

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



Tacis Project FD Rus 9702  
«Укрепление реформ в сельском  
хозяйстве посредством образования»

# *Агроэкология*

В.А.ЧЕРНИКОВ

*Сельскохозяйственная экология*

МОДУЛЬ 6

**ИНТЕРАКТИВНАЯ ФОРМА**

УДК 631.95.001.5

**Черников В.А.** Агроэкология. Модуль 6. Сельскохозяйственная экология. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000 г. 102 с.

Данный модуль 6 «Сельскохозяйственная экология», посвященный основам организации и развития современных агроэкосистем и проблемам природоохранных мероприятий для обеспечения устойчивого развития АПК, подготовлен в рамках проектов Tacis Project FD Rus 9702 «Укрепление реформ в сельском хозяйстве посредством образования» и Tempus T.Jer. 1032397 «Совершенствование агроэкологического образования» в серии работ «Агроэкология» в качестве интерактивной формы для дистанционного обучения.

## МОДУЛЬ 6. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

### Введение

Развитие агропромышленного комплекса объективно требует научно обоснованного учета и рационального использования природных, технико-экономических, общественно-исторических и организационно-хозяйственных факторов сельскохозяйственного производства.

При этом именно природные факторы являются естественной основой, базисом производства, а все остальные порождены самим общественным производством. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда обеспечивается близкий к оптимальному или оптимальный уровень соотношения перечисленных факторов. Тем не менее, в сельскохозяйственном производстве рациональная стратегия, целесообразная направленность хозяйственной деятельности существенным образом зависят от степени учета природного базиса (почва, вода, климат и т.д.).

Аграрный сектор экономики связан с воспроизводством живых организмов – растений и животных, а следовательно, сохраняет специфику, обусловленную природными факторами, несмотря на рост технической вооруженности, масштабы обобществления производства и т.д. Качественные преобразования, направленные на выведение новых сортов и пород, создание прогрессивных технологий, химизацию и мелиорацию, служат, по существу, активным средством повышения уровня рационального использования природного базиса, его производительной силы.

### Что Вы будете изучать

- Особенности функционирования агроэкосистем: структура, свойства, принципы устойчивости.
- Закономерности действия экологических факторов.
- Экологические проблемы растениеводческой и животноводческой отраслей сельскохозяйственного производства.
- Систему природоохранных мероприятий в АПК.

### Цели модуля

- Дать основы организации и развития современных агроэкосистем.
- Показать особенности действия природных и антропогенных факторов на экосистемы.

- Изучить экологические проблемы сельскохозяйственного производства (химизации, мелиорации, механизации, животноводства).
- Изучить систему природоохранных мероприятий для обеспечения устойчивого развития АПК.

### После изучения модуля Вы сможете

- Владеть научными основами функционирования агроэкосистем.
- Применять на практике систему мероприятий по экологически безопасному функционированию агроэкосистем.
- Дать четкое обоснование применению системы природоохранных мероприятий устойчивого развития АПК.

### Основная литература



1. Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. и др. Агроэкология. М.: Колос, 2000. 536 с.

### Дополнительная литература



1. Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. М.: 1985.
2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: 1986.
3. Куценко А.М., Писаренко В.Н. Охрана окружающей среды в сельском хозяйстве. Киев.: 1991.

### Видеофильмы



- 1.1. Экологическая революция.
- 1.7. Спасти Землю – накормить мир.
- 3.8. Атака на эрозию.
5. Жить или не жить.



#### Ключевые слова

Абиотические факторы среды, автотрофия, агроландшафт, антропогенные факторы, безотходная технология, биоиндикатор, биологическое самоочищение, буферность почвы, видовое разнообразие, генофонд, лимитирующий фактор, максимально допустимые уровни, метаболизм, мутации, ниша экологическая, нормы использования природных ресурсов, охрана окружающей среды, персистентность, равновесие экологическое.

## 6.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИИ, СВЯЗЬ ЕЕ С ДРУГИМИ НАУКАМИ

История становления экологии, как, впрочем, и других наук, неразрывно связана с возникновением и развитием человеческого общества. При этом от первого предка человека до вида *Homo sapiens* развитие является итогом ряда биотических преобразований под доминирующим воздействием постоянно усиливающегося социального начала («Диалектика живой природы, 1984»). Биотическое начало служило и будет служить предпосылкой формирования социальных свойств нынешних и будущих поколений людей. Адекватно исторически длительному процессу формирования человеческой популяции развивался процесс освоения природных ресурсов, являющихся незаменимым источником жизнеобеспечения. По мере роста масштабов и совершенствования способов изъятия природного вещества (в различных его видах) объективно вырабатывалось осознание связи с внешним миром и зависимости от него. В результате, с одной стороны, закладывались и приобретались навыки, условно говоря, «целесообразного» отношения к природе, а с другой (пусть и стихийно, подсознательно) – формировались информационное поле и ростки естественнонаучного, в том числе и экологического, знания.



|| Где и когда зародились первые экологические знания? Приведите примеры.

До наших дней сохранились, например, наскальные рисунки, изображающие сцены охоты, животных, культивирование растений, оставленные людьми палеолита – древнейшего периода каменного века. Нет сомнений, что древний человек – охотник и собиратель – был знаком с повадками зверей, знал сроки плодоношения полезных для него растений, время наступления холодных и теплых, сухих и влажных периодов и т.д. Немало сведений такого рода встречается в древних египетских, индусских, китайских, тибетских и античных европейских письменных источниках. Любопытны юридические нормы, существовавшие в Эфиопии во времена Аксумской цивилизации (IV в. н.э.), согласно которым из гражданского оборота изымались речная рыба, птица, степные и лесные млекопитающие. Их не должны были продавать и покупать. Жители высокогорий, например, освобождались от обработки и выпаса скота, но должны были сохранять водный сток в более низколежащие пояса гор, чистоту вод.

Античные ученые не были, разумеется, экологами. Тем не менее, вклад их в развитие знаний о природе значителен. Древнегреческому философу Эмпедоклу из Акраганта (490–430 гг. до н.э.), например, принадлежит первое осмысление связи растений со средой; им же высказана догадка об эволюции животных в результате естественного отбора. Аристотель (384–285 гг. до н.э.) в «Истории животных» предложил первую классификацию животных, имеющую «экологическую окраску» (приспособленность животных к условиям места обитания, зависимость их морфологических особенностей от условий внешней среды, сезонная и суточная активность, особенности питания и др.) Теофраст (Феофраст, 370–285 гг. до н.э.), ученик Аристотеля, в труде «Исследования о растениях» дал описание почти 500 видов растений, с учетом местообитания выделил их естественные группировки, практически заложив основы геоботаники. Древнегреческим ученым принадлежит приоритет в разработке основ теории детерминизма – признания всеобщей объективной закономерности и причинной обусловленности всех яв-

лений природы и общества. Вслушиваться в голос природы и понимать его, действовать в согласии с ней – таков завет эллинов.

Дальнейшее развитие естественные науки получили в Древнем Риме. Особо следует выделить Плиния Старшего (23–79 гг. н.э.), который в многотомном труде **«Естественная история»** обобщил данные по ботанике, зоологии, лесному хозяйству. К первому веку н.э. относится деятельность древнейшего известного ученого-агронома Колумеллы, который хорошо уже знал роль удобрений, особенности агротехники и роста сельскохозяйственных культур.



**Задание 6.1.1.** Назовите три этапа развития экологии. Дайте им краткую характеристику: научная парадигма, представители научных течений и временные отрезки.

Становлению и развитию экологического мышления в России в немалой степени способствовали проведенные в XVIII в. экспедиции в различные провинции страны. Результаты изложены в обстоятельных научных трудах (С.П.Крашенинников – **«Описание земли Камчатки»**, 1755 г.; И.И.Лепехин – **«Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъютанта Ивана Лепехина по различным провинциям Российского государства»**, 1771 г.; П.С.Паллас – **«Путешествие по различным провинциям Российского государства»**, 1773 г.). Экологическое значение упомянутых сочинений определяется содержащимися в них обширными сведениями по видовому составу растений и животных, а также его динамике в зависимости от изменения внешних условий конкретных местообитаний. В 1775 г. россиянин А.А.Коверзнев в серьезной работе **«О перерождении животных»** обосновал вывод о зависимости изменчивости животных организмов под воздействием факторов среды обитания.



**Почему А.Т.Болотова называют основоположником современной сельскохозяйственной экологии?**

В ряду называемых имен и дат особое место занимает Андрей Тимофеевич Болотов (1738–1833 гг.). На могильном камне его скромно начертано: «Коллежский асессор», что в дореволюционной России соответствовало гражданскому чину 8 класса. На самом же деле это был пылкий искатель и великий творец, оставивший в наследство 350 томов опубликованных и неопубликованных сочинений.

Первый агроном, Первый биолог, Первый лесовод, Первый помолог, Первый селекционер, Первый фенолог; Плодовитейший писатель со своим обогнавшим время языком; Драматург; Критик; Основатель и единственный автор первых на Руси сельских журналов; Талантливейший живописец; Искуснейший врачеватель; Изобретатель...

И все это – в лице одного человека. А.Т.Болотов много внимания уделял влиянию среды на организм, создал одну из первых классификаций местообитания, затронул вопросы взаимоотношений между организмами. В 1770 г. опубликован знаменитый трактат **«Об удобрении земель»**, в котором автор высказывается вполне определенно: «Все растения состоят наиболее из вещей, принадлежащих к царству минералов». Следовательно, корни высасывают особые минеральные частички и «надобно в той земле сим вещам в довольном количестве находиться». При этом А.Т.Болотов преду-

преждал, что **довольное количество в почве еще не все; необходимо, чтобы она находилась в доступной для растений форме**. Небезынтересно, что спустя тридцать лет (1800 г.) Берлинская академия наук объявила конкурс на установление источников питательных веществ для растения. Премия была присуждена известному ученому Шрадеру, утверждавшему, что растение берет все необходимое из... воды?! И только в середине XIX в. окончательно восторжествовала болотовская точка зрения, без которой немыслимо представить современное земледелие. А вот еще одна работа, теперь уже А.Т.Болотова-ботаника, **«Примечания о травах вообще и о различиях их»**. И маленький фрагмент экологической направленности из нее:

«Травы, хотя и кажутся нам, что растут в смешении друг с другом и сущюю белибердою, однако сия беспорядица далеко не такова велика, когда рассмотреть ближе. Пересматривая травы, а особливо снабженные природой разными врачебными действиями, находим мы, что она не везде и не во всяком месте повелела им произрастать, но, разметав их по всему шару земному, разделила их по разным странам и землям, и велела иным быть свойственным одной, а другим другой стране, а потом и на одной земле распределила им разные места, положения и урочища, где бы им водиться и способнее размножаться».

Этот неутомимый исследователь не был экологом, но многие результаты его наблюдений, не утратившие значения и сейчас, дают весомые основания считать его одним из основоположников современной сельскохозяйственной экологии. По сути дела только сегодня осознается значимость творческого наследия А.Т.Болотова.

Начало XIX в. ознаменовалось публикацией сочинения **«Гидрогеология»** (1802 г.) и многотомного труда **«Основы зоологии»** (1809 г.), принадлежащих перу виднейшего биолога Ж.Б.Ламарка (Франция). В **«Гидрогеологии»** автор заложил основы учения о биосфере и независимо от немецкого ученого К.Ф.Бурдаха (1800 г.) предложил термин **«биология»**, вложив в него глубокое содержание. В капитальной **«Философии зоологии»** получила обоснование концепция о развитии живой природы, раскрывающая сущность взаимодействий в системе «организм-среда» как основу эволюции. Положение этой концепции о возможности наследования приобретенных признаков, как известно, играет важную роль в биологии.

Для развития экологии, особенно агроэкологии, существенное значение имело издание в 1840 г. книги немецкого химика Ю.Либиха **«Химия в приложении к земледелию и физиологии»**, которая произвела коренной переворот во взглядах на питание растений. В этой книге содержится уничтожающая критика гумусовой (органической) теории питания растений и сформулированы основные положения теории минерального (автотрофного) питания.

Вспомним, что это произошло через семь десятилетий после опубликования упоминавшегося трактата А.Т.Болотова.

Ю.Либих первым сформулировал **«закон возврата»** и **«закон минимума»** (лимитирующих факторов), а также обратил внимание на необходимость изучения круговорота элементов питания в земледелии, что остается актуальным в экологическом отношении и в настоящее время. Учение о необходимости возврата питательных веществ, отчуждаемых с урожаем, для поддержания плодородия почвы К.А.Тимирязев относил к величайшим приобретениям науки.

В этот период прослеживается тенденция комплексного подхода к изучению природы. Значительное влияние на становление и развитие системного метода изучения закономерностей функционирования растительных и животных организмов, протекания явлений природы оказали труды немецкого и российского естествоиспытателей А.Гумбольдта (1769–1859 гг.) и К.Ф.Рулье (1814–1858 гг.). В многотомнике **«Космос»** (1845 г.) А.Гумбольдт показал значение климата для жизни растений, ввел понятие изотерм, отстаивал идею горизонтальной зональной и вертикальной поясности в пространстве растений, предвосхитил понятие их жизненных форм. К.Ф.Рулье впервые в России обосновал закономерности воздействия среды на развитие органического мира, разработал широкую систему изучения животных, в том числе и в экологическом отношении. Он утвердил понимание биотических факторов в жизни растений и животных, географической и экологической изменчивости видов.

Небезынтересно, что один из учеников и последователей К.Ф.Рулье Н.А.Северцев в 1855 г. опубликовал магистерскую диссертацию **«Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадюк Воронежской губернии»** с эпиграфом о «трех вершках ближайшего болота»... Это было первое специальное экологическое исследование в России, далеко опередившее становление экологии как науки.

Отдавая должное научным заслугам А.Гумбольдта и К.Ф.Рулье, многие экологи считают их предтечей системного познания природы как единого целого, то есть становления концепции биосферы как глобальной экосистемы.



Почему исследования Ч.Дарвина способствовали развитию экологических знаний?

Важнейшим событием мирового значения, способствовавшим дальнейшему активному развитию естественных наук, в том числе и экологии, явилась публикация знаменитого научного сочинения Чарлза Дарвина **«Происхождение видов путем естественного отбора или сохранение благоприятных пород в борьбе за жизнь»** (1859 г.), в которой дана **теория естественного отбора и происхождения видов**, по сути, глубоко обоснована эволюционная теория как обязательная составная часть экологии. В его работе не употребляется термин «экология». Однако вся научная деятельность этого великого исследователя природы серьезнейшим образом способствовала развитию экологических знаний. Ч.Дарвин, основываясь на масштабных наблюдениях и глубоких обобщениях, убедительно показал, что новые виды растений и животных возникают после прохождения длительного эволюционного развития, в результате постоянно происходящего из поколения в поколение естественного отбора особей, наиболее приспособленных к внешним условиям жизни. Главными движущими силами естественного отбора он считал:

- ▶ изменчивость;
- ▶ наследственность;
- ▶ геометрическую прогрессию размножения;
- ▶ борьбу за существование.

Борьба за существование – одна из важнейших экологических проблем (особый род отношений организмов и среды) – наиболее детально использована ученым, сделавшим основополагающий для популяционной экологии вывод о несравненно более жестокой борьбе за существование в пределах одного вида и между близкими формами, чем между различными видами.



Не случайно «крестный отец» новой науки Э.Геккель вопросы, связанные с борьбой за существование, вопросы влияния абиотических и биотических условий на живые существа предложил объединить термином **«экология»**, дав имя древнему знанию.

Первоначальный, наиболее продолжительный период становления экологии, который вполне обоснованно считается подготовительным (и даже периодом «наивной экологии»), когда отдельные фрагменты экологических знаний появлялись на свет в научных трудах ботаников, зоологов, физиологов и других представителей естественных наук, закончился в 1866 г.

В этом году немецкий зоолог Э.Геккель в предисловии к **«Всеобщей морфологии организмов»** науку об организмах и окружающей их среде назвал экологией.

Фундаментальные исследования Ч.Дарвина, концептуальные обобщения Э.Геккеля явились серьезным стимулом для активизации экологических исследований (разработка и совершенствование специальных методов, проведение теоретических обобщений и т.д.), что в целом благоприятно сказалось на развитии экологии. Во второй половине XIX в. наибольшее внимание уделяется изучению образа жизни животных и растений, их приспособленности к климатическим условиям.

Исторический путь становления экологии различные исследователи делят на разное количество временных отрезков (периодов), исходя из понимания значимости и числа событий, отражающих зарождение, формирование и развитие экологии. В ряду таких периодизаций истории экологии наиболее удачной по методическому подходу и предложенному календарю экологических событий является периодизация Г.С.Розенберга и Д.П.Мозгового (1992 г.). Согласно их классификации, **второй период охватывает конец XIX и первую треть XX в.**

На него приходится формирование факториальной экологии, накопление фактического материала по динамике популяций, изучение закономерностей отношения животных и растений к разнообразным внешним абиотическим факторам.

Термин экология все основательнее входит в научный обиход. Тем не менее, зоологи и ботаники еще долго по-разному будут осмысливать значение экологии. В зоологии главной экологической задачей считалось изучение взаимодействия отдельных организмов и групп как между собой, так и со средой. В ботанике же экология связывалась, в основном, с изучением влияния абиотических факторов на рост и развитие растений. Однако все очевиднее становится необходимость рассмотрения и изучения животного и растительного мира как целостной системы – «живого вещества» – в неразрывной связи с абиотической и биотической средой. Осознание этого требования приобретает существенное методическое значение для последующего развития экологических исследований.



Каково значение исследований В.И.Вернадского и В.В.Докучаева в развитии экологии?

Хотя рассматриваемый период (1866–1935 гг.) заметно уступает по продолжительности первому, он гораздо богаче научными событиями и открытиями экологической направленности. Уже в 1868 г. французский ученый Э.Реклю использовал понятие «биосфера», которое в 1875 г. австрийский исследователь Э.Зюсс в книге «Лик земли» самостоятельно предложил вторично. Но пройдет еще немало времени, пока в 1926 г. **В.И.Вернадский не создаст фундаментальное учение о биосфере**. В 1926 г. выходит его капитальный труд «**Биосфера**», в котором всесторонне рассмотрена и обоснована планетарная геохимическая роль «живого вещества», его глобальные функции.

И, разумеется, никак нельзя обойти умолчанием по сути эпохальное научное событие, связанное с выходом в России в 1883 г. книги В.В.Докучаева «**Русский чернозем**», в которой великий русский почвовед изложил разработанное им учение о почве как продукте совокупного творчества живых организмов, горной породы и климата, определив пять факторов почвообразования. В дальнейшем В.В.Докучаев создал учение о природных зонах, положившее начало науке о ландшафтах. Широко известна его концепция лесных полезащитных насаждений, блестяще реализованная на практике в Каменной степи Воронежской губернии, где посадка лесных полос была начата в 1894 г. на полях площадью до тысячи гектар. Ученый тем самым предложил важный и необходимый элемент формирования природосообразных систем ведения сельского хозяйства, оптимизации ландшафтов и т.д. Чтобы углубить проникновение «в пласты природы» и совершенствовать природопользование, В.В.Докучаев призывал отказаться от увлечения частностями в научном поиске и разворачивать междисциплинарные комплексные исследования целостных природных систем.

Исходя из принятой классификации, началом **третьего периода развития экологии** (1935–1980 гг.) считается публикация статьи английского ботаника А.Тенсли «**Правильное и неправильное использование концепций и терминов в экологии растений**», который предложил понятие «экосистема» и дал ему глубокое толкование, подразумевая под экосистемой единый комплекс живых существ, прежде всего растений, и абиотических условий, приуроченный к территории, занятой фитоценозом. Концепция экосистемы принадлежит к числу наиболее важных теоретических обобщений. Фактически работа А.Тенсли ознаменовала переход на новую ступень в развитии экологии, основывающуюся на использовании принципов комплексности, системности. Благодаря этому, в изучении природы были получены важные научные результаты, сыгравшие значительную роль в развитии экологии.

