

АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Понятие агроэкосистемы. Важнейшей задачей человечества является производство продуктов питания, которые являются единственным источником получения человеком энергии. Сельскохозяйственное производство существенно трансформирует природные комплексы, в результате чего сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные образования (пашни, садовые насаждения, луга, пастбища и т.д.), занимающие около трети суши, в том числе почти 1,5 млрд га пашни.

Особой формой сельскохозяйственного производства является получение вторичной биологической продукции на промышленной основе (молочные и откормочные комплексы, свинокомплексы, птицефабрики). Высокая концентрация поголовья, совмещение процессов получения и переработки животноводческой продукции на ограниченных площадях требуют тщательных экологических решений.

В целом, в процессе целенаправленного производства первичной и вторичной биологической продукции нет ничего принципиально чуждого природным закономерностям. Однако необходимая для обеспечения устойчивости процесса производства продуктов питания человека антропогенная «модификация» его способствует обострению экологических проблем, становясь значимым фактором воздействия на окружающую природную среду. В то же время и сельскохозяйственное производство не может быть изолировано от влияния глобальных экологических изменений.

В сфере сельского хозяйства первичным структурным звеном являются функциональные единицы — агроэкосистемы (агробιοгеоценозы). Однако следует отметить, что понятие «агроэкосистема» воспринимается экологами неоднозначно. По мнению Ю. Одума (1987), агроэкосистемы — это экосистемы, которые занимают промежуточное положение между природными экосистемами (луга, леса) и искусственными (города). В то время как Р. Митчелл считает, что агроэкосистемы - это не настоящие экосистемы, т.к. структура посевов и набор культур определяется экономическими соображениями.

Сегодня *агроэкосистемы* (агробιοгеоценозы) – это вторичные, измененные человеком биогеоценозы, основу которых составляют искусственно созданные, как правило, обедненные видами живых организмов биотические сообщества. Агроэкосистемы отличаются высокой биологиче-

ской продуктивностью и доминированием одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных. Как экологические системы агроэкосистемы неустойчивы: у них слабо выражена способность к саморегулированию, без поддержки человеком они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы (например, мелиорированные земли — в болота, насаждения лесных культур — в лес).

Агроэкосистемы с преобладанием однолетних культур существуют не более одного года, многолетних трав — 3-4 года, плодовых культур — 20-30 лет, а затем они распадаются и отмирают. Полезащитные лесные полосы, являющиеся элементами агроэкосистем, в степной зоне существуют не менее 30 лет. Однако без поддержки человеком (рубки ухода, дополнения) они постепенно «дичают», превращаясь в естественные экосистемы, или погибают.

Управление агроэкосистемой осуществляется извне и подчинено внешним целям.

Типы агроэкосистем. Если рассматривать агроэкосистему как соединение естественной экологической системы и антропогенной энергии, следует отметить, что удельные затраты энергии в доиндустриальном сельском хозяйстве были сравнимы с энергопотоками в естественных экосистемах. В интенсивном сельском хозяйстве энергопотребление намного выше, что в конечном итоге уравнивает его по степени влияния на окружающую природную среду с иными антропогенными воздействиями. Природная экосистема являет собой область с замкнутым циклом и элементов питания, и первичной продукции, т. е. потоки вещества реализуются преимущественно внутри системы, а вынос их из системы почти отсутствует. Агроэкосистемы же создаются для преимущественного выноса продукции из системы, причем иногда за тысячи километров от первоначального источника формирования этой продукции.

Значительное разнообразие экосистем по размерам, целевому назначению, используемым технологическим системам ограничивает возможность разработки универсальной схемы их типизации. Отсутствие общепринятой классификации агроэкосистем восполняется в известной мере типизацией структур земледелия. Согласно этой типизации, **выделено пять видов землепользования, по каждому из которых классифицированы агроэкосистемы:**

1. *Земледельческое, или полевое, землепользование* - богарные, орошаемые агроэкосистемы (ротации зерновых, бобовых, кормовых, овощных, бахчевых, технических и лекарственных культур).

2. *Плантационно-садовое землепользование* - плантационные агроэкосистемы (чайный куст, дерево какао, кофейное дерево, сахарный тростник), садовые агроэкосистемы (плодовые сады, ягодники, виноградники).

