может быть система выравнивания плодородия и приостановления эрозии почв склонов методом реплантации, в основе которого лежит восстановление почвенного профиля с помощью отвалов полнопрофильных почв, образующихся на месте строительства, намытых делювиальных почв, илистых отложений.

Экологически чистыми способами пополнения органического вещества в почвах являются растительные остатки, побочная продукция сельскохозяйственных культур, сидераты, внесение которых одновременно обеспечивает повышение pH и улучшение водно-физических свойств. Использование бобовых культур в качестве сидератов является эффективным средством создания благоприятной сбалансированной структуры микробных сообществ, обеспечивает повышение запасов легкоразлагаемых углеродсодержащих соединений и минеральных форм азота.

Повышение доступности остаточных фосфатов, аккумулированных в почве вследствие систематического внесения фосфорных удобрений, обеспечивается за счет мелиоративных приемов, способствующих ослаблению адсорбции фосфатов и изменению соотношения фракции Ca-P и Fe-P, поддержанию сбалансированного соотношения в почвенном растворе N/P_2O_5 , близкого к 0,3, внесению органических удобрений, которые активируют биохимические процессы мобилизации фосфатов, а также возделыванию культур, благодаря биологическим особенностям которых можно контролировать усвоение фосфатов из соединений Ca-P, Fe-P, Al-P. В частности, гречиха и горох адаптированы к Al-фосфатам, люпин и ячмень к Al-P и Ca-P соединениям, овес – к Al-P и Fe-P; высокой способностью усваивать остаточные фосфаты обладают также люцерна и эспарцет.

Очистку почв, загрязненных тяжелыми металлами, можно производить двумя путями: воздействуя на их подвижность в почве (например, известкование) либо на потребность растений в этих элементах (использование закономерностей антагонизма-синергизма ионов, подбор культур накопителей тяжелых металлов). Создаваемые агроценозы должны быть не только высокопродуктивными, но и не вызывать нарушений в местных экосистемах, поэтому на **третьем этапе** проводятся работы по **сохранению естественной растительности в качестве буферных полос и зон**, а также соблюдению пропорций между конструируемой агроэкосистемой и природной.

За миллионы лет эволюции отобраны только те виды, а также сообщества видов, которые способны обеспечить устойчивость. При замене естественной биоты культурными видами последние во всех случаях теряют способность не только компенсировать возмущения внешней среды, но и обеспечивать с необходимой точностью замыкание круговоротов веществ при отсутствии возмущений; сохранение разнообра-

зия живых организмов, возникших в результате длительной эволюции, необходимо не только для поддержания генофонда, сколько в силу их способности в составе естественных сообществ обеспечивать устойчивость окружающей среды.

С увеличением нагрузок область поражения экосистемы расширяется. Стационарное состояние окружающей среды может поддерживаться до тех пор, пока остающаяся не подверженной воздействию часть биоты сохраняет способность компенсировать все антропогенные нагрузки, т.е. до тех пор, пока порог устойчивости не будет превышен в глобальном масштабе. Наблюдаемые в настоящее время изменения окружающей среды однозначно указывают на возможность превышения порога устойчивости естественной биоты.



Задание 1.11.1. Назовите пять принципов С.С.Шварца оптимизации экосистем. Дайте им краткую характеристику.

Видный отечественный эколог – академик С.С.Шварц (1976) – сформулировал пять основных требований, которым должен соответствовать «хороший» биогеоценоз.

▶ Продукция (биомасса) всех основных звеньев трофических (пищевых) цепей высокая. Характерное для антропогенных ландшафтов резкое преобладание фитомассы над зоомассой выражено не резко. Это обеспечивает синтез большого количества кислорода и синтез большого количества продуктов животного и растительного происхождения.

▶ Высокой продукции соответствует высокая продуктивность. Произведение «продуктивность × биомасса» максимально. Это создает предпосылки для быстрой компенсации возможных потерь биомассы на отдельных трофических уровнях в результате случайных или закономерных внешних воздействий. Это обстоятельство особенно важно. Высокая продукция не гарантирует высшую компенсаторную активность. Теория показывает, что богатейшие тропические леса не могли бы выдержать ту степень промысловой нагрузки даже в течение нескольких лет, которую на протяжении многих веков несет наша скромная северная тайга.