В 1940 г. В.И.Вернадский сформулировал закон биогенной миграции атомов, согласно которому понимание общих химических процессов, протекавших и протекающих на поверхности суши, в атмосфере и в заселенных организмами глубинах литосферы и вод, а также геологических слоях, сложенных прошлой деятельностью организмов, невозможно без учета биотических и биогенных факторов, в том числе эволюционных. Несколько позднее (1944 г.) из-под его пера выходит знаменитое учение о ноосфере, являющееся сегодня краеугольным камнем понимания и решения острейших проблем взаимодействия человека и природы, основой сохранения биосферы.

Американский эколог Р.Линдеман в 1942 г. обосновал «трофико-динамический» подход к изучению экосистем. В соответствии с принятой им концепцией в процессе питания экосистемы связывают энергию, и представляется возможным количественно оценить значения отдельных популяций, которые входят в экосистему и находятся на разных ступенях использования энергии. При этом, как отмечает Г.А.Новиков (1979), «10–20% количества энергии, связанной одним трофическим звеном экосистемы, может быть безболезненно передано следующему звену и т.д. Указанный процесс носит не плавный, а ступенчатый, точнее сказать каскадный, характер».

К выдающимся научным событиям этого периода в области экологии вне всяких сомнений следует отнести разработку академиком В.Н.Сукачевым стройного учения о биогеоценозах – биогеоценологии (1942 г.). Творчески используя диалектические принципы всеобщей связи элементов природы, непрерывного развития в результате борьбы противоположностей, перехода количества в качество, В.Н.Сукачев в результате анализа закономерностей, управляющих лесными естественными насаждениями, пришел к выводу, что в природе существуют не просто биоценозы, а системы, которые объединяют органические сообщества с абиотическими условиями, свойственными определенной территории (экотопу). Единство биоценоза, экологических условий и экотопа образует комплекс, который и предложено называть биогеоценозом.



Что является характерным для третьего этапа развития экологии?

Состояние теоретических основ современной экологии – итог ее исторического развития и представляет собой синтез наиболее плодотворных идей ученых разных времен и государств.

Характеризуя третий этап становления экологии, достаточно определенно можно констатировать, что в целом завершился процесс формирования этой области знаний, представленной:

- экологией видов (аутэкология);
- экологией популяций (демэкология);
- экологией биоценозов (синэкология или биоценология).

Причем указанные направления не строго разграничены, а взаимосвязаны. Следует также обратить внимание и на известную несогласованность между ботаниками и зоологами в понимании предмета общей экологии, хотя речь и идет о научной дисциплине, объектом которой являются экологические закономерности и процессы, присущие всему органическому миру, а не только растениям и животным.

Осознание этого обстоятельства приобрело исключительно актуальное значение в 50-х гг. нынешнего столетия, когда (по меткому выражению К.М.Петрова, 1997) "...над человечеством начинают сгущаться **«экологические тучи»**". Из сугубо биотической экология трансформируется в глобальную науку, изучающую не только среду обитания растительного и животного мира, но и человека, зависимость которого от состояния окружающей природной среды становится все явственнее. Слово «экология», таким образом, приобретает новое, более емкое, смысловое значение, поскольку современное экологическое мироосознание синтезирует фактически весь спектр областей науки (естественные, технические, гуманитарные). Это – наиболее наукоемкая сфера познания и деятельности. **В 1972 г. состоялась Стокгольмская конференция ООН по окружающей человека среде**, на которой были представлены национальные доклады от 77 правительств, доклады от органов и учреждения ООН, международных неправительственных организаций.

В принятой Декларации по проблемам окружающей человека среды не только констатируется тревожный факт ухудшающегося ее состояния, но и очерчен круг проблем, подлежащих первоочередному решению, в ряду которых стоит и экология человека (но не только и не столько как биологического вида, а как основного фактора воздействия на природные комплексы и их компоненты).

При этом нельзя не согласиться с К.М.Петровым (1997), «что ядром экологического мировоззрения является система понятий и законов, составляющих основу биологической экологии».

В продолжение сказанного уместно вспомнить еще один международный документ, разработанный Международным союзом охраны природы и природных ресурсов (МСОП) при поддержке Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и содействии Всемирного фонда охраны дикой природы, – **«Всемирную стратегию охраны природы»**.

Целевая установка стратегии, провозглашенной в 1980 г., – «...управление использованием человечеством биосферы, экосистем и видов, составляющих ее, таким образом, чтобы они могли приносить устойчивую пользу настоящему поколению и в то же время сохранили свой потенциал, чтобы соответствовать нуждам и стремлениям будущих поколений».

Проблема реального знания и в науке, и в практической деятельности всегда имела непреходящее значение.

Первоначально главенствующее положение в экологии занимала аутоэкологическая парадигма, в соответствии с которой условия среды (в основном абиотические факторы) полностью определяют встречаемость и жизнедеятельность организмов. Ее сменила синэкологическая парадигма, суть которой заключается в том, что встречаемость и жизнедеятельность организмов определяется взаимодействием организмов и популяций (на фоне действия абиотических факторов). Суть третьей – системной – парадигмы заключается в том, что живые организмы и окружающая их среда образуют некоторое единство – экосистему, в которой и организмы влияют на среду и среда на них.

Комплексность современного экологического знания, базирующегося на материалах многих наук, обусловила сосуществование ряда вариантов системной парадигмы. В их числе:

- компонентный вариант, при котором экологическое исследование основывается на изучении компонентов биогеоценоза или биосферы;
- биогеоценотический вариант, когда объект экологического исследования представляется комплексом элементов, которые, с одной стороны, взаимодействуют между собой, а с другой – взаимообуславливают друг друга. Будучи тесно взаимосвязаны, они образуют некие пространственные комплексы – биогеоценозы;
- геоструктурный вариант, в центре которого – геосистема (земное пространство), где различные природные компоненты находятся в системной связи друг с другом и как единое целое взаимодействуют с человеческим обществом и космической средой; в этом варианте внимание обращено на неживую природу (абиотические факторы);

- биоцентрический вариант, в соответствии с которым основным механизмом, регулирующим состояние природного комплекса и его саморазвитие в процессах экологической сукцессии, является биотическая авторегуляция;
- антропоцентрический вариант основывается на предпосылке, что человек (общество) является составной частью биосферы (в отличие от других рассмотренных вариантов, где человек и общество рассматриваются как система, находящаяся вне природной экосистемы и взаимодействующая с ней).

Следует иметь в виду две основные особенности системной парадигмы экологии. В.А.Соловьев (1982) характеризует их следующим образом:

- монистичность, она обеспечивает единый подход к изучению любых природных комплексов, включающих растения, животных, микроорганизмы, человека и природную среду;
- системность, она представляет экосистему как один из видов систем вообще и создает условия для применения общей теории систем и кибернетики со всеми их развитыми мощными математическими методами к экологическим объектам.

Одновременно с развитием и становлением общей экологии шел объективный процесс формирования ее прикладных направлений, среди которых ключевое место принадлежит сельскохозяйственной экологии (агроэкологии). Это и закономерно, если вспомнить, что сельскохозяйственное производство, представляя собой механизм устойчивого культивирования природных богатств, в отличие от других отраслей хозяйственного комплекса, характеризуется более тесным соединением общественных и природных факторов.

По существу, возделывание сельскохозяйственных растений и разведение животных – одна из наиболее исторически продолжительных и активных форм взаимодействия человека и природы.

По мере роста масштабов использования научно-технических достижений в сельскохозяйственном производстве необходимость грамотного учета природной составляющей, как показывает исторический опыт, существенно возрастает. НТР повысила значимость квалифицированного труда в качестве источника материального богатства, но не могла устранить природу как источник естественных сил и вещественных элементов производства. ***Земля по-прежнему остается матерью богатства.***

Распространение НТР на сельское хозяйство резко подняло роль индустриальных методов в производстве продуктов растениеводства и животноводства, но органическая связь сельскохозяйственного производства с естественными процессами сохраняется.

И это закономерно. «Человек в процессе производства может действовать лишь, как действует сама природа, то есть может изменять лишь формы веществ. Более того. В самом этом труде формирования он постоянно опирается на содействие сил природы» (Маркс К., Энгельс Ф. Т. 23. С. 51-52).

щиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена.

**Экологическая структура биоценоза** характеризуется составом экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции. Экологические группы организмов, занимая сходные **экологические ниши**, в разных биоценозах могут иметь разный видовой состав. Так, на увлажненных территориях доминируют **гигрофиты**, а в сухих аридных условиях – **склерофиты** и **суккуленты**. Отражает экологическую структуру биоценоза и соотношение групп организмов, объединяемых сходным типом питания. Например, в лесах преобладают **сапрофаги** (питающиеся органическими остатками), в степных и полустепных зонах – **фитофаги** (растительные).

Экологическая структура биоценоза в комплексе с видовой и пространственной служит его макроскопической характеристикой и дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также прогнозировать последствия изменений, вызванных воздействиями антропогенных факторов.



Что собой представляет экосистема?

**Экосистемы** (от греч. oikos – дом, жилище, местопребывание, systema – целое, состоящее из частей, соединений) – исторически сложившиеся в биосфере и на той или иной территории или акватории открытые, но целостные и устойчивые системы живых (автотрофных продуцентов, гетеротрофных консументов и редуцентов) и неживых (абиотическая среда) компонентов.

Экосистемы имеют свойственные им потоки энергии и возможности накопления ее, внутренние и внешние круговороты веществ, обладают способностью регулировать все процессы.

Экосистема – основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда, то есть компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и обеспечивающие необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Автор термина «экосистема» А.Тенсли представлял ее в виде соотношения:

Экосистема=Биотоп+Биоценоз.

Биотоп и Биоценоз взаимно влияют друг на друга, что проявляется главным образом в непрерывном обмене веществом и энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них.

По Н.Ф.Реймерсу (1990), экологическая система – это любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возни-

щиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена.

**Экологическая структура биоценоза** характеризуется составом экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции. Экологические группы организмов, занимая сходные **экологические ниши**, в разных биоценозах могут иметь разный видовой состав. Так, на увлажненных территориях доминируют **гигрофиты**, а в сухих аридных условиях – **склерофиты** и **суккуленты**. Отражает экологическую структуру биоценоза и соотношение групп организмов, объединяемых сходным типом питания. Например, в лесах преобладают **сапрофаги** (питающиеся органическими остатками), в степных и полустепных зонах – **фитофаги** (растительные).

Экологическая структура биоценоза в комплексе с видовой и пространственной служит его макроскопической характеристикой и дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также прогнозировать последствия изменений, вызванных воздействиями антропогенных факторов.



Что собой представляет экосистема?

**Экосистемы** (от греч. oikos – дом, жилище, местопребывание, systema – целое, состоящее из частей, соединений) – исторически сложившиеся в биосфере и на той или иной территории или акватории открытые, но целостные и устойчивые системы живых (автотрофных продуцентов, гетеротрофных консументов и редуцентов) и неживых (абиотическая среда) компонентов.

Экосистемы имеют свойственные им потоки энергии и возможности накопления ее, внутренние и внешние круговороты веществ, обладают способностью регулировать все процессы.

Экосистема – основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда, то есть компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и обеспечивающие необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Автор термина «экосистема» А.Тенсли представлял ее в виде соотношения:

Экосистема=Биотоп+Биоценоз.

Биотоп и Биоценоз взаимно влияют друг на друга, что проявляется главным образом в непрерывном обмене веществом и энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них.

По Н.Ф.Реймерсу (1990), экологическая система – это любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возни-

максимум 30%, а то и всего лишь 1% энергии, потребленной на одном трофическом уровне, доступно для поглощения с пищей на следующем уровне.

Таким образом, наблюдаемые в природе трех- и четырехуровневые пищевые цепи теоретически объясняются тем, что дополнительные трофические уровни просто не смогут существовать за счет имеющейся энергии.

Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений – эдификаторов или от других элементов биоценоза. Л.Г.Раменский (1952) назвал их **консорциями**.

Консорция – это совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически (имеющие общие местообитания) связана с центральным видом – автотрофным растением.

Например, различные фитофаги-листоеды, поедающие древесину, плоды, связаны с деревом трофически, в то время как эпифиты, насекомые, птицы связаны топически.

Пространственная структура биоценоза определяется прежде всего сложением его растительной части – фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений. В ходе длительного эволюционного развития, приспосабливаясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы так разместились в биоценозе, что практически не мешают друг другу. Их распределение носит ярусный характер.

**Ярусность** – явление вертикального расслоения биоценозов на разновысокие структурные части.

Особенно четко она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Ярусность способствует:

- увеличению численности организмов на единице площади;
- ослаблению конкуренции;
- полному использованию условий среды.

В лесу обычно выделяют 5–6 ярусов. Выражена ярусность и в травянистых сообществах, но менее отчетливо, меньше здесь и ярусов.

В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает определенную структуру и в горизонтальном направлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название мозаичности и свойственна практически всем фитоценозам. В их пределах выделяют такие структурные единицы, как **микрोगруппировки, микроценозы, микрофитоценозы, синузии, парцеллы**. Причинами **мозаичности** являются также неоднородность микрорельефа почв, средообразующее влияние растений и их биологические особенности. Мозаичность может быть результатом антропогенных воздействий (выборочные рубки, кострища и др.) или жизнедеятельности животных (выбросы почвы, образование муравейников, вытаптывание травостоя копытными). **Синузии** как структурные единицы характеризуются определенным видовым составом и эколого-биологическим единством входящих в нее видов (синузия сосны, синузия брусники). **Парцеллы** в отличие от синузии – комплексные единицы, отличаю-



- биоцентрический вариант, в соответствии с которым основным механизмом, регулирующим состояние природного комплекса и его саморазвитие в процессах экологической сукцессии, является биотическая авторегуляция;
- антропоцентрический вариант основывается на предпосылке, что человек (общество) является составной частью биосферы (в отличие от других рассмотренных вариантов, где человек и общество рассматриваются как система, находящаяся вне природной экосистемы и взаимодействующая с ней).

Следует иметь в виду две основные особенности системной парадигмы экологии. В.А.Соловьев (1982) характеризует их следующим образом:

- монистичность, она обеспечивает единый подход к изучению любых природных комплексов, включающих растения, животных, микроорганизмы, человека и природную среду;
- системность, она представляет экосистему как один из видов систем вообще и создает условия для применения общей теории систем и кибернетики со всеми их развитыми мощными математическими методами к экологическим объектам.

Одновременно с развитием и становлением общей экологии шел объективный процесс формирования ее прикладных направлений, среди которых ключевое место принадлежит сельскохозяйственной экологии (агроэкологии). Это и закономерно, если вспомнить, что сельскохозяйственное производство, представляя собой механизм устойчивого культивирования природных богатств, в отличие от других отраслей хозяйственного комплекса, характеризуется более тесным соединением общественных и природных факторов.

По существу, возделывание сельскохозяйственных растений и разведение животных – одна из наиболее исторически продолжительных и активных форм взаимодействия человека и природы.

По мере роста масштабов использования научно-технических достижений в сельскохозяйственном производстве необходимость грамотного учета природной составляющей, как показывает исторический опыт, существенно возрастает. НТР повысила значимость квалифицированного труда в качестве источника материального богатства, но не могла устранить природу как источник естественных сил и вещественных элементов производства. **Земля по-прежнему остается матерью богатства.**

Распространение НТР на сельское хозяйство резко подняло роль индустриальных методов в производстве продуктов растениеводства и животноводства, но органическая связь сельскохозяйственного производства с естественными процессами сохраняется.

И это закономерно. «Человек в процессе производства может действовать лишь, как действует сама природа, то есть может изменять лишь формы веществ. Более того. В самом этом труде формирования он постоянно опирается на содействие сил природы» (Маркс К., Энгельс Ф. Т. 23. С. 51-52).

Общая экология, как и прикладные ее направления, выполняет следующие научные функции:

- описательную;
- измерительную;
- классификационную;
- объяснительную (диагностическую);
- синтезирующую (систематизирующую);
- предсказательную (прогностическую);
- конструктивную.

И это должно учитываться при решении конкретных задач.

Сейчас много (даже, наверное, слишком много) говорится и пишется об общечеловеческих ценностях. При этом предлагаются различные приоритеты, подчас лукавые и сомнительные, а иногда и ложные. Между тем **важнейшим является выживание и развитие цивилизации, возможное только на основе оптимизации взаимодействия человека и природы, базирующейся на экологическом знании.**

## 6.2. ПРИРОДНАЯ СРЕДА, БИОГЕОЦЕНОЗ, АГРОЭКОСИСТЕМЫ

### 6.2.1. Природная среда

Каждый организм успешно выживает и размножается в конкретной для него среде, характеризующейся относительно узким диапазоном температур, количества осадков, почвенных условий и других факторов. Географический ареал любого вида соответствует географическому распределению подходящих для него условий среды.

В связи с этим очень важно располагать надлежащей информацией о сущности и обусловленности явлений, зависимостей и связей, сложившихся между организмами, популяциями, биоценозами и факторами среды. (Принято объединять соответствующие исследования понятием факториальная экология.) Теоретическую основу их составляет закон единства организма и среды В.И.Вернадского, согласно которому жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потока энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов.

**Окружающая среда** понимается как вещество, энергия и пространство, окружающие организмы и воздействующие на них как положительно, так и отрицательно.

**Природная среда** – это совокупность природных абиотических и биотических (биогенных) факторов по отношению к растениям, животным и другим организмам вне зависимости от контактов с человеком. Природная среда включает антропогенную среду (природа Земли, охваченная человеческой деятельностью); среду географической оболочки; биогенную среду (совокупность биологической и биотической сред), абиотическую среду (все силы и явления природы, ее вещество и пространство в приложении к живым организмам или объектам с участием живого) и некоторые другие виды сред.

**Антропогенная среда** – природная среда, измененная человеком. Она включает «квазиприродную среду» (культурные природные ландшафты, агроценозы и некоторые другие компоненты, не способные к самоподдержанию среды); «артеприродную среду» (искусственное окружение людей – здания, сооружения, асфальтированные и другие дороги в сочетании с природными элементами – почвой, растительностью, воздухом, светом и др.); окружающую человека среду – совокупность абиотических, биотических и социальных факторов в сочетании с «квазиприродной» и «артеприродной» средами.

В факториальной экологии выделяют и более детальные понятия «среды». В частности:

- **Среда обитания** – это часть природной среды, окружающая живые организмы и с которой они взаимодействуют. Составные элементы и свойства среды обитания многообразны, изменчивы, при этом одни элементы могут быть необходимы организму, другие безразличны, а третьи оказывают вредное воздействие.
- **Условия существования, или условия жизни** – это совокупность необходимых организмам элементов среды, с которыми они находятся в неразрывном единстве и без которых существовать не могут.

### 6.2.2. Биогеоценоз

**Биоценоз** (от греч. bios – жизнь; и koinos – общий), по Б.А.Быкову (1988), – устойчивая система совместно существующих на определенном участке суши или водоема популяций автотрофных и гетеротрофных организмов (биота) и созданной ими биоценотической среды (в том числе почвы, сапропеля, фитоклимата).

Биоценоз является продуктом естественного отбора. Его выживание, устойчивое существование во времени и пространстве зависит от характера взаимодействия составляющих популяций и возможно лишь при **обязательном поступлении извне солнечной энергии**.

Но ни один биоценоз не может развиваться сам по себе, вне и независимо от среды. В природе складываются определенные комплексы, где организмы связаны между собой сложными биотическими взаимоотношениями и трофическими связями и происходят сложные процессы (ценокинез) продуцирования и распределения биомассы, круговорот веществ (трансбиотические взаимоотношения), биоценотический отбор видов. В экосистеме биоценоз функционирует как продуктивная система, обладающая способностью авторегуляции и восстановления.