3. *Пастбищное землепользование* - пастбищные агроэкосистемы (отгонные пастбища: тундровые, пустынные, горные; лесные пастбища; улучшенные пастбища; сенокосы; окультуренные луга).

4. *Смешанное землепользование* — смешанные агроэкосистемы, характеризующиеся равнозначным соотношением и сочетанием нескольких видов землепользования, а также процессов получения как первичной, так и вторичной биологической продукции.

5. *Землепользование в целях производства вторичной биологической продукции* — агропромышленные экосистемы (территории интенсивного «индустриализированного» производства молока, мяса, яиц и другой продукции на основе преобладающих процессов снабжения системы веществом и энергией извне).

По энергетическим вложениям выделяют **агроэкосистемы первого типа** - доиндустриальные с дополнительной энергией в виде мышечных усилий человека и животных. Агроэкосистемы этого типа, как правило, гармонирующие с природными экосистемами, занимают значительные площади пахотных земель в странах Азии, Африки и Южной Америки. **Агроэкосистемы второго типа**, требуют постоянного дополнительного привнесения энергии.

К экологически организованной агроэкосистеме предъявляется требование **сестайнинга** (от англ.— поддерживающий). Сестайнинг предусматривает систему запретов на ресурсоразрушающие методы природопользования (почвы, пастбища, гидрологический режим территории, биологическое разнообразие и т. д.). Для того чтобы осуществить требования сестайнинга, необходима оптимизация агроэкосистемы. Для этого предлагается расчетным путем устанавливать целесообразное соотношение учитываемых компонентов, основными из которых являются пашня, естественные и кормовые угодья, скот. В одних и тех же природных условиях могут реализовываться различные функциональные варианты агроэкосистемы — растениеводческая, животноводческая и комплексная, что зависит от экономической целесообразности. Сестайнинг может быть достигнут при любом количестве привносимой энергии (экстенсивный, интенсивный и адаптивный варианты). «Для любого варианта агроэкосистемы сестайнинг означает приближение к экологическому равновесию за счет обеспечения максимальной замкнутости циклов вещества, минимизации количества антропогенной энергии, по-

вышения биологического разнообразия и его потенциальной способности к формированию полезных симбиотических связей. Реализация требований оптимизации агроэкосистемы, как правило, приводит к уменьшению площади пашни, повышению доли естественных кормовых угодий, усилению значения лесомелиорации, сокращению поголовья скота, усовершенствованию севооборотов путем повышения доли почво-восстанавливающих культур».

По отношению к сохранности почвенного плодородия выделяют три базовых типа агроэкосистем:

1. природоёмкий,
2. природоохранный
3. природоулучшающий.

Природоёмкие агроэкосистемы характеризуются неполным воспроизводством естественного плодородия, что приводит к падению его уровня.

Для природоохранного типа агроэкосистем характерны простое воспроизводство естественного плодородия и, как следствие, сохранение его уровня.

Природоулучшающий тип направлен на расширенное воспроизводство и повышение уровня естественного плодородия. В последнее время доминирует природоёмкий тип.

Почва является базисом для создания любой агроэкосистемы. Физико-химические процессы, происходящие в агроэкосистемах существенно отличаются от таковых в естественных экосистемах вследствие привнесения элементов антропогенного регулирования. Принципиальное же отличие агроэкосистем от естественных заключается в преимущественном выносе с урожаем питательных веществ, аккумулируемых в выращенной продукции. Почвенное плодородие, определяемое в основном запасами гумуса, является не только главной экономической и экологической характеристикой агроэкосистемы. Уменьшение содержания гумуса ухудшает условия развития полезной микрофлоры, приводит к утрате запасов внутрисочвенной энергии, элементов минерального питания, к усилению процессов смыва и вымывания, т. е. обуславливает деградацию базиса.

Некоторые процессы в агроэкосистемах происходят не так, как в природных системах. Например, скорость инфильтрации воды в природных экосистемах выше, что существенно снижает и поверхностный сток, и вероятность развития эрозии почвы. В естественных условиях эрозию сдерживает также растительный покров, сохраняющийся в течение всего года.

Потери влаги в природной экосистеме обычно выше. Вследствие больших потерь влаги по почвенному профилю перемещается меньший объем

воды, что снижает вымывание и поступление в грунтовые воды питательных веществ.