▶ Структура системы в целом и разнородность отдельных трофических уровней обеспечивают высокую стабильность (гомеостаз) биогеоценоза в широком диапазоне внешних условий. Совершенство гомеостатических реакций характерно не только для популяций доминирующих видов животных и растений, но и для экосистемы в целом. Поддержание биоценоза в состоянии динамического равновесия обеспечивает состояние гомеостаза неживых составляющих биогеоценоза, в том числе и гидрологического режима территории и газового состава атмосферы. Экосистема обладает высшей степенью «помехоустойчивости».

▶ Обмен вещества и энергии протекает с большей скоростью. Процессы редукции (распада) вовлекают вещества в биогеоценозический круговорот всей продуцируемой биоценозом биомассы в течение немногих годовых циклов. Это обеспечивает максимальную скорость биологической самоочистки системы.

▶ Высшая степень продуктивности и стабильности экосистемы сопровождается высшей «резервной активностью» – способностью к быстрой перестройке структуры сообщества и к быстрым эволюционным преобразованиям популяций доминирующих

видов при изменении внешней среды. Это обеспечивает поддержание биогеоценоза в оптимальном состоянии при изменении условий среды...».

Только обеспечив практическую реализацию этих требований, можно считать, что целевая функция оптимизации достигнута.

1.12. СБАЛАНСИРОВАННОСТЬ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ГУМИФИКАЦИИ – ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕДОСФЕРЫ

Разрушение и создание органического вещества составляет сущность почвообразования. Из этого общеизвестного положения вытекает принципиально важное следствие – **соотношение между процессами минерализации и гумификации обуславливает экологическое равновесие в почве**. Сбалансированность названных процессов отражает суть экологической устойчивости почвенного блока, следовательно, и агроэкосистемы в целом. Определение количественных параметров, соответствующих состоянию экологического равновесия в почве, раскрытие его природы и на этой основе разработка методов целенаправленного воспроизводства почвенного плодородия – важная научно-практическая, требующая комплексных решений, в том числе и с учетом агроэкологических аспектов проблема.

Достаточно значимым количественным показателем интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы может служить **отчуждение (вынос) азота с урожаем сельскохозяйственных культур**.

Процессы гумусообразования, наоборот, связаны непосредственно с накоплением азота в почве, поэтому величину аккумуляции его в приросте запасов гумуса можно принять за объективный показатель гумификации.

Исходя из данных предпосылок, оценку сбалансированности процессов гумификации и минерализации в почвенном блоке агроэкосистемы реально проводить, основываясь на определении агроэкологического параметра – **коэффициента биологической утилизации азота удобрений** (K_{UT}^n). Названный показатель исчисляется как сумма коэффициентов усвоения возделываемыми растениями элемента из удобрений ($K_{УСВ}^n$) и аккумуляции его в природе гумуса за ротацию севооборота по отношению к количеству, определяемому перед закладкой опыта (K_{UT}^n).

Отношение коэффициента усвоения азота удобрений к коэффициенту их аккумуляции ($K_{УСВ}^n : K_{ак}^n$) отражает степень сбалансированности в почве процессов минерализации и гумификации, а значит, и направленность в почвообразовании за ротацию севооборота.

Очевидно, что оно (отношение) наряду с другими показателями может служить **объективным экологическим критерием оценки устойчивости высокопродуктивной агроэкосистемы**. Степень устойчивости почвенного блока агроэкосистемы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{уст}} = K_{\text{усв}}^n / K_{\text{ак}}^n$$

где $\mathcal{E}_{\text{уст}}$ – интегральный показатель экологической устойчивости почвенного блока агроэкосистемы; $K_{\text{усв}}^n$ – коэффициент усвоения азота культурами за ротацию севооборота, в %; $K_{\text{ак}}^n$ – коэффициент аккумуляции азота в приросте гумуса за ротацию севооборота, в %.