Биомассу наземных биоценозов составляют преимущественно высшие растения (**продуценты**), на массу животных (**консументов**) приходится лишь 0,001–0,010% от общей биомассы. Несколько больших величин достигает биомасса микроорганизмов и грибов (**редуцентов**). Сообщество обладает не только функциональным единством с характерной структурой трофических связей и энергетического обмена, но и некоторым композиционным единством, что обеспечивает возможность сосуществования определенных видов. Однако виды в значительной степени замещают друг друга во времени и пространстве, поэтому функционально сходные сообщества могут иметь различный видовой состав.

Концепция сообщества относится к числу наиболее важных понятий в экологической теории и практике. В теоретическом плане она подтверждает тот факт, что **различные организмы обычно образуют упорядоченную систему, а не распространены по Земле спонтанно, как независимые существа**. Биотическое сообщество постоянно меняет свой внешний облик (например, летний и зимний лес). Однако оно обладает структурой и функциями, которые можно изучить и описать и которые являются уникальными атрибутами данной группы.

Концепция сообщества имеет большое значение и в экологической практике, поскольку **«функционирование организма» зависит от сообщества**. Поэтому, если необходимо «контролировать» какой-либо вид (способствовать его процветанию или, напротив, подавить), то часто лучше модифицировать сообщество, чем предпринимать «прямую атаку» на этот вид. Например, учитывая, что сорные растения развиваются только при постоянном нарушении почвенного покрова, лучший способ борьбы с сорняками, растущими по обочинам дорог, – прекращение перекапывания и вспашки придорожных полос и содействие развитию стабильного растительного покрова, с которым сорняки конкурировать не могут.



Какими особенностями отличаются сообщества?

**Сообщество** – не простая сумма образующих его видов, но и совокупность взаимодействий между ними, то есть оно обладает **эмерджентными свойствами**, проявляющимися только при изучении его самого. Примерами эмерджентных свойств являются:

- видовое разнообразие;
- пределы сходства конкурирующих видов;
- структура пищевой цепи;
- биомасса и продуктивность сообщества.

Сообществам присущи собственные законы сложения, функционирования и развития, то есть они представляют собой природные системы. В.Тишлер (1971) выделяет следующие важнейшие особенности сообществ как надорганизменных систем:

- сообщества всегда возникают (складываются) из готовых частей представителей различных видов или целых комплексов их, имеющих в окружающей среде;
- части сообщества заменяемы; один вид (или комплекс видов) может занять место другого со сходными экологическими требованиями без ущерба для системы;
- сообщества существуют в основном за счет уравнивания противоположно направленных сил: интересы многих видов в сообществах прямо противоположны (например, хищники – антагонисты всех жертв, но тем не менее они существуют в рамках единого сообщества);
- сообщества основаны на количественной регуляции одних видов другими;
- размеры сообществ определяются внешними причинами, а предельные размеры организмов ограничены их внутренней наследственной программой; так называемые основные сообщества характеризуются большими размерами и завершенностью организации, что обеспечивает им относительную независимость; мелкие сообщества в той или иной степени зависят от соседних сообществ;
- сообщества часто имеют расплывчатые границы, иногда неуловимо переходя одно в другое; однако они вполне объективно, реально существуют в природе.

Сообщества находятся в состоянии внутреннего подвижного равновесия, постоянно претерпевая какие-то изменения. Эти изменения могут быть обратимыми и необратимыми, в том числе эволюционными.

Необратимые во времени последовательные смены, например, фитоценозов, происходящие на одной и той же территории, называются сукцессиями.

Сукцессии ведут к формированию или восстановлению (*денудации*) устойчивого, стабильного фитоценоза или, наоборот, к его *дигрессии* – ухудшению состояния, неустойчивости, распаду.

Экологическая сукцессия развивается под воздействием естественных и антропогенных факторов и представляет последовательную смену одной экосистемы другой. Это упорядоченный процесс развития экосистемы, обусловленный изменением во времени ее видовой структуры и происходящих в ней процессов. Данный процесс имеет определенную направленность, поэтому его можно предвидеть, прогнозировать. Сукцессия происходит в результате изменения физической среды под влиянием самого сообщества. Она как бы контролируется сообществом. Одновременно физическая среда определяет характер сукцессии, скорость изменений и нередко пределы развития. ***Сукцессию может характеризовать соотношение валовой продукции и дыхания.*** В молодом возрасте валовая продукция формируется так, что уровень первичной продукции, или видовой фотосинтез (П), превышает уровень дыхания сообщества (Д), то есть соотношение П/Д больше единицы. Это показатель развивающейся системы. С развитием экосистемы соотношение энергии, которая накапливается в результате фотосинтеза (первичная продукция), к расходуемой на дыхание энергии приближается к единице, т.е. в зрелых экосистемах наблюдается тенденция к равновесию между энергией, связанной в виде органического вещества, и энергией, расходуемой на поддержку системы (дыхание). Таким образом, ***соотношение фотосинтеза и дыхания может служить функциональным показателем относительной зрелости экосистемы.***

От необратимых смен – сукцессий – следует отличать *флуктуации*, иначе говоря, изменения, относящиеся к ритмике фитоценозов (например, смена доминантов в луговых ценозах в зависимости от погодных условий). Сукцессионные и флуктуационные изменения растительных сообществ проходят на фоне ***филоценогенеза, вековых (гологенетических) смен*** – исторического процесса формирования и развития новых фитоценозов. Вековые смены проходят очень медленно и захватывают обширные территории; они связаны с климатическими изменениями, изменениями флористического состава и тому подобными процессами, малозаметными на протяжении десятилетий и даже веков.

К структуре сообществ относят:

- ▶ всевозможные способы связей и взаимодействия между отдельными компонентами сообщества (например, типа распределения ресурсов и пространственно-временное обилие видов);
- ▶ свойства, обусловленные этими взаимоотношениями и проявляющиеся на уровне сообщества (трофические уровни, скорости и эффективности связывания энергии и ее переноса, круговорот питательных веществ, сукцессия и т.п.).

Основными показателями структуры сообщества являются число составляющих его видов и их относительное обилие.

Под видовой структурой сообщества понимают разнообразие представленных в нем видов и соотношение их численности или массы. Общее число видов растений, животных и микроорганизмов, свойственных сообществу или биоценозу данного типа, более или менее постоянно, а между биоценозами различных типов оно сильно варьирует. Наиболее богаты по видовому составу биоценозы влажных тропиков, беднее – биоценозы умеренного пояса, еще беднее – биоценозы аридных и холодных регионов.

Среди видов, образующих сообщество, выделяют **доминанты**, т.е. виды, преобладающие по численности. Разным систематическим группам организмов свойственны свои доминанты. Виды, живущие за счет доминантов, называют **предоминантными**. Доминанты, которые определяют характер и структуру сообщества, называют **эдификаторами** (в степях – ковыль, типчак).

Везде, где условия абиотической среды близки к оптимальным для жизни, возникают богатые видами и, как правило, устойчивые сообщества (например, тропические леса, коралловые рифы). Здесь небезынтересно вспомнить известный в кибернетике «закон Эшби»:

системы, состоящие из большого числа разнородных элементов, менее подвержены колебаниям.



Что такое пищевые сети, пищевые цепи, трофические уровни?

Любое сообщество можно представить в виде пищевой сети, которая является схемой всех трофических (пищевых) связей между видами, входящими в его состав. Пищевая сеть обычно состоит из нескольких пищевых цепей, каждая из которых является отдельным ее каналом. **Первый трофический** уровень представлен первичными **продуцентами** или **автотрофами**. К ним относятся все зеленые растения, которые используют солнечный свет для образования органического вещества или химических соединений, богатых энергией. Все остальные организмы, входящие в состав сообщества, прямо или косвенно зависят от снабжения энергией, аккумулированной растениями.

Помимо первичных продуцентов в сообщества входят **гетеротрофы**, которые представлены **консументами** или **деструкторами**. Так, **второй трофический уровень** образуют травоядные животные, называемые **первичными консументами**. Плотоядных, питающихся травоядными, называют **вторичными консументами** или первичными хищниками. Хищники, питающиеся первичными хищниками, образуют **четвертый трофический уровень** и называются **вторичными хищниками** и т.д. Многие животные питаются как растениями, так и животными, и их невозможно отнести к определенному уровню.

Важным компонентом являются **деструкторы** или **редуценты** (организмы, в основном бактерии и грибы, превращающие органические остатки в неорганические вещества). Их функциональная роль заключается в возврате первичных элементов в фонд питательных веществ. В сообществе бывает от двух до пяти трофических уровней, но чаще всего их три или четыре. Каждое звено пищевой цепи среди гетеротрофов характеризуется одной и той же особенностью:

максимум 30%, а то и всего лишь 1% энергии, потребленной на одном трофическом уровне, доступно для поглощения с пищей на следующем уровне.

Таким образом, наблюдаемые в природе трех- и четырехуровневые пищевые цепи теоретически объясняются тем, что дополнительные трофические уровни просто не смогут существовать за счет имеющейся энергии.

Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений – эдификаторов или от других элементов биоценоза. Л.Г.Раменский (1952) назвал их **консорциями**.

Консорция – это совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически (имеющие общие местообитания) связана с центральным видом – автотрофным растением.

Например, различные фитофаги-листоеды, поедающие древесину, плоды, связаны с деревом трофически, в то время как эпифиты, насекомые, птицы связаны топически.

Пространственная структура биоценоза определяется прежде всего сложением его растительной части – фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений. В ходе длительного эволюционного развития, приспосабливаясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы так разместились в биоценозе, что практически не мешают друг другу. Их распределение носит ярусный характер.

**Ярусность** – явление вертикального расслоения биоценозов на разновысокие структурные части.

Особенно четко она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Ярусность способствует:

- увеличению численности организмов на единице площади;
- ослаблению конкуренции;
- полному использованию условий среды.

В лесу обычно выделяют 5–6 ярусов. Выражена ярусность и в травянистых сообществах, но менее отчетливо, меньше здесь и ярусов.

В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает определенную структуру и в горизонтальном направлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название мозаичности и свойственна практически всем фитоценозам. В их пределах выделяют такие структурные единицы, как **микрोगруппировки, микроценозы, микрофитоценозы, синузии, парцеллы**. Причинами **мозаичности** являются также неоднородность микрорельефа почв, средообразующее влияние растений и их биологические особенности. Мозаичность может быть результатом антропогенных воздействий (выборочные рубки, кострища и др.) или жизнедеятельности животных (выбросы почвы, образование муравейников, вытаптывание травостоя копытными). **Синузии** как структурные единицы характеризуются определенным видовым составом и эколого-биологическим единством входящих в нее видов (синузия сосны, синузия брусники). **Парцеллы** в отличие от синузии – комплексные единицы, отличаю-

щиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена.

**Экологическая структура биоценоза** характеризуется составом экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции. Экологические группы организмов, занимая сходные **экологические ниши**, в разных биоценозах могут иметь разный видовой состав. Так, на увлажненных территориях доминируют **гигрофиты**, а в сухих аридных условиях – **склерофиты** и **суккуленты**. Отражает экологическую структуру биоценоза и соотношение групп организмов, объединяемых сходным типом питания. Например, в лесах преобладают **сапрофаги** (питающиеся органическими остатками), в степных и полустепных зонах – **фитофаги** (растительные).

Экологическая структура биоценоза в комплексе с видовой и пространственной служит его макроскопической характеристикой и дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также прогнозировать последствия изменений, вызванных воздействиями антропогенных факторов.



Что собой представляет экосистема?

**Экосистемы** (от греч. oikos – дом, жилище, местопребывание, systema – целое, состоящее из частей, соединений) – исторически сложившиеся в биосфере и на той или иной территории или акватории открытые, но целостные и устойчивые системы живых (автотрофных продуцентов, гетеротрофных консументов и редуцентов) и неживых (абиотическая среда) компонентов.

Экосистемы имеют свойственные им потоки энергии и возможности накопления ее, внутренние и внешние круговороты веществ, обладают способностью регулировать все процессы.

Экосистема – основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда, то есть компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и обеспечивающие необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Автор термина «экосистема» А.Тенсли представлял ее в виде соотношения:

Экосистема=Биотоп+Биоценоз.

Биотоп и Биоценоз взаимно влияют друг на друга, что проявляется главным образом в непрерывном обмене веществом и энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них.

По Н.Ф.Реймерсу (1990), экологическая система – это любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возни-



кающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Экосистема включает сообщества (фитоценозы, зооценозы, микробоценозы, микоценозы), объединяемые трофическими и хорологическими (пространственными) связями, факторы среды – экотоп-климатоп и эдафотоп (почвенно-грунтовые условия).

По своей сущности экосистема представляет собой комплекс, в котором между биотическими и абиотическими компонентами происходит обмен веществом, энергией и информацией. Экосистема – понятие безразмерное. В качестве экосистемы можно рассматривать и грядку в теплице, и пруд, и луг, и лес, и космический корабль, и биосферу в целом. К основным экосистемам мира относятся: моря, речные дельты, морские побережья, потоки, реки, озера и пруды, топи, болота, леса, тундры, травяные ландшафты или степи, пустыни. Рассмотрим структуру и складывающиеся взаимосвязи в трех существенно отличающихся одна от другой экосистемах.

**Природные экосистемы** – открытые системы, поэтому важной составной частью концепции является среда на входе и среда на выходе. Масштабы изменений среды на входе и выходе чрезвычайно сильно варьируют и зависят от нескольких переменных:

- размеры системы (чем она больше, тем меньше зависит от внешних влияний); интенсивность обмена (чем он интенсивнее, тем больше приток и отток веществ и энергии);
- сбалансированность автотрофных и гетеротрофных процессов (чем сильнее нарушено это равновесие, тем больше должен быть внешний приток веществ и энергии для его восстановления);
- стадия и степень развития экосистем.

Экосистемная организация жизни является одним из необходимых условий ее существования. Однако запасы биогенных элементов, из которых строят тела живые организмы, не безграничны. Лишь система круговоротов могла придать этим запасам «свойство бесконечности», необходимое для продолжения жизни. Жизнедеятельность организмов и круговорот веществ и энергии в экосистемах возможны только за счет постоянного притока энергии.

В конечном итоге вся жизнь на Земле существует за счет энергии Солнца, которая переводится синтезирующими организмами в химические связи органических соединений. Гетеротрофы получают энергию с пищей. Все живые существа являются объектами питания других, то есть связаны между собой энергетическими отношениями. Энергетические затраты на поддержание всех метаболических процессов условно называют тратой на дыхание, так как общие их масштабы можно оценить, учитывая выделение  $\text{CO}_2$  организмом.

Трофические цепи, которые начинаются с фотосинтезирующих организмов, называют **цепями выедания** (или **пастбищными** или цепями **потребления**), а цепи, которые начинаются с отмерзших остатков растений, трупов и экскрементов животных, – **детритными цепями разложения**. Трофические цепи не изолированы одна от другой, а, тесно переплетаясь, образуют трофические сети. Благодаря трофическим связям в экосистеме происходит трансформация биогенных веществ и аккумуляции энергии с последующим распределением их между видами и популяциями. Поэтому чем богаче видовой состав, тем разнообразнее направление и скорость потоков энергии в экосистеме.

Трофические цепи питания основываются на **втором законе термодинамики**, согласно которому некоторая часть энергии всегда рассеивается и становится недоступной для использования в виде тепловой энергии, а также на закономерностях поедания организмов.

Размерные закономерности поедания организмов заключаются в том, что по мере продвижения по трофической цепи хищников животные увеличиваются в размерах, но количество их уменьшается. И наоборот, в трофических цепях паразитов организмы уменьшаются в размерах, а численность их увеличивается.



|| В чем заключается правило пирамид?

По правилу пирамид общая биомасса каждого последующего звена в цепи питания уменьшается. Различают три основных типа пирамид: чисел, биомасс и энергии. Такого рода геометрические построения отражают две функциональные характеристики любого биоценоза. Высота их пропорциональна длине пищевой цепи, то есть числу содержащихся в ней трофических уровней. Форма их отражает эффективность превращений энергии при переходе с одного уровня на другой: чем эффективнее термодинамические реакции, тем большее количество биохимической материи окажется на последующем уровне.

**Пирамида чисел** представляет собой наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. Установлено основное правило, согласно которому в любой среде растений больше, чем животных, травоядных больше, чем плотоядных, насекомых больше, чем птиц и т.д. Таким образом, можно констатировать, что при переходе с одного трофического уровня на другой численность особей уменьшается, а размер их увеличивается. Следует также отметить, что в строении различных пирамид чисел наблюдается заметное разнообразие. Иногда они могут быть «перевернутыми». Так, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичные продуценты), чем насекомых (растительноядные). Такая же особенность наблюдается в пищевых цепях паразитов и сапрофитов (растения, грибы, дробянка, питающиеся органическими веществами других организмов).

**Пирамида биомасс** более полно отображает пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как она показывает биомассу (сухая масса) в данный момент на каждом уровне пищевой цепи. Ее форма часто сходна с формой пирамиды чисел, но есть и исключения. В частности, это относится к пресноводной среде, где первичная продуктивность обеспечивается микроскопическими организмами, скорость обмена веществ которых повышена (биомасса мала, производительность велика). Недостаток пирамиды биомасс в том, что здесь не разделяются компоненты, имеющие различный химический состав и разную энергетическую значимость.

**Пирамида энергии** представляет эффективность преобразования энергии и (или) продуктивность пищевых цепей. Они строятся путем подсчета количества энергии (ккал), аккумулированной единицей поверхности за единицу времени и используемой организмами на каждом трофическом уровне. Деструкторы, значимость которых кажется весьма незначительной в пирамиде биомасс (в пирамиде чисел наоборот), получают довольно-таки весомую часть энергии, проходящей через экосистему.



### Какие уровни экосистемных таксонов выделяют?

Иерархическая классификация или субординация экосистем основывается на расположении таксонов в порядке их соподчинения (аналогично биологической систематизации). Выделяют следующие уровни экосистемных таксонов, которые характеризуются такими особенностями:

- **тип** – характером поступления в экосистему необходимых биотических веществ (например, транзитные, автономные);
- **класс** – температурным и влажностным режимом (например, термогидрофильный, криогидрофильный и т.д.);
- **семейство** – адаптивными особенностями биоты по морфологии, физиологии (например, луговые, тропические леса и т.д.);
- **род** – пространственным распределением биоценоза (мозаичность, ярусность, синузии);
- **вид** – встречаемостью второстепенных компонентов биоты. Факториальная классификация разработана географами, климатологами, ландшафтоведами, почвоведомы и основана на свойствах абиотических компонентов экосистем, то есть характеризует в основном экотоп. Недостаток ее в том, что ядро экосистемы биоценоз характеризуется поверхностно.

Функциональная классификация основана на «физиологии экосистемы» – круговороте веществ и потоке энергии с определением таких структурно-функциональных показателей, как общая биомасса, приток и отток веществ, степень использования первичной продукции гетеротрофами, соотношение массы годового опада и многолетней подстилки, а также другие параметры, характеризующие функционирование экосистемы. Существующие на Земле экосистемы разнообразны и по размерам. Выделяют: микроэкосистемы (например, ствол гниющего дерева, подстилка лишайников на стволе дерева), мезоэкосистемы (лес, луг, степь, небольшой временный водоем и т.д.), макроэкосистемы (континент, океан, крупные болота) и глобальную экосистему (биосфера).



### Чем биогеоценоз отличается от экосистемы?

Экосистема и биогеоценоз – близкие по сути понятия, но не синонимы. Если экосистема обеспечивает круговорот веществ любого ранга, распространяясь и на водные объекты, то биогеоценоз – понятие территориальное и относится к таким участкам суши, которые заняты фитоценозами.

По В.Н.Сукачеву (1964) **биогеоценоз** (от bios – жизнь, ge – Земля, koinos – общий) – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира, микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии.