В природных экосистемах в больших количествах содержатся органические коллоиды, которые обеспечивают ионообменную и водоудерживающую способность почвы. Потери почвой коллоидов в агроэкосистемах вызваны окислением и разрушением органического вещества, что происходит в результате длительной обработки почвы, а также при орошении. Параллельно окислению органического вещества происходит и интенсивная минерализация, что ведет к значительным потерям его подвижной части. В агроэкосистемах процессы окисления и минерализации усиливаются вследствие снижения густоты растительного покрова и повышения температуры почвы.

Цикл круговорота биогенных элементов в природных экосистемах более закрытый, чем в агроэкосистемах, где значительная их часть отчуждается с урожаем. Газообразные потери азота из почвы в агроэкосистемах значительно выше, чем в природных экосистемах, вследствие большей активности денитрифицирующих микроорганизмов.

В природных экосистемах способность растений поглощать элементы питания выше, чем скорость образования доступных их форм в почве. Растения природных экосистем имеют более разнообразную корневую систему, что позволяет полнее использовать почвенный профиль. Агротехника, при которой уменьшается разнообразие возделываемых культур, не только снижает эффективность использования влаги, но и увеличивает угрозу потери питательных веществ при вымывании их за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

Основные принципы организации агроландшафтов. В процессе длительной эволюции естественные экосистемы приобрели способность к саморегуляции и самовосстановлению. При трансформации же естественных экосистем в агроэкосистемы энергетические и информационные связи значительно изменяются. Если такие изменения выходят за рамки допустимых пределов (норм), то ландшафты 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.

Хотя будущее агроландшафтов в основном определяется хозяйственной деятельностью человека, оно во многом зависит от территориальной и

организационной согласованности природных и антропогенных структур. Еще В. В. Докучаев указывал на необходимость территориальной дифференциации и адаптации землепользования по ландшафтными зонам.

Адаптивно-ландшафтное землепользование направлено на достижение более гармоничного взаимодействия человека и природы в процессе сельскохозяйственного производства.

В настоящее время разработаны следующие принципы организации агроландшафтов:

1. *Принцип адекватности.* Производственная деятельность в агроландшафтах должна функционально соответствовать функциям биосферы, т. е. быть адекватной природным закономерностям окружающей среды. Этого можно достичь 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. В результате образуются новые природно-хозяйственные комплексы, обеспечивающие более эффективное использование биоэнергетических ресурсов, с устойчивыми агроэкосистемами, имитирующими функции биосферы.

2. *Принцип совместимости.* Компоненты (элементы) территории агроландшафтов проектируют и создают 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.

3. *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 плодородия почв. Практическую реализацию этого принципа следует рассматривать как необходимое условие формирования устойчивых агроэкосистем.

4. *Принцип пространственного и видового разнообразия.* Чем разнообразнее и сложнее структура агроландшафта, тем выше его устойчивость, способность противостоять различным внешним воздействиям. Например, сохранение естественных компонентов улучшает микроклимат, способствует увеличению численности животных, в частности птиц, питающихся насекомыми. Ландшафты, характеризующиеся большим видовым разнообразием,

лучше самовосстанавливаются и самоочищаются, поскольку сложная мозаичность их строения способствует поддержанию их устойчивости.

5. *Принципы оптимизации структуры и соотношения земельных угодий.* При землеустройстве агроландшафтов для определенного сельскохозяйственного региона землепользования в соответствии с местными природными условиями устанавливают экологически и экономически обоснованные структуру и соотношение размеров площадей пашни, лугов, леса и вод. Проблема рационального соотношения естественных и искусственных экосистем, несомненно, является одной из ключевых.

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Мониторинг окружающей природной среды. Научные, методические и организационные основы его проведения. Термин "мониторинг", произошедший от латинского "monitor" - надзирающий, предупреждающий, напоминающий и английского "monitor" - наставник, контрольное устройство, в официальных документах впервые появился в материалах **Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды (Стокгольм, 5-6 июня 1972 г.). В 1975 г.** в рамках решения программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была учреждена **Глобальная система мониторинга**, которая состоит из пяти взаимосвязанных подсистем: исследования климата, отдаленного переноса загрязняющих веществ, гигиенических аспектов окружающей среды, океана и возобновимых ресурсов суши.