Величина биологической утилизации азота удобрений напрямую связана с особенностями их влияния на эффективное и потенциальное плодородие почвы, а также на урожайность и вынос азота возделываемыми на полях севооборота культурами. Многолетними полевыми опытами установлено, чем больше азота удобрений потребуют растения за ротацию, тем меньше этого биологического элемента аккумулируется в ноогумусе и тем большую часть коэффициента биоутилизации ($K_{\text{ут}}$) составляет показатель коэффициента усвоения ($K_{\text{усв}}^n$). Это особенно наглядно прослеживается, например, при заделке в почву зеленого удобрения, богатого легкоминерализующими веществами (белками, углеводами и т.п.). Обратная зависимость наблюдается при запашке в почву инертного органического вещества соломы, азот которой медленно минерализуется в гумусовых веществах. Поэтому в показателе коэффициента биоутилизации азота соломы основной удельный вес приходится на величину коэффициента аккумуляции его в приросте гумуса за ротацию севооборота.

Коэффициент биологической утилизации азота минерального удобрения полностью определяется величиной его выноса с урожаем возделываемых в севообороте культур (то есть практически без закрепления в составе гумусовых веществ). Систематическое внесение только технического азота ведет к ускорению антиэкологического процесса дегумификации почвы. В отличие от минеральных азотных удобрений применение органических способствует наряду с улучшением азотного питания культурных растений активизации в почве процессов гумификации, что находит отражение в структуре коэффициента биоутилизации.



Как влияют органические и минеральные удобрения на коэффициент биологической утилизации азота?

Органические удобрения, за исключением сидератов, значительно (на 25–65%) превосходят минеральные по величине коэффициента биоутилизации азота в результате положительного влияния на процессы новообразования гумуса. Совместное применение органических и минеральных удобрений половинными нормами по NPK заметно (на 19–26%) уменьшает $K_{\text{ут}}$ по сравнению с внесением одной органики. Резко сокращается показатель коэффициента биоутилизации азота удобрений (органических – вдвое, минеральных – в 1,3 раза) и при увеличении насыщенности севооборота минеральными туками с 40 до 120 кг/га действующего вещества.

Как интегральный количественный показатель, характеризующий влияние удобрений на процессы минерализации и гумификации, коэффициент биоутилизации азота удобрений отражает изменения как эффективного, так и потенциального плодородия.

При оптимальном сочетании процессов гумификации и минерализации чем больше величина биоутилизации, тем рациональнее применение азотсодержащих удобрений и меньше химическая нагрузка на окружающую среду, что особенно актуально для позитивного решения азотной проблемы, имеющей биосферное значение.

Однако для объективной агроэкологической оценки эффективности применения азотсодержащих удобрений важно знать не только абсолютную величину биологической утилизации (K_{yt}^n), но и, что особенно существенно для установления изменений устойчивости педосферы, соотношение между азотом, потребляемым растениями (K_{ycb}^n) и аккумулируемым в приросте гумуса за ротацию севооборота ($K_{ак}^n$).

Соотношение $K_{ycb}^n : K_{ак}^n$ в значительной степени отражает природу взаимозависимости между процессами минерализации и гумификации.

Оптимизация этих диаметрально противоположных процессов – актуальный вопрос формирования экологических систем земледелия, успешное решение которого позволяет контролировать и целенаправленно воздействовать на центральное экологическое равновесие в почвенном балансе агроэкосистемы. Именно сбалансированностью, с одной стороны, уровень продуктивности возделываемых культур, а с другой – масштабы воспроизводства почвенного плодородия. Разумеется, количественный контроль за этими постоянно протекающими в почве процессами достаточно значим в экологическом отношении.



В каких пределах изменяется величина коэффициента биологической утилизации азота?

В орошаемых темно-каштановых почвах Поволжья, например, близкое к оптимальному отношение между процессами минерализации и гумификации $K_{ycb}^n : K_{ак}^n$, равное 2...3 в целом за ротацию пятипольного полевого севооборота, поддерживают: внесение 42 т/га навоза и культура люцерны. В таком варианте довольно-таки высокое потребление азота растениями на создание урожая сочетается с расширенным воспроизводством гумуса.