Под определение биогеоценоза экосистемы не подпадают, так как им не свойственны некоторые признаки этого определения (например, территориальная ограниченность). Экосистема может, напротив, включать несколько биогеоценозов. То есть, понятие «экосистема» шире, чем «биогеоценоз». Иначе говоря, любой биогеоценоз является экологической системой, но не всякая экосистема может считаться биогеоценозом, причем биогеоценозы являются сугубо наземными, имеющими свои четкие границы.

Наука о биогеоценозах – **биогеоценология** – рассматривает поверхность Земли как сеть соседствующих биогеоценозов, изучает функционирование их в конкретных условиях ландшафта в зависимости от горной породы, рельефа, свойств почвы, растений, животных, микроорганизмов, а также связь их между собой через миграцию веществ. Обе концепции – экосистем и биогеоценозов – дополняют и обогащают друг друга, позволяя рассматривать функциональные связи сообществ и окружающей их неорганической среды в разных аспектах и с разных точек зрения.

Структурной основой, своего рода «каркасом» пространственного размещения структурных элементов биогеоценоза и его слагаемых является растительный компонент – **фитоценоз**.

Это обусловлено не только тем, что растительное сообщество – единственный компонент в составе биогеоценоза, способный аккумулировать солнечную энергию путем синтеза органических веществ из неорганических. Ввиду относительно равномерного распределения в пространстве материальных ресурсов для фотосинтеза растения ведут «прикрепленный» образ жизни. Этим определяется хорошо выраженное структурное оформление растительных сообществ, вертикальное и горизонтальное расчленение их на так называемые ярусы и микрогруппировки.

Биогеоценозическая деятельность компонентов биогеоценоза, обеспечивающая гомеостаз, проявляется в биогеохимических процессах превращения веществ и энергии внутри биогеоценозов и в обмене веществом и энергией между биогеоценозами, включая также деятельность информационного характера (опыление, распространение семян и плодов и т.п.). Биогеоценозическая деятельность каждого компонента биогеоценоза протекает в следующих направлениях:

- получение от других компонентов тех или иных материально-энергетических ресурсов;
- выполнение в процессе обмена веществ и энергии определенной, соответствующей его положению в биогеоценозической системе, работы;
- внесение в биогеоценоз в ходе своей жизнедеятельности продуктов метаболизма (обмена веществ) и заключенной в них энергии;
- выполнение некоторых информационных и других свойственных его природе функций.

Таким образом, биогеоценоз в конечном итоге определяется как основная структурно-функциональная материально-энергетическая единица (ячейка) биосферы, в которой совершаются обменные процессы, характерные для биогеохимической деятельности биосферы в целом. При этом биогеоценоз, как и всякая другая сложная биологическая или биокосная система, представляет собой саморазвивающуюся систему, обладающую способностью саморегулирования и самоорганизации.

### 6.2.3. Агроэкосистемы

Сельское хозяйство, отличаясь более значительными территориальными вмешательствами по сравнению с другими видами деятельности человека, существенно трансформирует природные комплексы. В результате этого долговременного воздействия сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные образования (пашни, садовые насаждения, луга, пастбища и т.д.), занимающие около трети суши, в том числе при распаханности поверхности планеты порядка 10%, то есть почти 1,5 млрд. га, приходящихся на пашню. Территории, подлежащие ежегодной перепашке, требующие внесения удобрений, регулярного формирования искусственных (управляемых) фитоценозов, относятся к сельскохозяйственным образованиям полевого типа (целинные и залежные земли, осушенные и орошаемые участки, террасированные склоны и т.д.). Сады, ягодники, виноградники, плантации чая и кофейного дерева – садовые образования – представляют собой многолетние фитоценозы. Наибольшее территориальное распространение в качестве базы получения сельскохозяйственной продукции имеют луга и пастбища, простирающиеся от тропических саванн до субарктической зоны на площади более 3 млрд. га. В этих угодьях процесс формирования первичной биологической продукции идет естественным путем, и используется она для получения вторичной биологической продукции (разведение и содержание различных видов одомашненных животных, размножающихся под присмотром и управлением человека).

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 особо тщательных экологических решений. К категории агроэкосистем правомерно отнести также сообщества растений и животных, искусственно создаваемые человеком в морской и пресноводной среде.

В процессе целенаправленного производства первичной и вторичной биологической продукции нет чего-то принципиально чуждого природным закономерностям. Лишь объективно необходимая для обеспечения устойчивости производственного процесса антропогенная «модификация» его способствует обострению экологических проблем, становясь значимым фактором воздействия на окружающую природную среду. В то же время сельскохозяйственное производство по своей природной первооснове не может быть изолировано от влияния глобальных экологических изменений.

В сфере сельского хозяйства первичным структурным звеном, где, собственно, и формируется взаимодействие человека с природой, являются функциональные единицы агроэкосистемы (или агробиогеоценозы).

Действительно, агроэкосистемы сходны с урбанизированными и промышленными системами своей зависимостью от внешних факторов, то есть от окружающей среды на входе и выходе системы. Однако в отличие от них они по преимуществу автотрофны.

В свете современных представлений агроэкосистемы (агробиогеоценозы) – вторичные, измененные человеком биогеоценозы, ставшие значимыми элементарными единицами биосферы, основу которых составляют искусственно созданные, как правило, объединенные видами живых организмов биотические сообщества.

Эти сообщества формируются и регулируются человеком для получения сельскохозяйственной продукции, отличаются высокой биологической продуктивностью и доминированием одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных. Выращиваемые культуры и разводимые животные подвергаются искусственному, а не естественному отбору.

Как экологические системы агроэкосистемы **неустойчивы**, в них слабо выражена способность к саморегулированию, без поддержки человеком они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы (например, мелиорированные земли – болота, насаждения лесных культур – в лес).

Агроэкосистемы с преобладанием зерновых культур существуют не более одного года, многолетних трав – три-четыре 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, уход, дополнения) они постепенно «дичают», превращаясь в естественные экосистемы, или погибают. Преобладающая разновидность агроэкосистем – **искусственные фитоценозы**:

- ▶ окультуренные (планомерно эксплуатируемые луга и пастбища);
- ▶ полукультурные (непостоянно регулируемые искусственные насаждения – сеяные, многолетние луга);
- ▶ культурные (постоянно регулируемые многолетние насаждения, полевые и огородные культуры);
- ▶ интенсивно культурные (парниковые и оранжерейные культуры, гидропоника, аэропоника и другие, требующие создания и поддержания особых почвенных, водных и воздушных условий).



|| Чем природные экосистемы отличаются от агроэкосистем?

Условную модель агроэкосистемы можно представить:

естественная экологическая система + антропогенная энергия = агроэкологическая система.

В доиндустриальном сельском хозяйстве удельные затраты энергии были сравнимы с энергопотоками в естественных экосистемах. В высокоинтенсивном сельском хозяйстве энергопотребление многократно выше, что в конечном итоге уравнивает их по степени влияния на окружающую природную среду с иными антропогенными воздействиями. Как уже отмечалось, природные экосистемы и агроэкосистемы сходны по автотрофности. Но при этом природная экосистема являет собой область с замкнутым циклом и элементов питания, и первичной продукции. То есть потоки вещества реализуются преимущественно внутри системы, а вынос их из системы почти отсутствует. Агроэкосистемы же создаются именно с целью преимущественного выноса продукции из системы, причем иногда на удаление в тысячи километров от первоначального источника формирования этой продукции.

Природные экосистемы отличаются от агроэкосистем. Прежде всего биотическое сообщество природной экосистемы разнообразнее, чем в агроэкосистеме, и полнее использует доступное ей пространство ниши. Характеристики отдельных индивидуумов (генетика, возраст, состояние) внутри определенного вида имеют тенденцию к изменению в природных экосистемах, но относительно постоянны в агроэкосистемах. Природные экосистемы более непрерывны в пространстве и времени, и основная часть полученной в них продукции используется для различных целей в этих экосистемах. Экспорт продуктов продовольствия из агроэкосистем лимитирует использование полученной продукции внутри этих систем и делает их зависимыми от затрат материалов и труда человека.

Агроэкосистемы, с одной стороны, – естественно-материальный источник производства, а с другой – объект и результат целенаправленной деятельности человека. Каково же соотношение «первого» и «второго», и насколько оно меняется под влиянием интенсификации сельскохозяйственного производства? Как предмет изучения и управления агроэкосистема представляет собой вполне определенную материальную систему со сложной внутренней совокупностью активных экологических взаимосвязей, которые реализуются в результатах производственной деятельности и условиях воспроизводства природного потенциала.



Какие виды землепользования известны в мировой практике ведения сельского хозяйства?

В мировой практике отсутствие общепринятой классификации агроэкосистем восполняется, в известной мере, типизацией структур земледелия, применяемой ФАО. Согласно ей, выделяется пять видов землепользования, по каждому из которых классифицированы агроэкосистемы.

- Земледельческое или полевое землепользование – богарные, орошаемые и бахчевые агроэкосистемы (ротации зерновых, бобовых, фуражных, корнеплодных, овощных, технических и лекарственных культур);
- Плантационно-садовое землепользование – плантационные агроэкосистемы (чайный куст, дерево какао, кофейное дерево, сахарный тростник), садовые агроэкосистемы (плодовые сады, ягодники, виноградники);
- Пастбищное землепользование – пастбищные агроэкосистемы (отгонные пастбища: тундровые, пустынные, горные; лесные пастбища; улучшенные пастбища: сенокосы, окультуренные луга);
- Смешанное землепользование – смешанные агроэкосистемы, характеризующиеся равнозначным соотношением и сочетанием нескольких видов землепользования, а также процессов получения как первичной, так и вторичной биологической продукции;
- 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 **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. Различают также агроэкосистемы **второго типа**, требующие постоянного дополни-

тельного привнесения энергии. По усредненным данным ежегодно в агроэкосистемы доиндустриального типа дополнительно вкладывается около  $2 \cdot 10^9$  Дж/га, а в интенсивные механизированные агроэкосистемы развитых стран – до  $20 \cdot 10^9$  Дж/га. (Целесообразный предел внесения дополнительной энергии –  $15 \cdot 10^9$  Дж/га.)

В процессе формирования, развития и эксплуатации агроэкосистемных образований принципиально важно учитывать естественное плодородие почв и условия его воспроизводства. По этим основаниям можно выделить три базовых типа агроэкосистем:

Характеристика воспроизводства естественного плодородия	Тип агроэкосистемы	Тенденция процесса
• Неполное воспроизводство	Природоемкий	Падение уровня естественного плодородия
• Простое воспроизводство	Природоохранный	Сохранение уровня естественного плодородия
• Расширенное воспроизводство	Природоулучшающий	Повышение уровня естественного плодородия

В настоящее время преимущественно доминирует природоемкий тип. Следует также отметить, что пропорционально типу воспроизводства почвенного плодородия меняется эффективность привносимой в агроэкосистемы антропогенной энергии.

В контексте вышеприведенных характеристик воспроизводства естественного плодородия, несколько предвосхищая последующее рассмотрение особенностей функционирования почвенно-биотического комплекса, целесообразно не упускать из вида, что почва – это единственный базис для создания любой агроэкосистемы; это – своеобразное средоточие процессов видоизменения веществ и трансформации потоков энергии; это – главное звено управления агроэкосистемами. Физико-химические процессы, происходящие в агроэкосистемах, как известно, существенно отличаются от таковых в естественных экосистемах вследствие привнесения элементов антропогенного регулирования.

Принципиальное отличие даже упрощенных агроэкосистем заключается в преимущественном выносе с урожаем питательных веществ, аккумулируемых в выращенной продукции.

Это – явный (видимый) отличительный признак агроэкосистем. Но он не единственный. Почвенное плодородие, определяемое в основном запасами гумуса, является не только главной экономической и экологической характеристикой агроэкосистемы. Уменьшение содержания гумуса ухудшает условия развития полезной микрофлоры, в том числе и «почвоочистительной», способствует утрате запасов внутрипочвенной энергии, элементов минерального питания, благоприятствует усилению процессов смыва и вымывания, то есть обуславливает деградацию базиса.

Агроэкосистемы по ряду процессов заметно отличаются от природных систем. Так, 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.



Потеря 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 отвечают за 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 по сравнению с агроэкосистемами, поскольку в последних значительная их часть отчуждается с урожаем.

Газообразные потери азота из почвы агроэкосистем значительно выше, вследствие большей активности денитрифицирующих микроорганизмов по сравнению с природными экосистемами.

**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 по сравнению с монокультурой в агроэкосистеме. 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.

В отличие от естественных экосистем, выполняющих три основные жизнеобеспечивающие функции (место, средство, условия жизни), агроэкосистемы формируются для получения максимально возможного количества продукции, служащей первоисточником пищевых, кормовых, лекарственных и сырьевых ресурсов.

То есть функции агроэкосистем в основном ограничиваются предоставлением средств жизни. В этом главная причина преобладания их ресурсоемкого и природоразрушающего типов. Перспектива же за природосообразными агроэкосистемами, полярными артеприродными образованиями. Это может быть достигнуто лишь в случае выполнения агроэкосистемами в полной мере функции воспроизводства и сохранения условий жизни. Очевидно, что формирование агроэкосистем (а в большей мере реконструкция их, поскольку доля вновь образуемых агроэкосистем очень невелика по сравнению с уже исторически сложившимися) должно отвечать главному требованию — быть природоохранным. Последовательная реализация экологической функции, поддерживающей благоприятные условия среды и для человека, и для органической и неорганической части агроэкосистемы и сопредельных территорий, является столь же важной, как и производство средств жизни. Пока что традиционно сохраняется разделение единого процесса производства биопродукции на два соподчиненных блока: не-

посредственно процесс производства и процесс уборки, транспортировки, переработки, хранения и потребления продукции. Этим стадиям также сопутствуют последующие не только позитивные, но и значительные негативные экологические последствия, требующие специфических охранных мероприятий. Принято считать эти меры дополнительными, носящими затратный характер. Между тем должен соблюдаться принцип равнозначной приоритетности как основа системного управления агроэкосистемами.

Резюмируя вышеизложенное, правомерно заключить, что

современные агроэкосистемы представляют собой сложные системные образования взаимосвязанных и взаимообусловленных материально, энергетически, экономически и экологически процессов целевого производства биологической продукции, обеспечивающие при этом воспроизводство естественного ресурсного потенциала и эффективное использование антропогенных субсидий энергии.

Энергетический баланс экосистем, меняющийся в зависимости от климатической зоны, объективно обуславливает формирование у экосистем приспособленности к «оптимальному» поглощению лучистой энергии, возможному в конкретных условиях. Адаптированность энергетического баланса экосистемы, соответствующая энергозатратам на теплообмен и транспирацию, повсеместно определяет продукционную эффективность как естественных, так и искусственных ценотических образований. Энергетические особенности различных природных зон планеты позволяют выделить 5 основных (глобальных) типов агроэкосистем.

- **Тропический тип.** Характеризуется высокой обеспеченностью теплом, способствующей непрерывной вегетации. Земледелие, главным образом, на основе функционирования агроэкосистем с преобладанием многолетних культур (ананасы, бананы, какао, кофе, многолетний хлопчатник и др.). Однолетние культуры дают здесь несколько урожаев в год. Особенностью является непрерывная потребность во вложении антропогенной энергии в связи с постоянным в течение года проведением полевых работ. Для агроэкосистем этого типа присуща фактически равнозначность естественного и антропогенного процессов массо- и энергообмена.
- **Субтропический тип.** Интенсивность антропогенных потоков веществ и энергии меньше; проявляются дискретность и дисперсность этих потоков. В основном характерно наличие двух вегетационных периодов – летнего и зимнего. Произрастают многолетние растения, которые имеют хорошо выраженный период вегетативного покоя (виноград, грецкий орех, чай и др.). Однолетние растения летнего периода представлены кукурузой, рисом, соей, хлопчатником, зелеными и т.д.).
- **Умеренный тип.** Агроэкосистемы характеризуются лишь одним (летним) вегетационным периодом и продолжительным («нерабочим») периодом зимнего покоя. Очень высокая потребность во вложении антропогенной энергии приходится на весну, лето и первую половину осени.
- **Полярный тип.** Земледелие носит очаговый характер. Агроэкосистемы существенно ограничены территориально и по видам возделываемых культур (листовые овощи, ячмень, некоторые корнеплоды, ранний картофель).
- **Арктический тип.** Агроэкосистемы открытого грунта отсутствуют. Возделывание культурных растений исключено из-за очень низких температур теплого периода: в летние месяцы бывают длительные похолодания с отрицательными температурами. Возможно использование закрытого грунта.

На территории современной России главенствующими являются агроэкосистемы умеренного типа со всеми вытекающими требованиями по организации их рационального функционирования.

При организации агроэкосистем в соответствии с целевыми функциями весьма важно обеспечить более полноценное использование лучистой энергии. Резервы здесь не велики. Для большинства типов растительного покрова КПД накопления биомассы составляет в среднем 1–2% поглощенной ФАР (область фотосинтетически активной радиации, равная 0,38–0,71 мкм). Пустынные кустарники имеют КПД 0,03%, альпийские травянистые растения – 0,15–0,75%. Наиболее высокий КПД у лесных экосистем – 2–4%. В целом растительный покров России характеризуется величиной КПД около 0,7% поглощенной ФАР.

В агроэкосистемах, занятых светолюбивыми и высокоурожайными культурами, КПД биомассы может достигать 5–7%, а при орошении возрастает до 10%. В целом же КПД хорошего посева за вегетационный период не превышает 1–4%. Нарращивание продуктивности агроэкосистем находится в тесной зависимости от прогресса в селекционных работах, направленных на выведение высокоурожайных и устойчивых сортов возделываемых культур. Вместе с тем при организации агроэкосистем есть и другой путь повышения продуктивности. Это – создание (подобно природной в виде лесного многоярусного ценоза) многоярусной агроэкосистемы, в которой по вертикальному профилю световая ниша занята соответствующей все более низкорослой и тенелюбивой культурой.

Смена приоритета монокультурных агроэкосистем поликультурными их типами является одной из перспективных задач оптимизации природопользования.

Все экосистемы функционируют на основе прохождения **биогеохимических циклов** – эволюционно сложившихся универсальных природных процессов. В соответствии с принципами состояния гомеостаза экосистемы заметные изменения любого из формирующих ее функциональных компонентов могут послужить первопричиной существенных изменений других компонентов, нарушая при этом прежнее внутреннее строение системы (состав растительных и животных сообществ, доминирование органического вещества и т.д.). **Стабильность** экосистемы сохраняется даже в том случае, если она переходит на новый уровень гомеостаза. Если же элиминируется или становится неэффективной любой из функциональных компонентов, экосистема может разрушиться под действием абиотических факторов, например, под действием эрозии.

Достижение стабильного функционирования агроэкосистем, предотвращение возможного возникновения и развития деграционных процессов требуют постоянной целенаправленной работы и в плане научного осмысления особенностей их биологического продуцирования, и в вопросах формирования целесообразных направлений непосредственной практической деятельности. В этом отношении принципиально важным является сравнительная оценка свойств природных и культивируемых систем (табл. 6.2.1). Обращаясь к материалам этой таблицы, можно предположительно констатировать, что в перспективе должно быть обеспечено максимальное приближение свойств искусственных образований к природным, к чему, по сути, и должны в первую очередь сводиться агроэкологические решения, основывающиеся, разумеется, на грамотном учете особенностей массо- и энергообмена в агроэкосистемах.

Таблица 6.2.1.