Сегодня **мониторинг является основным инструментом** для выработки рекомендаций по стратегии управления компонентами природной среды. Сознательное управление окружающей средой возможно только при систематических наблюдениях за ее состоянием, оценке этого состояния, целенаправленных повторных наблюдениях (контроле этого состояния) и прогнозировании возможных изменений. Такие систематические наблюдения позволяют выявить систему многоуровневых взаимодействий между отдельными компонентами природной среды и факторами человеческой деятельности. Таким образом, **мониторинг – это система контроля, оценки и прогноза качества окружающей природной среды, включающая наблюдения за воздействием на нее человека.**

В зависимости от *цели и объектов наблюдения* мониторинг включает:

- *Экологический мониторинг целью, которого является оценка и прогноз антропогенных изменений в экосистемах и ответной реакции биоты на эти изменения.*

- **Климатический мониторинг**, который включает службу контроля и прогноза колебаний климатической системы.
- **Санитарно-гигиенический мониторинг** осуществляет контроль за загрязнением окружающей среды и сопоставлением ее качества с гигиеническими ПДК, разработанными для защиты здоровья населения.

В зависимости от **объема** контролируемой среды различают мониторинг:

- **Базовый** (слежение за состоянием и прогнозирование изменений природных процессов).
- **Глобальный** (слежение за изменением биосферных процессов).
- **Импактный** (слежение за локальными и региональными антропогенными воздействиями).

Принципы организации системы мониторинга. Для обеспечения эффективности мониторинга его построение должно базироваться на ряде основополагающих установок - принципах. Основные из них следующие:

1. **Комплексность.** Все в природе взаимосвязано, т.е. любой материальный объект, процесс или явление зависит от других объектов и различных факторов, поэтому мониторинг какого-либо объекта должен рассматриваться не как автономная система, а в совокупности с другими объектами, процессами и явлениями, для перехода от обеспечения оценочной и прогнозной информацией процесса управления данным объектом к процессу управления всеми объектами окружающей среды, т. е. к оптимизации всего процесса природопользования.

2. **Системность.** В данном аспекте мониторинг рассматривается как система различных видов деятельности и мероприятий (наблюдение и контроль, оценка и прогноз) по различным направлениям (научной, научно-методической, методико-прикладной, прикладной, технико-информационной), одновременно скоординированных во времени и пространстве для достижения общей цели - более полного и оперативного обеспечения необходимой информацией всех ее потребителей.

3. **Иерархичность** предусматривает построение мониторинга в виде соподчиненной системы, в которой обеспечивается взаимодействие подсистем и подчиненность целей функционирования подсистем низшего ранга задачам подсистем более высокого ранга.

4. **Автономность.** Мониторинг на любом уровне соподчиненности рассматривается, как самостоятельная система деятельности, решающая проблему управления объектом, явлением или процессом на данном уровне и обладающая собственным критерием оптимальности, т. е. возможностью ре-

шения проблем управления объектом, процессом, явлением на данном уровне соподчиненности.

5. **Динамичность.** Предполагается, что система мониторинга не застывшая система, а процесс постоянного его развития, в ходе которого совершенствуется структура и методическая основа системы, состав и перечень решаемых задач, технические средства, обслуживающие мониторинг, методы формирования, обновления и использования нормативной информации.

6. **Оптимальность.** Наиболее важная часть, предполагающая максимальную экологическую и экономическую эффективность создания и эксплуатации системы мониторинга.

Агроэкологический мониторинг: понятие, цель и задачи. Агроэкологический мониторинг является важной составляющей общей системы мониторинга и представляет собой общегосударственную систему наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агроэкосистем и сопредельных с ними сред в процессе интенсивной сельскохозяйственной деятельности.

Его основной конечной **целью** является создание высокоэффективных, экологически сбалансированных агроценозов на основе рационального использования и расширенного воспроизводства природно-ресурсного потенциала, грамотного применения средств химизации и т. д.

В системе агроэкологического мониторинга важной базовой составляющей является комплексная эколого-токсикологическая оценка исследуемых объектов.