Уменьшение отношения $K_{ycb}^n : K_{ак}^n$ характерно для инертного органического вещества, в частности соломы, азот которой слабо усваивается культурами и большей частью закрепляется в гумусе. Противоположная картина наблюдается при заделке в почву минеральных удобрений и сидератов, существенно не оказывающих влияния на процессы минерализации.

В соответствии с результатами проводившихся исследований можно, например, констатировать, что для орошаемых темно-каштановых почв Поволжья приемлем диапазон колебаний рассматриваемого отношения в пределах 0,5...15. Снижение значений критериального отношения $K_{ycb}^n : K_{ак}^n$ до 0,5 и менее соответствует существенному уменьшению продуцирующей способности растений. И, наоборот, повышение величин отношения до значений более 15 нецелесообразно по экологическим причинам, так как в этом случае используемый показатель отражает значительное

падение процесса воспроизводства гумуса, что в конечном счете неминуемо ведет к опустыниванию агроэкосистемы.

Таким образом, показатель биологической утилизации азота удобрений, позволяющий судить и об устойчивости всей агроэкосистемы, может служить в качестве важного агроэкологического критерия устойчивости почвенного блока. Критерий $E_{уст}$ дает возможность количественно оценить степень сбалансированности в почве диаметрально противоположных процессов минерализации и гумификации, что исключительно активно для моделирования оптимизации эффективного и потенциального плодородия. Выявление оптимальных значений коэффициентов биоутилизации ($K_{ут}^n$) и устойчивости ($E_{уст}$) вносимого азота удобрений за ротацию в севооборотах должно входить в программу агроэкологического мониторинга в длительных стационарных опытах-полигонах, заложенных в различных почвенно-климатических зонах. Следует иметь в виду, что определение отношения $K_{усв}^n : K_{ак}^n$ за ротацию севооборота можно использовать в качестве критерия влияния на экологическую устойчивость педосферы (почвы) и агроэкосистемы не только удобрений, но и различных агротехнических приемов.

Состояние $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ в значительной степени зависит от условий выращивания растений и агротехнических приемов.

Оптимальные значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ зависят от почвенно-климатических условий, агротехнических приемов и севооборота. В агроэкологическом мониторинге рекомендуется использовать значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ в качестве критерия устойчивости агроэкосистемы.

В каких пределах изменяется коэффициент $K_{усв}^n$ в зависимости от условий выращивания растений?

В агроэкологическом мониторинге рекомендуется использовать значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ в качестве критерия устойчивости агроэкосистемы. В зависимости от почвенно-климатических условий и агротехнических приемов значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ могут изменяться в широких пределах.

Уменьшение отношения $K_{усв}^n : K_{ак}^n$ свидетельствует о снижении устойчивости агроэкосистемы. Это может быть связано с увеличением потерь азота в почве или с уменьшением его усвоения растениями.

В соответствии с рекомендациями агроэкологического мониторинга рекомендуется использовать значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ в качестве критерия устойчивости агроэкосистемы. В зависимости от почвенно-климатических условий и агротехнических приемов значения $K_{усв}^n$ и $K_{ак}^n$ могут изменяться в широких пределах.

А•Я

СЛОВАРЬ

Допустимые пределы изменений –

максимальные и минимальные критические величины параметров состояния природных систем, внутри которых они обладают устойчивостью и не разрушаются.

Емкость –

способность абсорбировать без изменения своего состояния чужеродные воздействия внешних факторов (посторонние вещества, избыточную энергию и т.п.).

Инерция –

способность природных систем в некоторых пределах противостоять действию внешних факторов без изменения своего состояния.

Оползни –

отрыв и скольжение по склону больших масс горных пород и почвы под влиянием собственной силы тяжести, чаще всего в результате действия грунтовых вод.

Устойчивость –

это способность самосохранения и саморегулирования в пределах, не превышающих определенных критических величин (допустимых пределов изменений). Речь идет о способности экосистем при внешних воздействиях (в том числе антропогенных) сохранять свою структуру и основные функции. Особая роль здесь принадлежит биоте, которая, трансформируя абиотическую среду, смягчает внешние воздействия.