**Свойства природных и культурных экосистем, непосредственно влияющие на их способность накапливать питательные элементы и стабильность (по: Вудмэнси, 1987)**

Свойства	Природные	Культивируемые
Абиотические		
Скорость инфильтрации	высокая	низкая
Величина стока	низкая	высокая
Эрозия	низкая	высокая
Растительный покров	значительный	малый
Опад и другие остатки	много	мало
Камни	много	мало
Потери почвенной влаги на испарение	высокие	низкие
Почвенные коллоиды	много	мало
Потери на вымывание	низкие	высокие
Температура почвы	ниже	выше
Биотические		
Внутренний круговорот, осуществляемый растениями	выше	ниже
Синхронизация активности растений и микроорганизмов	высокая	низкая
Разнообразие биологической активности по времени	высокое	низкое
Соотношение активности растений и микроорганизмов	1	менее 1
Разнообразие растительных популяций	высокое	низкое
Генетическое разнообразие	высокое	низкое
Потенциал воспроизводства	высокий	низкий

Продукционный процесс агроэкосистемы определяется не разрозненно действующими абиотическими (местоположение, солнечная радиация, тепловой и водный режимы, минеральное питание и др.), биотическими и антропогенными факторами, а зависит от всего их комплекса одновременно (результатирующий вектор сложных комбинаций межфакторных взаимодействий). Продуктивность агроэкосистемы обеспечивается интенсивностью и направленностью процессов обмена веществ и переноса энергии между возделываемой культурой и окружающей природной средой, находящимися под управлением человека. Качеством управления, степенью его природосообразной достаточности обуславливается, в конечном счете, экосистемный уровень биологической организации агроэкосистем.

### 6.3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Экологическим фактором является любой из элементов окружающей среды, независимо от наличия и особенностей его связей с обитающими в этой среде организмами. Наиболее распространено следующее определение экологических факторов:

«Элементы окружающей среды, оказывающие положительное или отрицательное влияние на живые организмы на протяжении хотя бы одной из фаз их индивидуального развития, называются экологическими факторами». Однако такое определение не раскрывает механизм их (факторов) действия.

Согласно концепции экологического фактора, у организмов можно различить три основных типа реакций в зависимости от особенностей внешних воздействий. Простейшей формой таких реакций будет **изменение положения организма в пространстве** по отношению к источнику воздействия. Примером реакций этого типа являются некоторые перемещения организмов в целях сохранения исходного состояния уровня их жизнедеятельности.

Более сложным типом реакций являются **количественные изменения уровня жизнедеятельности**, в частности, обмена веществ в организме без изменения его характера. Например, все изменения скорости течения жизненных процессов как ответные реакции на внешние воздействия. Приспособительное значение реакций этого типа заключается также в сохранении исходного состояния организма в тех случаях, когда в ответ на внешние воздействия организм не может изменить свое положение в пространстве.

Наиболее сложным третьим типом ответных реакций являются **изменения характера жизнедеятельности и обмена**, к которым относятся явления диапаузы, спячки, анабиоза, фотопериодические реакции и другие качественные изменения жизненного цикла, явления иммунитета и другие. Эти реакции наступают под влиянием внешних воздействий большой длительности или интенсивности (например, смена сезонов, воздействие паразитов, загрязняющих веществ и т.д.). Выживание организма в этих условиях обуславливается не сохранением энергетического баланса, а наоборот, его приспособительным к этим условиям изменением.

Очевидно, что все перечисленные типы реакций организмов могут быть вызваны только такими элементами, которые быстро изменяются во времени. Именно факт изменчивости является необходимым условием возможности их воздействия на организмы и возникновения у последних ответных эколого-физиологических реакций.



Какая существует классификация факторов и чем она обоснована?

Экологические факторы чрезвычайно разнообразны по своему происхождению, по характеру действия на живые организмы, по времени воздействия и другим особенностям. Общепринята следующая развернутая классификация экологических факторов:

- По происхождению (космические, абиотические, биотические, природно-антропогенные, антропогенные);
- По среде возникновения (атмосферные, водные, орографические или геоморфологические, эдафические, физиологические, популяционные, экосистемные, биосферные);
- По степени воздействия (летальные, экстремальные, лимитирующие, беспокоящие, мутагенные, тератогенные);
- По времени (эволюционные, исторические, действующие);
- По характеру действия (геофизические, географические, биогенные и биотические, эволюционные).

Наиболее простой и широко применяемой в сельском и лесном хозяйстве является **классификация экологических факторов по происхождению**:

- ▶ абиотические;
- ▶ биотические;
- ▶ антропогенные (обусловленные влиянием человека на окружающую среду).

**Абиотические факторы** – это факторы неживой природы, формирующиеся под воздействием косных тел ее.

К абиотическим факторам в наземных экосистемах относятся:

- климатические – свет, тепло, воздух (его состав и движение), влага (включая осадки в разных формах, влажность воздуха и почвы и др.);
- эдафические (или почвенно-грунтовые) – механический и химический состав почв и грунтов, их физические свойства;
- топографические или орографические условия рельефа.

На водные организмы влияет комплекс гидрологических факторов (гидрофизические, гидрохимические).

Абиотические факторы могут оказывать на организмы прямое и косвенное (опосредованное) действие. Например, температура среды, действуя непосредственно на организм животного или растения, определяет их тепловой баланс, течение физиологических процессов.

Каждый организм постоянно испытывает на себе прямое или косвенное влияние других существ, вступает в связь с представителями своего вида и других видов – растениями, животными, микроорганизмами, зависит от них и сам оказывает на них воздействие. Это обстоятельство служит основанием для выделения следующих **биотических** факторов:

- **фитогенные** – влияние растений (как прямое, так и косвенное). Прямое влияние – механические контакты, симбиоз, паразитизм, поселение эпифитов и другие. Например, в агроценозах сорное растение повилика полевая паразитирует на люцерне, клевере, вике, чечевице и других растениях. Причем растения при механическом контакте, симбиозе влияют друг на друга, выделяя различные физиологически активные вещества (витамины, антибиотики, ферменты, фитонциды, глюкозиды и другие), которые, в свою очередь, могут стимулировать или ингибировать рост других растений.

- **зоогенные биотические факторы** представляют собой влияние животных (поедание, вытаптывание и другие механические воздействия, опыление, распространение семян и влияние на среду). В частности, эти факторы используются в биологической защите растений открытого грунта, например, известный яйцепаразит трихограмма применяется для борьбы с капустной, хлопковой, озимой и другими видами вредителей-совок, а также против кукурузного мотылька, гороховой плодожорки. Используются и другие энтомофаги. Например, габробракон – против гусениц хлопковой совки, интродуцирующие хищные насекомые йодизус и периллюс – против яйцекладок и личинок колорадского жука на раннем картофеле и баклажанах;

- **микробиогенные и линсогенные биотические факторы** обусловлены влиянием микроорганизмов и грибов (паразитизм, изменение среды). Микроорганизмы (бактерии и грибы) воздействуют на растения по линии характера микронаселения ри-

зофер и по линии патогенных организмов. Если микробонаселение ризосферы подвержено изменению, то это сказывается на питании растений в лучшую или, наоборот, в худшую сторону, а также на бактериальном или инфекционном заражении растений. Одно высшее растение может быть промежуточным хозяином патогенного микроорганизма, вызывающего заболевание другого растения. Например, некоторые виды молочаев являются промежуточными хозяевами ржавчины гороха (в эцидиальной стадии), поэтому наличие в посевах гороха молочая опасно;

- **антропогенные факторы** (от греч. Anthropos – человек и genesis – происхождение) отражают влияние деятельности человека на окружающую среду. С воздействием антропогенных факторов связано уничтожение продуктов эволюции – многих видов животных и растений, их сложнейших систем совместного существования – биоценозов. Разрушение конкретных экосистем чаще всего обусловлено непосредственным влиянием на них (пожары, резкое изменение почвенного покрова и водного режима); загрязнением различными техногенными и токсичными веществами, изменениями, связанными с постоянным изъятием фитомассы и зоомассы (особенно в агроэкосистемах) без компенсации потерь; антроподинамическими сменами; коренными преобразованиями экосистем в культурные экосистемы.

Два абиотических фактора – температура воздуха и количество осадков определяют размещение по земной поверхности основных наземных экосистем. Климат – статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения – в разных районах земного шара неодинаков. Так, среднегодовая сумма осадков, на земном шаре колеблется от 0 до 12000 мм. При этом в одних случаях они выпадают равномерно в течение года, в других – основное количество их приходится на определенный период. Среднегодовая температура воздуха также варьирует – от отрицательных величин в полярных областях до высоких положительных значений в тропиках.

Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности называется **валентностью экологических факторов** и определяет диапазон адаптированности (толерантности, приспособленности) вида по их градиенту.

Для каждого организма существует степень благоприятности экологического фактора, оптимального для его роста, существования и размножения.

Наименьшее допустимое значение данного фактора (его нижняя пороговая величина) называется пессимумом, или нижним пределом выносливости. Наивысшее допустимое значение фактора – максимумом или верхним пределом выносливости. Заключенный между этими двумя значениями диапазон изменчивости представляет собой **зону экологической толерантности** (валентности) или пределов выносливости. Около нижнего и верхнего пределов выносливости организма, где активность его сильно ограничена, находятся зоны угнетения, а далее следует зона нормальной жизнедеятельности.

Однако кривая валентности экологических факторов в пределах зоны толерантности не всегда имеет симметричный вид, то есть с центрально расположенной оптимальной зоной. Например, для пресноводных организмов биологический оптимум находится у нижнего предела содержания солей, тогда как у морских организмов он находится на противоположном конце изменчивости фактора.

В то же время толерантность различных организмов по отношению к одному и тому же фактору достаточно специфична. У одних видов зона толерантности весьма об-

ширная, у других – узкая. Организмы, которые могут существовать при большой амплитуде факторов, называются эврибионтными; организмы же, существующие только при малой амплитуде колебания факторов, именуются стенобионтными. Естественно, что эврибионтные организмы могут при прочих равных условиях занимать более обширные пространства. Такие же подразделения организмов возможны и по отношению к любому конкретному фактору: например, эври- и стенотермные (по отношению к температуре), эври- и стенобатные (по отношению к глубинному давлению), эври- и стеногидрические (по отношению к воде) и т.д.

Детальными исследованиями Ю.Одума (1975) определена изменчивость толерантности во времени и пространстве в зависимости от категории особей:

- толерантность по отношению к данному фактору и положение зоны оптимума могут быть различными для различных физиологических и экологических функций организма. Например, воздействие температуры от 40 до 45°C у холоднокровных животных сильно увеличивает скорость обменных процессов, но тормозит двигательную активность;
- границы экологической толерантности характеризуют не биологические виды, а отдельные их географические популяции;
- толерантность организма по отношению к одному и тому же фактору зависит от пола и возраста. Например, у бабочки мельничной огневки (вредитель зерновых продуктов) критическая минимальная температура для взрослых особей 22°C, для гусениц – 7°, а для яиц – 27°C.

Однако сложность действия экологических факторов увеличивается от того, что в окружающей среде они никогда не действуют изолированно, а всегда комплексно. В связи с этим оптимальная зона и пределы выносливости организма по отношению к тому или иному фактору могут заметно смещаться в зависимости от того, в каком сочетании и с какой силой действуют одновременно другие факторы. Иллюстрацией к сказанному может служить табл. 6.3.1, согласно которой граница неблагоприятных для животных температур существенно меняется в зависимости от величины потока суммарной солнечной радиации, а с увеличением скорости ветра угнетение животных при одной и той же температуре возможно при увеличении радиационного потока. Поэтому выделение из всего многообразия экологических факторов ведущих в отношении изучаемого явления, определяющих его количественную и качественную стороны, – первостепенная задача, особенно для объектов, важных в экологическом отношении (полезных и ценных видов, леса, здоровья человека и животных, вредителей культурных растений).

Таблица 6.3.1

**Суммарные значения солнечной радиации (кал/см<sup>2</sup>·мин), обуславливающие в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра угнетенное состояние овец (по: А.И.Чекерес, 1973)**

Скорость ветра, м/сек	Температура воздуха, °С									
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
2	1,45	1,27	1,08	0,90	0,71	0,52	0,34	0,15		
3	1,59	1,40	1,22	1,03	0,84	0,65	0,46	0,27	0,08	
4	1,78	1,58	1,38	1,18	0,99	0,79	0,59	0,39	0,19	
5–6		1,89	1,67	1,45		1,02	0,80	0,59	0,37	0,15



По Куркину (1976), интегральное действие на организм совокупности экологических факторов осложнено явлениями монодоминантности, синергизма, антагонизма и провокационности их совместного действия. **Монодоминантность** возникает, если один из факторов, находясь либо в минимуме либо в максимуме, оказывает столь сильное воздействие, что подавляет влияние всех остальных факторов. **Синергизм** (взаимосиление) – действие двух или более факторов. Оно возникает, например, при одновременном ослаблении или, наоборот, усилении таких факторов, как влажность почвы, содержание в ней нитратного азота и освещенность. **Синергизм** связан с наличием в биосистеме положительной обратной связи между результатами действия факторов. **Антагонизм** действия факторов на биосистему взаимно «гасится» и определяется наличием отрицательной связи между результатами воздействия факторов. **Провокационность** характерна для сочетания стимулирующих воздействий с летальными (повреждающими) и заключается в том, что первые не только ослабляют, а, наоборот, усиливают действие других.

Одни факторы могут быть ведущими, другие сопутствующими.

В свою очередь, ведущие факторы в различные сезоны, в разных климатических зонах или для различных возрастных групп могут быть неодинаковыми. Так, в агроэкосистемах для прорастания культурных злаков ведущим фактором является температура, в период колошения и цветения – почвенная влага, во время созревания – количество питательных веществ в почве. Таким образом, один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие, и наоборот, один и тот же результат может быть получен разными путями. Например, увядание растений можно приостановить как путем увеличения количества влаги в почве, так и снижением температуры воздуха, что уменьшает испарение.

В то же время, согласно правилу В.Р.Вильямса, четыре основных экологических фактора (основные условия жизни) – свет, тепло, пища и вода являются **равнозначными или незаменимыми**. Замещаемость основных факторов может быть лишь в определенных пределах. Например, один водный фактор (осадки) может быть иногда заменен другим, также одним, фактором (влажность воздуха, искусственный полив), но не может быть заменен фактором света, тепла или почвенного питания. Однако и это правило получило дальнейшее развитие, то есть доказана все же возможность замещения основных экологических факторов другими. Так, известны случаи замещения климатических факторов эдафическими. Например, в средней Европе сухие известняковые холмы бывают покрыты, в особенности на южных склонах, средиземноморской растительностью. Это является следствием сухости и теплоты известковых почв, заменяющих южный климат, который по Рюбелю (1935) «репродуцируется» эдафически.

Таким образом, перечисленные классификации экологических факторов носят условный характер, так как не учитывают их функционирования во взаимодействии. С другой стороны, и «природа» экологического фактора, а также характер изменчивости даже в своей совокупности далеко не определяют экологического действия, так как последнее обусловлено кроме того экологическими особенностями организмов. Совокупность факторов воздействует сильнее всего на те фазы развития организмов, которые имеют наименьшую толерантность, то есть минимальную приспособляемость.

Хотя в целом виды и приспособлены лучше к функционированию в некотором узком диапазоне условий среды, нередко популяции вида подразделяются на субпопуля-

ции или экотипы, встречающиеся в местах с различными экологическими условиями в пределах ареала вида. То есть экотипы (от греч. oikos – дом, typos – тип) это экологические расы и разновидности растений и животных, чаще всего находящиеся в пределах непрерывных рядов изменчивости (климатической, эдафической и ценотической). Например, эдафотип меловой формы сосны обыкновенной.

Идея значимости исследования различных экотипов получила теоретическое и практическое обоснование в сельскохозяйственной науке еще в 30-х гг. нынешнего столетия. В этом отношении интересные опытные работы провел Н.И.Вавилов. Важнейшие полевые культуры были высеяны на опытных станциях Всесоюзного института растениеводства (ВИР) в различных почвенно-климатических зонах. Эти специальные географические посева проводились едиными наборами экологических типов основных зерновых культур.

В результате была установлена экологическая изменчивость зерновых культур по целому ряду ценных признаков. Выявленные признаки легли в основу типовых экологических коллекций по каждой культуре. Стали также проводиться работы по экологической классификации и районированию культурных растений. Было дано обоснование грамотному районированию видов и сортов. Выявлены законы гомологических изменений и центры происхождения культурных видов и сортов.

Проблемы, поставленные Н.И.Вавиловым, не потеряли актуальности и для современных экологических исследований. В частности, целесообразны:

- определение в различных биотопах метеорологических эквивалентов для многих видов растений;
- совершенствование в области применения экологических признаков, характеристик, основанных на теории «скорость-масса-строение», а также последующее изучение факторных колебаний (географические опыты и дифференцированный анализ урожая);
- проведение дальнейших географических испытаний как для зерновых, так и для широкого круга других культурных растений;
- определение закономерностей, лежащих в основе сложных взаимоотношений между экотипами сельскохозяйственных растений и экологическими факторами.

#### 6.4. ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

Почвенный покров представляет собой самостоятельную земную оболочку – педосферу. Почва, как известно, является продуктом совместного воздействия климата, растительности, животных и микроорганизмов на поверхностные слои горных пород.

По В.И.Вернадскому, почва – это биокосное тело, состоящее одновременно из живых и косных (неорганических) тел – минералов, воды, воздуха, органических остатков.

В этой сложнейшей системе непрерывно совершаются синтез и разрушение органического вещества, круговорот элементов зольной и азотной пищи растений, детоксикация различных загрязнителей, поступающих в почву и т.д.

Эти процессы осуществляются благодаря уникальному строению почвы, которое представляет собой систему взаимосвязанных и взаимообусловленных твердой, жидкой, газообразной и живой составляющих. Так, например, воздушный режим почвы тес-

но связан с ее влажностью. Оптимальное сочетание этих факторов способствует лучшему развитию высших растений. Последние, продуцируя большую биомассу, поставляют больше пищевого и энергетического материала для населяющих почву живых организмов, что улучшает их жизнедеятельность и способствует обогащению почвы питательными веществами и биологически активными соединениями. Твердая фаза почвы, имеющая максимальное сосредоточение основных источников питательных и энергетических веществ – гумуса, органо-минеральных коллоидов, катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  на поверхности почвенных частиц, также взаимосвязана с распространением и функционированием **почвенно-биотического комплекса (ПБК)**.

Почвенные частицы, особенно коллоидная и илистая фракция, благодаря большой суммарной поверхности, обладают поглотительной способностью, то есть задерживают различные вещества, соприкасающиеся с ее твердой частью. Эта способность имеет большое экологическое значение, так как позволяет почве сорбировать различные соединения, в том числе токсичные, и тем самым препятствовать поступлению токсинов в пищевые цепи.



Каков состав ПБК?

В процессе превращения веществ и формирования потоков энергии огромную роль играют населяющие почву живые организмы, составляющие почвенно-биотический комплекс (ПБК), без которого нет и не может быть почвы.

«Замрет, прекратится эта жизнь, и бывшая почва станет объектом геологии»  
(В.В.Вильямс, 1947).

ПБК представлен весомой (по массе) и многочисленной (по номенклатуре) группой организмов, среди которых известны микроорганизмы, простейшие, беспозвоночные животные, черви, моллюски и др. Представление о составе некоторых из них дают следующие количественные характеристики (в пересчете на 1 г почвы):

• Бактерии	3000000-90000000;
• Актиномицеты	100000-35000000;
• Микроскопические грибы	8000-1000000;
• Водоросли	100000;
• Простейшие	6000000-1500000.

Принято считать (В.Тишлер, 1955), что почва (верхний слой) в целом состоит из минеральной субстанции (93%) и органического вещества (7%). В свою очередь, органическое вещество включает:

- мертвое органическое вещество 85%;
- корни растений 10%;
- эдафон 5%.

В структуру эдафона входят:

- ▶ бактерии и актиномицеты 40%;
- ▶ грибы и водоросли 40%;
- ▶ дождевые черви 12%;
- ▶ прочая макрофауна 5%;
- ▶ микро- и мезофауна 3%.

Согласно имеющимся оценкам, масса бактерий составляет примерно 10 т/га, такой же величиной оценивается и масса микроскопических грибов, масса простейших достигает порядка 370 кг/га и т.д.