Контроль за накоплением растениями токсичных соединений и качеством растительной продукции входит в число системообразующих задач агроэкологического мониторинга. Токсикологическая же оценка продукции растениеводства определяет эколого-экономическую эффективность всего технологического комплекса возделывания культур. Исходными данными для решения этих вопросов должны служить материалы агроэкологического мониторинга.

Остаточные количества пестицидов в почве и растениях определяют официальными методами, утвержденными уполномоченными на то органами (Госхимкомиссия, Минздрав и др.). Оценивают получаемую информацию сравнением с нормативами ПДК и МДУ в почве и растениях. Параллельно с остаточным количеством пестицидов в растительных образцах на основе стандартных методов исследуется содержание азотсодержащих токсикантов

(NO₂, NO₃, нитрозоамины), тяжелых металлов, фтора, мышьяка, хлора, ряда микроэлементов.

В задачи агроэкологического мониторинга входят:

- организация наблюдений за состоянием агроэкосистем;
- получение систематической объективной 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 и рекомендаций; консультации;
- предупреждение возникновения экстремальных ситуаций и обоснование путей выхода из них;
- направленное управление эффективностью агроэкосистем.

Основными **принципами** агроэкологического мониторинга являются:

- **Комплексность**, т.е. одновременный контроль за тремя группами показателей, отражающих наиболее существенные особенности вариабельности агроэкосистем (показатели ранней диагностики изменений; показатели, характеризующие сезонные или кратко срочные 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, почвоведомы и т. д.) по согласованным программам под единым научно-методическим руководством.
- **Системность исследований**, т.е. одновременное исследование блока компонентов агроэкосистемы: атмосфера - вода - почва - 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.

Экологический мониторинг растений предполагает фиксацию не только количества и качества урожая в конце вегетации, но данные по всем динамическим показателям его формирования (накопление биомассы; формирование листовой поверхности для последующего расчета использования фотосинтетического потенциала, закладка и реализация элементов продуктивности растений).

Проведение таких наблюдений позволит уточнить сроки агротехнических и агрохимических мероприятий, контролировать развитие процессов формирования урожая. Зная оптимальные параметры отдельных элементов, можно регулировать их.

При интенсивных технологиях возделывания зерновых культур для целесообразного внедрения различных агротехнических мероприятий, направленных на увеличение урожайности, важен учет не только фаз, но и этапов развития растений.

Критерии экологической оценки территории. Проведение рационального природопользования на любых территориях требует объективной и комплексной экологической оценки состояния природной среды. Интегральная оценка состояния природной среды и геологической среды в частности (природно-геологической среды) является сложнейшей геоэкологической задачей, находящейся в познавательной методико-методологической цепочке: **системный подход → системный анализ → интегральная оценка**. Поскольку единого интегрального показателя экологического состояния в настоящее время не существует, критериями оценки экологического состояния природных сред и экосистем служит ряд биоиндикационных, пространственных и динамических показателей, а интегральная оценка осуществляется на основе определенного числа наиболее представительных показателей.

В настоящее время большинство исследователей предлагают выделять 4 уровня природно-антропогенных экологических нарушений: **нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б)**. В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушений экосистем по глубине и необратимости:

1. Уровень **нормы (Н)** – зона экологической нормы или класс удовлетворительного (благоприятного) состояния среды. Это территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем, их относительной стабильности. Значение прямых критериев оценки ниже ПДК или фоновых. Деградация земель менее 5% площади.

2. Уровень **риска (Р)** – зона экологического риска или класс условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния среды. Это территории с за-

метным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, ведущим к спонтанной деградации экосистем, но ещё с обратимыми нарушениями. Эти территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки незначительно превышают ПДК или фон. Деградация земель от 5 до 20% площади.

3. Уровень **кризиса (К)** – зона экологического кризиса или класса неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния среды. Это территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем и трудно обратимыми нарушениями. Здесь необходимо выборочное хозяйственное использование территорий и планирование их глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки значительно превышают ПДК или фон. Деградация земель от 20 до 50% площади.

4. Уровень **бедствия (Б)** – зона экологического бедствия (катастрофы) или класса катастрофического состояния сред. Это территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, включающими данную территорию из хозяйственного использования. Значения прямых критериев оценки в десятки раз превышают ПДК или фон. Деградация земель более 50% площади.