Различают **резистентную** и **упругую** устойчивость. В первом случае имеется в виду свойство системы сопротивляться нарушениям, поддерживать свою структуру и функции, во втором – способность восстанавливать свое состояние (то есть важнейшие характеристики на определенном временном интервале) после того, как структура и функции системы были нарушены.

Эластичность природных систем –

способность в некоторых пределах менять свое состояние под влиянием внешних факторов и возвращаться в исходное состояние при прекращении их действия.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

СЛОВАРЬ

R-A

- 1 Какие цели, задачи решает агроэкологический мониторинг?
- 2 Что происходит в агроэкосистемах при антропогенных воздействиях?
- 3 В чем суть изменчивости, трансформации и развития экосистем?
- 4 Почему важно регулировать хозяйственные нагрузки на ландшафт с учетом его природной структуры?
- 5 Какими отличительными признаками обладают агроэкосистемы и по каким параметрам оценивают их функционирование?
- 6 Какие требования необходимо учитывать при оценке экологической устойчивости ландшафта?
- 7 Что такое устойчивость агроэкосистем и чем она обеспечивается?
- 8 Какие адаптивные зоны устойчивости характерны для микробеценозов и растений?
- 9 Почему технология локального применения азотных удобрений считается экологически безопасной?
- 10 Какие особенности характерны для биологической системы земледелия?
- 11 Что такое пять принципов оптимизации экосистем?

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Что Вы будете изучать?	3
Цели модуля	3
После изучения модуля Вы сможете	3
Основная литература	4
Дополнительная литература	4
Ключевые слова	4
1.1. Роль агроэкологического мониторинга в устойчивом развитии агроэкосистем	
1.2. Устойчивое развитие природных комплексов	8
1.3. Целостность и изменчивость агроэкосистем	11
1.4. Основные принципы устройства и организации агроэкосистем	14
1.5. Оптимизация структурно-функциональной организации агроэкосистем – основа повышения их продуктивности и устойчивого развития	18
1.6. Методологические основы экологической оценки агроландшафтов в целях их оптимизации	23
1.7. Устойчивость агроэкосистем	29
1.8. Антропогенное воздействие и реакция микробного сообщества	33
1.9. Нормы реакции агрофитоценоза на антропогенные воздействия	35
1.10. Устойчивость агроэкосистем при разных системах земледелия	39
1.11. Условия реконструкции и создания устойчивости агроэкосистем	44
1.12. Сбалансированность процессов минерализации и гумификации – интегральный показатель экологической устойчивости педосферы	47
Словарь	51
Контрольные вопросы	52

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение
2	Что Вы будете изучать?
3	Цели модуля
3	После изучения модуля Вы сможете
4	Основная литература
4	Дополнительная литература
4	Ключевые слова
1.1	Роль агроэкологического мониторинга в устойчивом развитии
1.2	Устойчивое развитие агроэкосистем
1.3	Устойчивость агроэкосистем
1.4	Основные понятия агроэкологии
1.5	Оптимальная структура агроэкосистем
1.6	Устойчивость агроэкосистем к внешним воздействиям
1.7	Методы оценки устойчивости агроэкосистем
1.8	Методы оценки устойчивости агроэкосистем
1.9	Устойчивость агроэкосистем
1.10	Устойчивость агроэкосистем
1.11	Устойчивость агроэкосистем
1.12	Устойчивость агроэкосистем
1.13	Устойчивость агроэкосистем
1.14	Устойчивость агроэкосистем
1.15	Устойчивость агроэкосистем

Учебное пособие (интерактивная форма)

Олег Алексеевич СОКОЛОВ

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Отредактировано и подготовлено к печати
в Отделе научно-технической информации ПНЦ РАН.

Лицензия ЛР №040829 от 11 июля 1997 г.

Налоговая льгота – общероссийский классификатор продукции
ОК–005–93, том 2; 953000 – книги и брошюры.

Редактор *Л.И.Захватова*. Технический редактор *С.М.Ткачук*.
Художник *В.М.Рудакова*. Корректор *В.И.Дубровина*.
Компьютерная верстка *О.И.Костокрызова*.

Отпечатано в ЗАО
«Академический печатный дом»
Тираж 500 экз. Заказ № 87.