Показатели количественного содержания дождевых червей в различных типах местообитаний выглядят следующим образом:

	Число дождевых червей, тыс/га	Общая масса дождевых червей, ц/га
→ Пашня	250	0,5-1,4
→ Пастбище	500-1575	11,5-16,8
→ Сенокос	2000-5600	более 20

Среди животных организмов биосферы обитатели почвы характеризуются наибольшей биомассой.

Исходя из предположения, что в среднем биомасса почвенной фауны равняется 300 кг/га, то на площади 80 млн. км<sup>2</sup> почвенного покрова Земли (без пустынь) **суммарная биомасса почвенных животных всего земного шара составляет 2,5 млрд.т** (П.Дювиньо, М.Танг, 1968). Деятельность почвенной фауны, или **педофауны**, состоит в разложении опада на комплексные органические производные (первоначальная функция дождевых червей): эти соединения затем переходят к бактериям, актиномицетам, почвенным грибам, высвобождающим из органических остатков исходные минеральные компоненты, которые опять ассимилируются продуцентами.

От деятельности почвенной биоты в значительной степени зависит плодородие почвы, ее здоровье, качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды. Поэтому знание особенностей функционирования ПБК в различных экологических условиях, его роли в жизни почвы принципиально важно для решения проблемы создания продуктивных и устойчивых агроэкосистем, производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и минимизации загрязнения биосферы.



Какова структурно-функциональная организация ПБК в различных экологических условиях?

Как известно, почва является частью огромной экологической системы – биосферы, где действует множество экологических факторов. Поэтому в природе наблюдается большое разнообразие почвенных типов и их разновидностей, которые характеризуются различным проявлением биологических процессов. Например, южные почвы, сформированные в условиях оптимального сочетания экологических факторов (достаточные количества тепла, влаги, пищи), отличаются более высокой биологической актив-

ностью. Северные почвы в условиях лимитирующего температурного фактора, промывного типа водного режима, особенностей почвообразующих пород и пр. характеризуются низкой биологической активностью и своеобразным ПБК. Другими словами, **функционирование разных экосистем протекает при участии различных почвенных организмов в количественном и качественном выражении, что обуславливает уровень почвенного плодородия и устойчивость экосистемы к неблагоприятным факторам среды.**

Так, черноземные почвы, названные классиком отечественного почвоведения В.В.Докучаевым «царем» почв, характеризуются высокой урожайностью и высокой устойчивостью по отношению к токсикантам. Почвы северного ряда – подзолистые и дерново-подзолистые – обладают менее выраженным плодородием, но устойчивы к антропогенному загрязнению.

В зависимости от типа почвы и ее культурного состояния эти различия проявляются в значительной флуктуации численности и структуры почвенной биоты вообще и микробной компоненты, в частности. Наибольшее количество почвенных микроорганизмов отмечается в черноземах и отдельных подтипах каштановых почв. Высокой численностью микроорганизмов характеризуются также сероземные почвы (при орошении). К северу и югу от них численность микробного населения сокращается. Следует отметить, что **наибольшая численность микробиоты активно функционирует в верхнем гумусовом слое**, где сосредоточен наибольший запас питательных элементов, то есть плодородие почв и почвенная биота взаимосвязаны.

Структурные изменения в функционировании экосистем в различных почвенно-экологических условиях определяются участием различных групп почвенного бионаселения в биохимических процессах. Например, в северных экосистемах в биологическом круговороте активное участие принимает грибное «население». К югу в структуре микробного ценоза преобладают бактерии и актиномицеты.

Выявлены и видовые особенности микроорганизмов в функционировании различных экосистем (табл. 6.4.1.). В экосистемах со слабым течением минерализационных процессов (дерново-подзолистые и особенно подзолистые почвы) доминантами выступают виды, участвующие на ранних этапах распада органического вещества: *Bac. cereus*, *Bac. virgulus*, *Bac. agglomeratus*. Более глубокая трансформация органического вещества протекает при участии *Bac. idosus*, *Bac. mesentericus*, *Bac. subtilis*. В экосистемах с хорошим азотным режимом почвы присутствуют зародыши *Bac. megatherium*.

Индикатором засоленных почв является *Bac. gasificans*. В условиях чрезвычайной засушливости экосистем (регионы сухостепной зоны) в структуре бациллярного населения доминантом выступает *Bac. mesentericus niger*.

Таким образом, по структуре микробного ценоза и особенно видовому составу микроорганизмов можно судить о течении почвообразовательного процесса и состоянии экосистем.



Какие типы связи и отношений существуют в почвенном биотическом сообществе?

Населяющие почву живые организмы функционируют на основе как внутренних взаимодействий, так и на основе взаимоотношений с абиотической средой.

Таблица 6.4.1

## Видовой состав бацилл в почвах разных типов (% , горизонт А1 или АпАх)

Виды бацилл	Под-зо-лист-ая (лес)	Дер-ново-под-золи-стая (сад)	Се-рая лес-ная (паш-ня)	Чернозем (пашня)			Каш-танов-ая	Соло-нец	Солон-чак
				опод-золен-ный	выще-лочен-ный	типи-чный			
<i>Bac. agglomeratus</i>	16,0	9,3	2,2	0,8	–	0,6	0,3	3,2	2,1
<i>Bac. mycoides</i>	28,6	5,3	7,3	0,3	0,2	–	–	–	–
<i>Bac. idosus</i>	7,4	29,4	25,0	25,6	22,0	24,7	19,2	16,8	18,6
<i>Bac. megatherium</i>	3,1	32,5	41,0	41,0	48,5	41,0	33,3	13,6	10,0
<i>Bac. mesentericus ruber</i>	1,1	4,5	5,3	6,8	7,8	10,8	–	–	–
<i>Bac. mesentericus</i>									
<i>Trevisan</i>	–	1,5	3,5	10,6	7,5	10,2	22,3	22,4	10,9
<i>Bac. mesentericus niger</i>	–	–	–	–	–	–	8,0	12,3	25,2
<i>Bac. mesentericus panis</i>	–	1,2	0,4	0,3	0,9	0,9	–	1,4	–
<i>Bac. subtilis</i>	–	0,2	1,7	2,0	0,8	0,6	2,1	1,5	1,1
<i>Bac. solaniperda</i>	–	–	0,2	0,5	0,1	0,1	4,2	14,2	10,0
<i>Bac. cereus</i>	19,8	6,8	4,6	6,5	2,7	2,4	1,2	3,3	0,5
<i>Bac. virgulus</i>	9,1	1,2	4,0	1,6	1,2	1,1	–	–	–
<i>Bac. asterosporus</i>	10,9	3,1	0,1	1,3	1,0	0,8	5,4	1,0	3,5
<i>Bac. cyanogenes</i>	0,6	–	0,1	–	–	–	–	–	–
<i>Bac. adhaerens</i>	1,0	0,2	–	–	–	–	–	2,5	2,3
<i>Bac. brevis</i>	2,4	1,6	1,4	1,9	5,1	3,4	3,4	1,7	4,3
<i>Bac. tumescens</i>	–	0,2	1,4	0,7	0,8	3,3	–	0,4	2,9
<i>Bac. polymyxa</i>	–	2,6	1,8	–	–	0,1	0,1	–	3,6
<i>Bac. dasificans</i>	–	0,4	–	–	–	–	–	5,7	5,0
<i>Bac. migrans</i>	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–
<i>Bac. antracoides</i>	–	–	–	–	0,4	–	0,4	–	–

Эти взаимодействия основываются либо на **трофическом**, либо на **метаболическом** характере связей. Характер этих взаимодействий и взаимоотношений определяет уровень почвенного плодородия и состояние «здоровья» земли.

Примером трофического типа связи является связь в системе «хищник – жертва». В почвенной среде эта связь выражается между животными и микроорганизмами, которыми они питаются. (Хотя это положение и не является бесспорным.)

Существующие в природных экосистемах взаимодействия объясняют многие процессы, протекающие в почве. Например, трансформация растительных остатков протекает в результате **синтрофных** и **метаболических** взаимоотношений, когда одна группа популяции потребляет те продукты, которые образуются их предшественника-

ми. Яркий пример – нитрифицирующие бактерии, которые потребляют нитраты, продуцируемые нитрозными бактериями.

**Синтрофный тип** отношений лежит в основе очень важного с точки зрения «здоровья» земли процесса самоочищения почвы – удаление токсичных продуктов обмена (когда субстрат потребляется смешанными популяциями).

Поэтому в агроэкосистемах с преобладанием монокультуры, например, хлопчатника (монодоминантные агроэкосистемы), сокращается микробное разнообразие и выпадает звено, потребляющее продукты обмена (либо изменяются его функции), что приводит к нарушению процесса самоочищения почвы, известного под названием «почвоустомление».

**Метаболические (аллелохимические) связи** проявляются в том, что населяющие почву живые организмы выделяют в окружающую среду различные продукты, выполняющие функции сигнальных метаболитов и влияющие на рост и развитие растений.

Например, микроорганизмы выделяют во внешнюю среду физиологически активные вещества разной химической природы, которые действуют на другие организмы уже в малых концентрациях и выполняют функцию сигнала в работе системы. Так, продукты метаболизма микроорганизмов (витамины, аминокислоты, ауксины, антибиотики, ферменты и др.) поступают в растения, играя важную роль в их росте и развитии. Наиболее активными продуцентами витаминов являются микроорганизмы родов *Bacillus* и *Pseudomonas*.

В практике сельскохозяйственного производства широко используются продукты, выделяемые в результате метаболических (аллелохимических) связей, существующих в биоценозах. Например, насекомые выделяют вещества, которые могут отталкивать (**реппеленты**) или привлекать (**аттрактанты**) других насекомых или особей противоположного пола. Этот принцип положен в основу биологического метода защиты растений.

Большое значение имеет **симбиотический (мутуалистический)** тип ассоциации. Примером этого типа являются клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений, связи в лишайнике между грибами и водорослями, микоризные грибы с корневыми системами растений (микориза или грибокорень), играющие большую роль в обеспечении древесных растений элементами питания, особенно фосфором и калием.

Сеянцы сосны, например, очень плохо растут, если на их корнях нет микоризы, а многие микоризные грибы не встречаются вне корней. Связь обычно осуществляется через питание: микроорганизмы снабжают хозяина витаминами, стеролами, а от него получают кров и пищу.

Отсутствие спор грибов в почве иногда бывает причиной неудач при закладке питомников и посадке культур, особенно на площадях, не бывших под лесом, например, при лесоразведении в степи.

Отмечая множество существующих биологических взаимодействий, следует подчеркнуть, что они не являются постоянными, а могут меняться в процессе развития ценоза и в зависимости от условий окружающей среды, что необходимо учитывать при конструировании агроэкосистем и проведении хозяйственных мероприятий.



Какова роль микроорганизмов в круговороте веществ?

Микроорганизмы играют основную роль в круговороте веществ в биогеоценозах, замыкая биологические циклы экосистем. Ежегодно на суше синтезируется огромное количество фитомассы –  $115\text{--}117 \cdot 10^9$  т, из которой на долю опада приходится  $20 \cdot 10^9\text{--}50 \cdot 10^9$  т (Базилевич и др., 1970). Часть его (6–20%) поедается животными и возвращается в почву с экскрементами в количестве 10–60%. Дополняют величину биомассы прижизненные выделения корней и сама корневая система, составляющая от 20 до 90% фитомассы растений. Например, у одного растения ржи четырехмесячного возраста корневая система имеет длину 241 км, а число корневых волосков достигает  $118 \cdot 10^6$  (Бабьева, Зенова, 1989).

Эти значительные объемы органического вещества минерализуются под действием комплекса почвенных организмов, превращаясь из недоступных органических соединений в усвояемые растениями минеральные формы.

Основными же деструкторами при этом выступают микроорганизмы. 85% углерода, выделяющегося при разложении диоксида, приходится на долю микроорганизмов, 15% – на долю почвенных животных. При этом в аэробных условиях грибы дают 2/3, а бактерии 1/3  $\text{CO}_2$ .

Далее из минеральных соединений вновь синтезируется органическое вещество. Так в общем виде протекает малый, или биологический круговорот.

Следует отметить, что характер и интенсивность биологического круговорота зависят от трех главных факторов:

- ▶ состава растительности;
- ▶ гидротермического режима;
- ▶ комплекса организмов-трансформаторов.



Каким образом микроорганизмы участвуют в образовании гумусовых веществ?

Параллельно с разложением органических остатков в почве идут процессы **гумификации**. В этих процессах велика роль почвенной биоты и, в частности, микроорганизмов.

Все разновидности мертвого органического вещества, подвергаясь в почве биологическому разложению и окислению – гумификации, преобразуются обычно в единую, довольно стабильную химическую субстанцию почвенного субстрата – **гуминовые вещества**.



При гумификации растительных и животных остатков наблюдается последовательность в смене деструкторов, видовой состав и интенсивность развития которых в известной степени зависят от органических соединений, входящих в состав растительных и животных остатков. При этом идет не только разложение органических остатков, но и синтез новых органических соединений. Продукты распада используются, в частности, в процессе синтеза специфических органических веществ – **фульвокислот и гуминовых кислот**. Принято считать, что **фульвокислоты образуются в сильно-кислой среде, в которой наиболее активны грибы, а гуминовые кислоты характерны для почв со слабощелочной реакцией, в которых преобладают живые деструкторы**. Разложение органических компонентов с образованием гумуса, круговорот веществ – все это результат биохимических ферментативных процессов, осуществляемых обитателями почвы. Столь грандиозную по масштабам работу выполняют организмы, биомасса которых исчисляется лишь несколькими тоннами на гектар. Здесь надо учитывать большую скорость круговорота веществ, в результате чего общая суммарная биомасса деструкторов возрастает во много раз и в ряде случаев превышает годовую продукцию высших растений. Исходя из предпосылки, что полное возобновление биомассы микроорганизмов происходит раз в декаду в течение биологически активного периода года, приняты следующие зональные коэффициенты репродукции их биомассы:

- тундра – 9 (3 мес.);
- тайга – 21 (7 мес.);
- широколиственные леса и степи – 24 (8 мес.);
- пустыни – 27 (9 мес.);
- тропики – 36 (12 мес.).

Анализ данных о содержании органических веществ свидетельствует, что запасы гумуса в почвах различных растительных зон (за исключением лесных) больше, чем суммарная фитомасса соответствующих растительных сообществ (тундра, т/га: надземная фитомасса – 3–10, подстилка, корни, гумус – 270–380; черноземы соответственно: 10–20 и 500–1000).

Запасы гумуса в почве являются результатом длительного и разнообразного взаимодействия и взаимовлияния населяющих почву организмов и высших растений. Почвенное плодородие, основу которого составляют гумусовые вещества, определяется структурой и активностью почвенной микробиоты.



Какова роль почвенных микроорганизмов в азотфиксации?

Почвенные микроорганизмы обладают уникальной способностью фиксировать газообразный, атмосферный азот и переводить его в усвояемые для растений соединения.

Азот, фиксируемый почвенными микроорганизмами, называется биологическим, а микроорганизмы, связывающие молекулярный азот, – **азотфиксаторами или дiazотрофами**.

Суммарная годовая продукция азотфиксации в наземных экосистемах составляет около 175–190 млн.т, из которых 90–110 млн. т приходится на почвы агроэкосистем. При этом **доля биологического азота в урожае достигает 60–90%**. Для сравнения можно указать, что небιологические процессы связывания азота, идущие в атмосфере (газовые разряды) или в сферах деятельности человека (например, работа двигателей внутреннего сгорания), дают всего 0,5% фиксированного азота; 5% азота в форме аммиака приходится на химические заводы по производству азотных удобрений (Е.Н.Мишустин, 1985).

В зависимости от принадлежности к растению азотфиксирующие микроорганизмы делятся на **несимбиотические** и **симбиотические**.

**Несимбиотические азотфиксаторы** в свою очередь разделяются на **свободноживущие** (не связанные непосредственно с корневыми системами растений) и **ассоциативные**, которые обитают в прилегающей к корням почве (ризосфере) или на поверхности корней и листьев (фитоплане).

Суммарное годовое количество азота, продуцируемое свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами за год, колеблется для разных почв от десятков до сотен килограммов на гектар:

■ дерново-подзолистые	38–192;
■ каштановые	135–330;
■ серые лесные	48–216;
■ сероземы	215–516;
■ черноземы и черноземно-луговые	90–312;
■ солонцы	69–540.

Реальный **вклад несимбиотических азотфиксаторов** и общий баланс почвенного азота в среднем составляет **15 кг/га**, что в пересчете на посевные площади (220 млн. га в 1985 г.) дает 3,5–4,0 млн. т азота.

Ассоциативная азотфиксация осуществляется микроорганизмами, живущими в ассоциации с растениями, и в этом случае в большей степени зависит от количества и качества поступающего с корнями легкодоступного органического вещества и энергии. Этот процесс тесно сопряжен с процессом фотосинтеза.

Симбиотические азотфиксаторы (клубеньковые бактерии) живут в тканях растений, стимулируя образование особых разрастаний на корнях или листьях в форме клубеньков или узелков, в которых осуществляется фиксация азота атмосферы. Эти разрастания называются **бактероидами** и фактически являются азотфиксирующими органеллами клеток бобового растения-хозяина.

**Симбиотическая азотфиксация**, протекающая при участии клубеньковых бактерий, дает **от 60 до 300 кг азота на гектар**, или около 3 млн. т (в пересчете на посевные площади 1985 г.).

## 6.5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

### 6.5.1. Функционирование агроэкосистем в условиях техногенеза

В сфере производства средств жизни (решающего условия функционирования общества) роль природы, таким образом, несет двойственный и действенный характер. Отсюда – постоянная диалектическая противоречивость развития взаимодействий общества с природой, имеющих различные экологические и социально-экономические аспекты и принципиальное значение как в истории становления человечества, так и для его будущего.

При этом по мере роста производительных сил использование природно-ресурсного потенциала неуклонно расширяется, степень «участия» природной среды в системе общественного производства устойчиво возрастает, что обуславливает в итоге постоянное усиление разностороннего антропогенного воздействия на природные комплексы и их компоненты.

Прямым следствием такого воздействия является, несомненно, формирование и развитие процессов техногенеза. Согласно ГОСТу 17.5.01-78:

«Техногенез – процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Заключается в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрации и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений».

В результате промышленной, сельскохозяйственной и иной многоплановой деятельности человека возникает техногенная миграция значительных объемов разнообразнейших веществ, являющихся, как правило, загрязнителями окружающей природной среды. В сказанном нетрудно убедиться, обратившись, например, к материалам таблиц 6.5.1–6.5.3.

Таблица 6.5.1

Объем (млн. т) и структура отходов производства и потребления в мире в 1970 г.  
(по: Торчешников и др., 1981; с изменениями)

Категория отходов	Производство «классической» энергии	Промышленность	Сельское хозяйство	Коммунально-бытовой сектор	Всего
Главные газообразные загрязняющие вещества атмосферы	17326	47	1460	873	19706
Выброс твердых частиц в атмосферу	133	91	14	3	241
Твердые отходы	–	4000	–	1000	5000
Углеводороды	42	14	9	4	69
Органические отходы	–	–	4500	30	4530
Фекальные отходы	–	–	9400	180	9580
Итого	17501	4152	15383	2090	39126

Таблица 6.5.2

**Масса загрязнителей, создаваемых в процессе хозяйственной деятельности на душу населения и 1 км<sup>2</sup> территории (по: Лосев и др., 1993)**

	Загрязнители					
	атмосферные		сточные воды	водные	твердые отходы	
	всего	вредные			всего	вредные
На 1 человека, т/год	13	0,24	500	0,30	53	17,7
На 1 км <sup>2</sup> , т/год	66	1,60	4500	2,50	700	230,0

Таблица 6.5.3

**Количество некоторых опасных атмосферных и водных загрязнителей, произведенных на одного человека в России в 1989 г.<sup>1)</sup> (по: Лосев и др., 1993)**

Атмосфера		Вода			Атмосфера		
монооксид углерода	углеводороды	фториды	фенол	тяжелые металлы	свинец	ртуть	бенз(а)-пирен
60 кг	40 кг	90 г	30 г	14 г	23 г	170 мг	100 мг

<sup>1)</sup> Без учета транспортных выбросов; остаточных количеств пестицидов; диоксинов; особо токсичных отходов, производство которых в расчете на одного жителя России достигает примерно 130 кг.

Характерно, в частности, что согласно данным таблицы 6.5.1, на сельское хозяйство приходилось более 39% произведенных отходов. И даже при самых осторожных оценках темпов развития сельского хозяйства правомерно констатировать, что к настоящему времени эта величина в абсолютном выражении существенно возросла. Это важно иметь в виду при разработке природоохранных мероприятий, поскольку процессы техногенеза, как правило, объясняются энергетическими, промышленными и транспортными воздействиями. Тем более, что в силу структурной специфики сельскохозяйственных отходов и своеобразия последующих трансформационных процессов непосредственный контакт их и взаимодействие с природными компонентами (почва, вода и др.) происходит весьма активно.

Степень экологического неблагополучия, обусловленного хозяйственной деятельностью, носит отчетливо выраженный региональный характер. При этом в соответствии с материалами Международной конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (1991 г.) к экологически опасным отнесены следующие виды производств и объектов:

- Атомная промышленность (установки, предназначенные для производства обогащенного ядерного топлива, регенерации отработанного ядерного топлива или сбора, удаления и переработки радиоактивных отходов).
- Энергетика (атомные, гидравлические и тепловые электростанции, крупные установки для сжигания топлива).
- Черная и цветная металлургия (установки для доменного и мартеновского производств, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия).

- Нефтехимия, нефте- и газопереработка.
- Химическая промышленность (химические комбинаты, производство асбеста, стекла, минеральных удобрений, пестицидов и др.).
- Добыча полезных ископаемых (включая нефть и газ).
- Транспортировка нефти и газа, продуктов их переработки.
- Производство целлюлозы, бумаги, картона.
- Транспортировка, хранение, утилизация и захоронение токсичных и ядовитых отходов.
- Производство, хранение, транспортировка и уничтожение боеприпасов, взрывчатых веществ и ракетного топлива.
- Крупные склады для хранения нефтяных, нефтехимических, химических продуктов, ядохимикатов и пестицидов.
- Строительство дорог, автострад, трасс для железных дорог дальнего сообщения, аэропортов с длиной посадочной полосы более 2 км.
- Сельскохозяйственные объекты (животноводческие комплексы и птицефабрики, мелиоративные системы).
- Крупные водозаборы поверхностных и подземных вод.
- Крупные плотины и водохранилища.
- Вырубка лесов на больших площадях.
- Легкая промышленность (фабрики по очистке, отбеливанию шерсти, кожевенные заводы, красильные фабрики).

Кроме указанных стационарных источников возможных негативных воздействий на окружающую природную среду, несомненную экологическую опасность, особенно в больших городах, представляет **автотранспорт**, газовые выбросы которого, возрастая с каждым годом, составляют значительную долю поступающих загрязнений.

В соответствии с современными представлениями интегральным показателем последствий техногенеза является загрязнение окружающей природной среды.

В обиходе загрязнением в узком смысле считается привнесение в какую-либо среду новых, не характерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднемноголетнего уровня этих агентов в среде.

Рассмотренные трактовки понятия «загрязнение» позволяют вполне определенно утверждать, что по своей сути загрязнение является нежелательной потерей веществ, энергии, труда и средств, используемых при добыче и заготовке сырья и материалов, которые превращаются в безвозвратные отходы, рассеиваемые в биосфере; загрязнение становится причиной необратимого разрушения экологических систем, воздействует на глобальные физико-химические параметры среды; в результате загрязнения происходит потеря плодородных земель, падает продуктивность экологических систем и биосферы в целом; из-за загрязнения непосредственно или опосредованно ухудшается физическое и моральное состояние человека.



Какие виды загрязняющих факторов существуют?

Загрязняющие факторы по физико-химическим параметрам подразделяются на механические, физические (энергетические), химические и биологические. **Механические** источники загрязнения представлены инертными пылевыми частицами в атмосфере, твердыми частицами и разнообразными предметами в воде и почве. К **химическим** источникам загрязнения относятся газообразные, жидкие и твердые химические элементы и соединения, попадающие в атмосферу и взаимодействующие с компонентами окружающей природной среды. **Физическими** (энергетическими) источниками загрязнения являются тепло, шум, вибрации, ультразвук, видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые части спектра световой энергии, электромагнитные поля, ионизирующие излучения. **Биологические** загрязнения связаны с различными видами организмов, появившихся при участии человека и причиняющих вред ему самому или живой природе. Сравнительно недавно к загрязнениям начали относить нарушение природных ландшафтов и пейзажей, урбанизацию и т.п.

При этом важно учитывать основные виды загрязнений и их источники:

Вид загрязнений	Отрасль промышленности, для которой характерен указанный вид загрязнений
<b>Воздух</b>	
● Галогенсодержащие соединения	Химическая, холодильная
● Металлические частицы	Металлургическая, горнодобывающая
● Углеводороды	Тепловая энергетика, транспорт
● CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub>	Тепловая энергетика, транспорт
<b>Почва</b>	
▶ Активный ил	Городские станции биологической очистки
▶ Зола, шлак	Энергетическая, металлургическая
▶ Металлы	Металлургическая, химическая
▶ Мусор	Коммунально-бытовое хозяйство, городское хозяйство
▶ Пластмассы, органические вещества	Химическая
▶ Радионуклиды	АЭС, военная
▶ Целлюлоза и бумага	Целлюлозно-бумажная, коммунально-бытовое хозяйство
<b>Вода</b>	
■ Взвешенные частицы	Коммунально-бытовое хозяйство
■ Ионы тяжелых металлов	Горнодобывающая, машиностроительная
■ Красители, фенолы	Текстильная
■ Легкоусвояемые и биогенные вещества	Сельское хозяйство, городское хозяйство
■ Лигнины	Целлюлозно-бумажная
■ Минеральные соли	Химическая
■ Нефтепродукты	Нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая
■ Органические растворители	Химическая
■ Пестициды	Сельское хозяйство
■ Радиоактивные вещества	АЭС, военная
■ СПАВ	Городские стоки
■ Тепло	Энергетическая (АЭС, ТЭЦ, ГРЭС)

Для характеристики различных неблагоприятных воздействий применяют **«стресс-индексы»** категорий загрязнителей среды, которые по своему функциональному значению (смыслу) пропорциональны значениям **экологического риска**, являющегося мерой экологической опасности. Они позволяют получить относительную характеристику опасности загрязнений.

<b>Загрязнители среды</b>	<b>Стресс-индексы</b>
→ Пестициды	140
→ Тяжелые металлы	135
→ Транспортируемые отходы АЭС	120
→ Твердые токсичные отходы	120
→ Взвешенные металлы в металлургии	90
→ Неочищенные сточные воды	85
→ Двуокись серы	72
→ Разливы нефти	72
→ Химические удобрения	63
→ Органические бытовые отходы	48
→ Окислы азота	42
→ Хранилища радиоактивных отходов	40
→ Городской мусор	40
→ Фотохимические оксиданты	18
→ Летучие углеводороды в воздухе	18
→ Городские шумы	15
→ Окись углерода	12

Агроэкологические системы, ставшие неотъемлемой составной частью современной биотехносферы, испытывают, как и естественные ценозы, постоянные техногенные воздействия, будучи подвержены в той или иной степени влиянию различных загрязнений локального, регионального и глобального характера. Как уже отмечалось выше, загрязнения представляют собой систему помех, нарушающих процессы массо- и энергообмена. В агроэкологических системах это проявляется в изменении количественных и качественных характеристик составляющих их природных компонентов, снижении устойчивости и падении продуктивности возделываемых культур. То есть усложняется (и подчас довольно существенно) достижение целевой функции – стабильное производство сельскохозяйственной продукции.



Какие негативные последствия возникают в агроэкосистемах при их загрязнении?

Если обратиться к агроэкосистемам, то можно отметить следующее: последствия техногенеза отрицательно сказываются на состоянии почв, что своеобразно иллюстрируют, например, материалы таблицы 6.5.4.

Таблица 6.5.4

**Количество дождевых червей в пахотном слое почвы, рассчитанное на 100 л (среднее значение из каждых 8 измерений, 1967–1968) (по: Луке, 1981)**

Удаление от источника выброса (м) и направление	250	600	750	950	1150	1400	1500	400
	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	W
Дождевые черви (штук на 100 л пахотного слоя почвы)	0	0,5	5	7,5	9	16	33	63

*Примечание.* В почве этого ареала содержится 200–2000 частей на тысячу (мг/кг) As, 100–200 частей на тысячу Pb и до 1000 частей на тысячу Zn. Е – восток; W – запад.

Согласно материалам таблицы, количество дождевых червей, принятое в качестве интегральной характеристики почвенного благополучия, заметно меняется в зависимости от расстояния до источника выброса и направления переноса загрязнений. На расстоянии до 600 м в пахотных слоях черви практически полностью отсутствуют. И на протяжении 1500 м их численность значительно снижена. Это свидетельствует об «омертвлении» почвы.

В результате действия загрязнений наблюдается падение продуктивности агроэкосистем (табл. 6.5.5).

Следуя по цепи питания, уместно отметить, что при скармливании на протяжении двух лет (в общей сложности 37 недель) лактирующим коровам загрязненных кормов удои их по сравнению с животными, получавшими только промытые корма, были в среднем на 19,8% ниже. При использовании загрязненных кормов наблюдалось снижение прироста веса у крупного рогатого скота на 19,4–37,5% (Г.Рюле и др., 1981).

Таблица 6.5.5

**Снижение урожайности сельскохозяйственных культур (%) в зависимости от расстояния до источника вредных выбросов в атмосферу, (по: Балацкий, 1979)**

Культура	Расстояние, км	
	2–3	5
Пшеница	18,7	9,4
Рожь	15,2	7,6
Ячмень	24,4	12,2
Овес	31,1	15,5
Кукуруза	25,0	12,5
Картофель	35–47	18–24
Свекла	25–62	13–31
Лен	62,6	31,3
Клевер	33,1	16,6
Люцерна	37,8	18,9



## 6.5.2. Экологические проблемы химизации

Рассматривая экологические аспекты применения удобрений и химических средств защиты растений в сельском хозяйстве, следует отметить, что с одной стороны, за последние двадцать лет им посвящено немало отечественных и зарубежных работ, в которых аргументированно и взвешенно, а также достаточно конструктивно обсуждается обширный спектр вопросов обеспечения природосообразности в процессах химизации. Как тут не вспомнить Д.Н.Прянишникова, который еще в далеком 1937 г. заметил, что авторы, думающие, что они знают секрет получения высоких урожаев без применения удобрений (и без знания агрохимии), напрасно называют себя учеными-материалистами. Не обошлось, разумеется, и без суждений, в которых подходы к ведению земледелия определяются лозунгом "химия или жизнь!"

В.Г.Минеев (1998), подчеркивая безальтернативность разумного использования всех видов удобрений и химических мелиорантов, определяет следующие функциональные задачи, подлежащие решению:

- "оптимизация питания культурных растений биогенными макро- и микроэлементами с учетом усиления деятельности физиологических барьеров, препятствующих поступлению токсических элементов в растения, особенно в генеративную их часть, составляющую продукцию растениеводства;
- воспроизводство плодородия, улучшение свойств и гумусного состояния почв;
- поддержание активного баланса и малого круговорота биогенных элементов в земледелии с учетом оптимального их соотношения в агроэкосистеме;
- создание оптимальных культурных агрогеохимических ландшафтов для различных природных регионов в соответствии с их специализацией;
- снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем ТМ и другими токсическими элементами;
- улучшение радиозэкологической ситуации в агроэкосистеме;
- регулирование биологических показателей агроэкосистемы;
- улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции".

Вполне очевидна как агрохимическая, так и экологическая заданность приведенных задач, формирующих системный каркас оптимальной и в хозяйственном, и в природоохранном отношении химизации земледелия.

Признавая исключительно важную роль агрономической химии в увеличении продуктов питания для человека и кормов для животных, улучшении качества продукции, а в целом и в повышении эффективности сельскохозяйственного производства, нельзя не отметить, что **эти же химические средства при неправильном их использовании могут оказывать и оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду**. Именно неграмотное использование средств химизации, нарушение существующих регламентов служат источником наблюдающихся отрицательных последствий.

Основными причинами загрязнения окружающей среды удобрениями считаются:

- несовершенство организационных форм и технологий транспортировки, хранения, тукосмешения, внесения удобрений;
- нарушение агрономической технологии внесения удобрений в севообороте и под отдельные культуры;
- несовершенство самих удобрений, их химических, физических и механических свойств.

Д.Н.Дурманов и Л.Л.Шишов (1988) обращают, в частности, внимание на настоятельную необходимость качественного развития химизации и совершенствования диагностики структуры питания возделываемых растений, что позволяет исключить или хотя бы минимизировать вероятность возникновения экологических конфликтов. Основным показателем следует считать прибавку урожая или повышение содержания того или иного элемента в почве, а не количество удобрений, внесенных на гектар поля. Это требование объективно диктует "закон предельной урожайности" (по: Рамад, 1981), в соответствии с которым повышение урожайности имеет тенденция к замедлению, по мере того как растет количество вносимого удобрения.

Неблагоприятное влияние удобрений на окружающую природную среду, те или иные компоненты агроценозов может быть самое различное: загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод; усиление эвтрофикации водоемов; уплотнение почв; ухудшение круговорота и баланса питательных веществ, агрохимических свойств и плодородия почвы; ухудшение фитосанитарного состояния посевов и развитие заболеваний растений; снижение продуктивности сельскохозяйственных культур и качества получаемой продукции и т.д.

Применение в избыточных количествах минеральных удобрений вследствие физиологической кислотности отдельных их видов обуславливает развитие процессов подкисления почв. Об этом, в частности, косвенно можно судить по дозам известки, используемой в качестве нейтрализатора ( $\text{CaCO}_3$ , ц на 1 ц удобрений):

• аммиак жидкий	1,47
• хлористый аммоний	1,39
• сульфат аммония	1,13
• сульфат аммония натрия	0,90
• мочевины (карбамид)	0,83
• аммиачная селитра	0,74
• аммофос	0,65
• аммиак водный	0,36
• суперфосфат	0,10

Это приводит к снижению сумм поглощенных оснований, усилению минерализационных процессов, нарушению соотношения подвижных форм макро- и микроэлементов в почве и элементного состава растений. Так, применение высоких доз азотных удобрений под капусту нарушает обмен и поступление серы в растения, что отрицательно сказывается на качестве урожая. В результате подкисления почвенного раствора фосфаты в почве закрепляются, что ухудшает фосфорное питание растений; при этом высвобождаются ионы алюминия, которые являются токсичными для почвенной биоты и растений.

Избыток минеральных удобрений вызывает нарушения в биологическом компоненте почвы, из-за чего процессы трансформации органического вещества ухудшаются. В структуре микробного ценоза увеличивается доля микроскопических грибов, среди которых много патогена. Это грозит опасностью образования микотоксинов в почве и продуктах питания и т.д.

Азотные удобрения относятся к наиболее энергозатратным среди минеральных туков. Так, в США энергозатраты на производство и использование азотных удобрений составляют около 35% от общего объема энергопотребления в сельском хозяйстве, а в странах Западной Европы они достигают 42%.

Азотные минеральные удобрения выпускаются и применяются в твердом и жидком видах. По форме азота твердые азотные удобрения подразделяются на:

- аммонийные ( $\text{NH}_4$ ): сульфат аммония, хлорид аммония;
- аммонийно-нитратные ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ): аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония;
- нитратные ( $\text{NO}_3$ ): нитрат натрия (натриевая селитра), нитрат кальция (кальциевая селитра);
- амидные ( $\text{NH}_2$ ): карбамид (мочевина), цианамид кальция. Из жидких азотных удобрений достаточно широкое применение находят аммиачные ( $\text{NH}_3$ ). Весь азот содержится в виде аммиака: водного или безводного.



*В результате каких процессов образуются нитраты в почве?*

Важным источником накопления нитратов в почве, как известно, является **нитрификация**. Под воздействием микроорганизмов – нитрификаторов, присутствующих в любой почве, происходит минерализация органического вещества (гумуса) и внесенных органических удобрений (навоза, торфа, перегноя), в результате образуются нитраты. Еще один источник – азотные удобрения. Аммонийный и амидный азот в почве под воздействием тех же нитрифицирующих микроорганизмов постепенно переходит в азот нитратный. При условиях, благоприятствующих нитрификации, весь азот в течение двух-трех дней может полностью превратиться в нитратный. Поэтому при внесении высоких доз азотных удобрений, даже не содержащих нитратного азота, в почве тем не менее может накапливаться большое количество нитратов.

Нитратный азот в почве очень подвижен и при обильных поливах или в дождливую погоду легко вымывается за пределы корнеобитаемого слоя, особенно на легких почвах.

Наряду с аммонийным азотом нитраты являются основными источниками азотного питания растений, **накопление нитратов – это естественное физиологическое явление**.

В последние годы между тем отчетливо прослеживается тенденция увеличения производства сельскохозяйственной продукции (особенно овощной) с повышенным содержанием нитратов. Сам факт наличия нитратов в сельскохозяйственной продукции не вызывает опасения, поскольку они представляют одну из форм существования азота – естественного составного элемента биосферы, существовавшего до появления человека. Другое дело – в каких количествах присутствуют эти соединения.

Накопление нитратов в растениях происходит в результате обменных процессов. Вследствие этого поглощенный азот не полностью используется при синтезе аминокислот, а затем и белков (то есть не все поглощенные нитраты восстанавливаются до аммиака). В нарушении физиологичности этого процесса значительная роль отводится ферментам азотного обмена – нитрат- и нитритредуктазе, а также углеводному питанию растений.

Причиной нарушения процессов ассимиляции нитратов в растении могут **служить до 30 факторов**, среди которых:

- ▶ сроки, формы и дозы внесения удобрений;
- ▶ метеорологические условия;
- ▶ сортовые различия;
- ▶ сроки посадки и густота посевов;
- ▶ качество известкования;
- ▶ количество и соотношение питательных веществ.

Например, в шпинате, выращенном при освещенности 5–6 тыс. лк, содержалось на 60–80% нитратов больше, чем при освещенности 6–7 тыс. лк. При увеличении загущенности посевов моркови с 491 до 923 растений на 1 м<sup>2</sup> содержание нитратов возросло на 43%. Недостаток магния и серы в растении, молибдена и марганца в почве также может способствовать накоплению нитратов. Повышенное накопление нитратов отмечается при снижении температуры воздуха, вследствие которого ослабевает активность фермента нитратредуктазы.



Какие негативные экологические последствия могут возникать при применении азотных удобрений?

Как уже отмечалось, избыточное накопление нитратов в растениях обусловлено комплексом факторов. При этом особого внимания требуют вносимые дозы удобрений. Убедительным подтверждением сказанному может служить овощеводство. В этой отрасли применяется существенно больше минеральных удобрений, чем при возделывании других культур. Так, по наблюдениям Д.Н.Дурманова и Ф.И.Козловского (1989), в целях увеличения урожайности без учета возможного качества продукции на пойменных почвах три года подряд на каждый гектар вносили 300 кг и более азотных удобрений вместо положенных 120 кг. Между тем овощи являются основными источниками поступления нитратов в организм человека (с овощами их поступает до 80%), что, разумеется, нельзя не учитывать.

Иллюстрацией зависимости содержания нитратов в овощной продукции от применяемых доз азотных удобрений могут служить следующие данные (по: Пругар, Пругарова, 1990):

Дозы азотных удобрений, кг/га	Среднее содержание за три года, мг/кг	
	шпинат	кресс-салат
0	952	993
80	1338	1322
160	2160	1642

Судя по приведенным количественным характеристикам каждый килограмм азотных удобрений способствует накоплению в шпинате в среднем 7,83 мг нитратов, в кресс-салате – 4,02 мг.

Увеличение доз азота не только повышает содержание нитратов, но и одновременно стимулирует уменьшение в производственной продукции витамина С, сахаров и других веществ, что снижает ее биологическую ценность. Увеличение массы вносимых азотных удобрений примерно на 13% повышает содержание нитратов на 1%. Значи-

тельную роль в накоплении нитратов в овощах играют также формы применяемых удобрений, сроки уборки урожая и т.д.

Азотные удобрения загрязняют природные воды. Вынос азота в водные объекты определяется как природными факторами (климат и погода, гидрология, рельеф), так и антропогенными (степень сельскохозяйственного использования территории, применяемые системы земледелия, нормы удобрений и т.д.). Так, из-за технологических нарушений в процессе хранения, подготовки и применения азотных удобрений потери их составляют от 3 до 20% (а возможно, и больше). Эти "потери" в итоге попадают в водные объекты, вызывая те или иные негативные проявления. Процесс вымывания нитратов из почвы ускоряют распашка лугов, увеличение доли зерновых и кукурузы в севообороте, полный или частичный отказ от выращивания промежуточных культур. В районах интенсивного производства овощей, плодово-ягодных культур и винограда наблюдается загрязнение нитратами грунтовых вод.

Ввиду опасности нитратного загрязнения питьевой воды ВОЗ установил для нее ПДК по нитратам: умеренные широты – **22 мг/л**; тропики – **10 мг/л**.  
(В России соответствующее значение ПДК нитратов принято **10 мг/л**, то же в Польше и США, в ФРГ – **20 мг/л**).

Для сведения к минимуму непроизводительных потерь азота, предотвращения и снижения загрязнения нитратами растениеводческой продукции, водоемов и т.д. **необходимо четко соблюдать существующие регламенты по транспортировке, хранению и применению минеральных и органических удобрений.**

Внесению удобрений должно предшествовать известкование почв, которое снижает почвенную кислотность и усиливает процесс восстановления нитратов. Сроки проведения подкормок также играют важную роль в накоплении нитратов. Не рекомендуется применять подкормки в период массового созревания корнеплодов и кочанов.

Исключительно важным приемом снижения (предотвращения) нитратного загрязнения сельскохозяйственной продукции является внесение достаточного количества полноценного органического удобрения (навоз, компосты, сидераты). Как свидетельствует опыт ряда стран, **органические удобрения целесообразно вносить в соотношении с минеральными 4:1**. Например, в Голландии применение высоких доз минеральных удобрений порядка 300 кг/га пахотных земель на фоне 40 т/га органических удобрений не приводит к нитратному загрязнению. Навоз должен быть предварительно прокомпостирован с соломой или торфом. Его лучше вносить в почву с осени.

**Фосфорные удобрения**, используемые в сельском хозяйстве, представлены в основном наиболее легко усваиваемыми растениями водорастворимыми видами: суперфосфат, двойной суперфосфат, а также сложные удобрения – аммофос, диаммонийфосфат, нитроаммофоска, карбоаммофоска.



Какие негативные экологические последствия могут возникнуть при применении фосфорных удобрений?

Для обеспечения условий получения полноценного урожая необходимо наличие в почве достаточного количества доступного фосфора. Между тем примерно треть посевной площади России характеризуется низким и очень низким содержанием этого элемента. Особое значение эта проблема имеет для Нечерноземной зоны, где преиму-

щественно распространены дерново-подзолистые почвы, отличающиеся низким природным плодородием. И если дефицит азота может быть компенсирован внесением органических удобрений или фиксацией атмосферного азота, то вносимый фосфор в основном имеет минеральную природу. Обеспечение высокой потребности в фосфорных удобрениях – объективная необходимость. При этом, однако, нельзя упускать из вида ряд природоохранных аспектов проблемы фосфорного питания.

С фосфорными удобрениями в почву попадают многие токсичные элементы, мало-подвижные в почвенной среде. Довольно высоким содержанием загрязняющих веществ отличается, например, суперфосфат (по: Barrows, 1966):

Примесь	Содержание, мг/кг
• As .....	2,2–1,2
• Se .....	0,0–4,5
• Co .....	0–9
• Ni .....	7–32
• Cu .....	4–79
• Pb .....	7–92
• W .....	20–180
• Cd .....	50–170
• Cr .....	66–243
• Zn .....	50–1430

Кроме того, в фосфорных удобрениях содержатся **токсичные соединения фтора**. Большая часть фосфора, используемого как удобрение, остается в почве, так как связывается с содержащимися в ней Ca, Al, Fe. Проведившиеся исследования свидетельствуют о наличии в природных фосфатах радиоактивных элементов **урана, радия**. Согласно имеющимся оценкам, на 1 т  $P_2O_5$  в некоторых фосфорных рудах приходится 30–40 кг **стронция-90**.

При существующих кислотных способах переработки природного фосфатного сырья основная часть фтора (2–3 млн. т), а также весь стронций остаются в удобрениях и вносятся в почву. Длительное внесение суперфосфата, который обычно содержит 1,5% F, приводит к быстрому накоплению этого элемента в почве в форме, доступной растениям. На Раменской опытной станции отмечалось почти двукратное увеличение содержания фтора по сравнению с контролем. Физиологическая роль фтора в растениях изучена еще слабо. Он оказывает ингибирующее действие на ряд ферментов и отрицательно влияет на процесс фотосинтеза, а также на биосинтез белка.

По данным М.С.Коплан-Дикса и др. (1985), фосфор, используемый в земледелии Нечерноземной зоны, накапливался в **водных объектах** в количестве 665 тыс. т  $P_2O_5$  от внесенного. В водные объекты фосфор поступает тремя путями: во-первых, в результате потерь при транспортировке и хранении удобрений (34% всех поступлений); во-вторых, из-за смыва сельскохозяйственных земель в растворенном виде, а также с продуктами эрозии почв (21% всех поступлений); в-третьих, вследствие "выпадения" фосфора из аграрного круговорота, обусловленного почти полным отсутствием утили-

зации органических веществ в коммунальном хозяйстве и снижением до 50%-ного уровня утилизации органических веществ в животноводстве – 45% всех поступлений.

Увеличение содержания  $P_2O_5$  в природных водах привело к эвтрофированию водных объектов: биомасса водорослей в ряде озер и водохранилищ теперь уже превосходит валовую сельскохозяйственную продукцию в тех же регионах.

Установлено, что на 1 кг поступившего в водоемы фосфора образуется 100 кг фитопланктона, а "цветение" воды за счет водорослей возникает при концентрации фосфора в воде выше 0,01 мг/л, достигая оптимума при содержании его в количестве 0,9–3,5 мг/л (В.Г.Минеев, 1990).

"Цветение" воды, ухудшая условия непосредственного водопотребления, дает и косвенный эффект, поскольку при массовом развитии водорослей увеличивается рН воды и растет содержание органического вещества в растворимой форме. С этим явлением связывают, в частности, вспышки заболевания холерой Эль-Тор 1970–1971 гг., охватившего 35 стран. Человек, как правило, избегает пользоваться водой "цветущих" водоемов, поскольку она существенно отличается по вкусу и запаху. Тем не менее использование в пищу рыбы, накапливающей токсины в своих тканях, приводило к серьезным заболеваниям. Животные же часто вынуждены пользоваться такой водой. Из-за этого отмечались случаи массовой гибели крупного рогатого скота и других сельскохозяйственных животных в различных регионах мира.

Эвтрофированные водоемы удорожают очистку воды: в 1985 г. ущерб от перерасхода коагулянта в системах водоочистки только по днепровским водохранилищам составлял, например, около 650 тыс. долларов, а ущерб рекреации от "цветения" воды в этих водохранилищах – примерно 3 млн. 900 тыс. долларов в расчете на год. При сохранении принятой в системе АПК транзитной системы использования ресурсов фосфора и увеличения производства фосфорных удобрений доля водных объектов, непригодных для практических нужд, может возрасти в 3–4 раза. В настоящее время доля таких водоемов составляет 8% (М.С.Коплан-Дикс, 1985).

Учитывая различия в длительности естественного возобновления вод в природе – 300 лет в подземных водах, 3,5 года в проточных озерах, 0,5 месяца в речных водах, а также возможность поступления различных примесей, содержащихся в фосфорных удобрениях, в пищевую цепь, необходимо строго соблюдать апробированные рекомендации по внесению фосфорных удобрений и учитывать:

- сырьевые материалы, используемые в качестве удобрений;
- предельно допустимые уровни загрязнения почв тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсичными элементами (соединениями), присутствующими в удобрениях;
- необходимые операции по внесению фосфорных удобрений в почву (сроки проведения работ; место расположения удобряемых площадей; наличие условий проведения соответствующих работ), а также соблюдать экологические ограничения при фосфоритовании почвы (табл. 6.5.1).

Альтернативой является переход от транзитной к циклической системе использования питательных веществ и применение фосфорсберегающих технологий.

Таблица 6.5.1

## Экологические ограничения при фосфоритовании почв

Экологические ограничения	Способ контроля, источник информации
1. Запрещены все способы внесения фосфорных удобрений в почву на территории первого пояса санитарной охраны источников хозяйственного водоснабжения	Визуальный контроль, анализ картографических материалов и проектно-сметной документации
2. Не допускается внесение фосфорных удобрений во втором поясе зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в период непосредственной угрозы паводка	Визуальный контроль, анализ картографических материалов и информации Гидрометеослужбы
3. Соблюдение предельно допустимых концентраций химических веществ в почве после проведения фосфоритования	Лабораторный контроль, отбор проб почвы по ГОСТ 17.4.3.01, определение элементов по САН ПИН 41-128-4433-87



Могут ли калийные удобрения быть источником отрицательного воздействия на окружающую среду?

Наиболее распространенными **калийными удобрениями** являются хлорид калия, сульфат калия, калийная соль и другие. Эти удобрения также могут служить источником отрицательного воздействия на окружающую природную среду. Например, при переработке сильвинита образуются галитовые отвалы, глинисто-солевые шлаки, а также пылегазовые выбросы. Солеотвалы занимают значительные площади и являются источником засоления почв и подземных вод. Под действием атмосферных осадков образуются рассолы с содержанием солей до 300 г/л, которые попадают в подземные воды, откуда в процессе испарения поступают в поверхностные слои почвы.

Серьезное загрязнение вызывает продукт обогащения сильвинитовых руд – **глинисто-солевые шламы**. Их обычно хоронят на глубине 20–40 м и окружают дамбами. В местах расположения таких "хранилищ" происходит заболачивание и засоление почв.

Калийные удобрения содержат и так называемые **балластные элементы** (Cl, Na), которые могут накапливаться в почве при систематическом применении повышенных доз удобрений, снижая ее плодородие. Эти элементы попадают в грунтовые воды, повышая в них концентрацию солей. Так, по данным В.Г.Минаева (1990), в грунтовых водах поймы р. Оки концентрация Cl составляла 100 мг/л, Na – 15 мг/л, что превышает содержание этих элементов в почве и грунтовых водах Среднерусской возвышенности в среднем течении Оки по Cl в 10 раз, по Na – в 3 раза.

Увеличение содержания Cl в удобрениях в 4–5 раз (дерново-подзолистые почвы) повышает концентрацию его в соломе зерновых и сене клевера на 50–70%, в клубнях картофеля и сене вико-овсяной смеси – на 50–100%. В пахотном слое почвы содержание Cl при этом возрастало на 60–290% в зависимости от вида культуры, условий увлажнения и других факторов. Немалую опасность вызывают содержащиеся в калийных удобрениях металлы (Cd, Hg, Pb, Al), которые могут накапливаться в живых организмах, проникать в грунтовые воды и т.д. (табл. 6.5.2).

При несбалансированном (по макроэлементам) питании наблюдается накопление отдельных элементов в растениях и сдвиг минерального состава в нежелательную сторону, из-за чего соотношение K:Na может превысить предельные нормы для расти-



Таблица 6.5.2

Содержание вредных примесей в калийных удобрениях (мг/кг) (по: Кузина и др., 1982)

Удобрения	Pb	Cd	Al	Hg	Cr
KCl	6,5	0,2–0,3	1,3–7,7	–	–
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12,0	1,00	0,2	0,075	0,250
Сырая калийная соль	4,0	0,09	2,6	–	–
40%-ная калийная соль	4,5	0,16	4,1	–	–

тельных кормов (*оптимальное соотношение K:Na=5*). Потребность животных в калии удовлетворяется при содержании его в траве 0,03–0,10% (на сухое вещество). **Содержание K<sub>2</sub>O в корме не должно превышать 2,5–3,0%** (по: Минеев, 1990). Избыток K в пастбищной траве обостряет дефицит Na. Для поддержания здоровья скота концентрация Na в сухом веществе должна составлять не менее 0,25%.

В последнее время большое внимание уделяется содержанию Mg в травах. **При снижении его уровня до 0,13–0,15% от сухого вещества животные заболевают гипомagneзией (травяная титания)**. Для обеспечения животных достаточно 12–15 мг Mg на 1 кг их массы, если элемент поступает из корма. Возрастает заболеваемость гипомagneзией и при нарушении соотношения макроэлементов в корме. Это имеет место, если:

$$\frac{K}{Ca + Mg} > 2,2 - 2,4 \text{ и } \frac{K}{Na} > 6.$$

При отношении  $\frac{K}{Ca + Mg} > 1,4$  случаев заболевания не отмечалось.

Вымывание калия зависит от типа водного режима, гранулометрического состава почв, их гумусированности, его запасов.

На величину потерь питательных элементов влияют:

- наличие растительного покрова;
- соблюдение агротехнических правил;
- нормы полива;
- кислотность почвы;
- рельеф местности.

На дерново-подзолистых почвах Белоруссии, занятых паром, потери калия составили 4–6% от внесенных удобрений, на супесчаных – 6–8%. На красноземах и подзолистых почвах Грузии при орошении потери достигали 13–17%, а в дождливые годы (2820 мм осадков) – до 25%. В Подмосковье на дерново-подзолистых почвах в годы с глубоким промерзанием почвы при небольшом уклоне местности при снеготаянии талые воды смывали до 40–70% внесенного K (при позднеосеннем, зимнем и ранневесеннем внесении азотно-фосфорно-калийных удобрений). **Грунтовые воды пойм крупных рек, на землях которых развито овощеводство, являются одним из основных источников загрязнения речных вод Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>.**

Для предотвращения больших потерь К и загрязнения поверхностных и грунтовых вод калийные удобрения следует вносить под основную обработку почвы.

Снижение потерь питательных элементов из минеральных удобрений вследствие вымывания можно достигнуть как агротехническими, так и химическими способами. Среди последних представляет интерес применение **медленно действующих удобрений**, питательные элементы которых усваивались бы растениями постепенно в течение вегетационного периода. Достигается это с помощью капсулирования, покрытия синтетической пленкой (смолы, парафины, полиэтилен и др.) или элементарной серой. Эксперименты, проведенные в бывшей Чехословакии, показали увеличение коэффициента использования калия кукурузой с 30 до 50% в результате покрытия удобрений полиэтиленовой оболочкой. Опыты в США по применению капсулированных удобрений (винилацетатная оболочка) обеспечили снижение потерь калия с 86 до 30%, а при покрытии туков парафином – до 5,4%. Вместе с тем однозначных решений и рекомендаций в вопросах капсулирования пока нет.



Чем опасно подкисление почвенного раствора и что происходит при известковании почв?

Согласно данным Минсельхозпрода, на начало 1995 г. в Российской Федерации 20 млн. 360 тыс. га сельскохозяйственных угодий занимали земли, характеризующиеся повышенной кислотностью.

Экономический район	Повышенная кислотность почвы (рН ниже 5,0)	
	тыс. га	%
Северный	602,5	33,2
Северо-Западный	558,9	47,1
Центральный	4276,9	46,6
Волго-Вятский	3118,8	33,6
Центрально-Черноземный	1864,5	15,9
Поволжский	2264,8	8,5
Северо-Кавказский	278,0	1,6
Уральский	2781,2	11,2
Западно-Сибирский	2223,2	8,9
Восточно-Сибирский	661,9	5,4
Дальневосточный	1729,8	49,6

Активизация кислотных процессов в атмосфере, гидросфере и на суше обусловлена в первую очередь антропогенными причинами – техногенными выбросами сернистых и азотных соединений.

Как свидетельствуют расчеты Ю.А.Израэля (1984), только за счет влияния кислотных осадков, переносимых через западную границу СССР, сельскому хозяйству в севе-

ро-западной части страны причиняется ущерб в размере до 100 млн. руб. (ежегодно). (Для раскисления почв здесь необходимо вносить до 3,5 млн. т извести ежегодно. Условно говоря, 35 кг на каждую единицу ущерба.)

#### **На кислых почвах:**

- ▶ снижается на 30–40% эффективность минеральных удобрений;
- ▶ увеличиваются непроизводительные потери азота;
- ▶ нарушается поступление элементов питания в растения;
- ▶ интенсивно накапливаются в продукции тяжелые металлы и радионуклиды;
- ▶ ухудшается качество продукции;
- ▶ снижается устойчивость агроэкосистем к неблагоприятным погодным факторам;
- ▶ ежегодные потери урожаев в пересчете на зерно составляют 10–12 млн. т.

Известкование, основанное на замене ППК ионов водорода и алюминия ионами Са и Mg, является главным средством коренного улучшения кислых почв, которые по степени кислотности и потребности в мелиоранте распределяются следующим образом:

#### **pH в KCl-вытяжке    Степень кислотности    Потребность в известковании**

• <4,5	очень сильнокислая и сильнокислая	очень высокая и высокая
• 4,6–5,0	среднекислая	средняя;
• 5,1–5,5	слабокислая	низкая;
• 5,6–6,0	близкая к нейтральной	очень низкая;
• >6,0	нейтральная	отсутствует.

Большинство сельскохозяйственных культур лучше развивается при pH почвы 6,0–6,5.

По отношению к кислотности почв и отзывчивости на известкование культуры можно разделить на пять групп:

#### ■ **Первая группа**

Горчица, клевер, люцерна, сахарная и кормовая свекла. Эти культуры требуют нейтральной или слабощелочной реакции почвенной среды (pH KCl 6,2–7,2) и очень хорошо отзываются на известкование.

#### ■ **Вторая группа**

Бобы, горох, кабачки, кукуруза, подсолнечник, просо, пшеница, соя, томат, ячмень. Нуждаются в близкой к нейтральной реакции почвенной среды (pH KCl 5,7–6,2), хорошо развиваются и дают высокие урожаи при pH KCl до 7,0.

#### ■ **Третья группа**

Гречиха, картофель, малина, морковь, овес, огурец, редька, рожь. Дают высокие урожаи на слабокислых почвах (pH KCl 5,3–5,7), хорошо отзываются на известкование, не снижают урожая при pH KCl до 6,0.

#### ■ Четвертая группа

Лен. Легко переносит умеренную кислотность. Оптимум рН КСl 5,2–5,7. Положительно отзывается на известкование до рН КСl 5,9–6,0 при условии оптимального соотношения в почве кальция и магния, обязательного применения бора и ограниченного – азотных удобрений.

#### ■ Пятая группа

Люпин, сераделла. К кислотности почвы малочувствительны, хорошие урожаи дают при рН КСl 4,8–5,2. Известкование обеспечивает заметные прибавки урожая на сильнокислых почвах.

При известковании активизируется жизнедеятельность полезной микрофлоры и улучшается минеральное питание растений в результате более активной трансформации органических соединений, меняются к лучшему физические свойства почвы, возрастает эффективность использования минеральных и органических удобрений. Все это, разумеется, способствует снижению вероятности возможных негативных воздействий на окружающую природную среду. Существенной стороной известкования является уменьшение подвижности токсичных тяжелых металлов.

**Каждая тонна извести за 5 лет действия дает прибавку сельскохозяйственной продукции примерно в 5–6 ц/га (в пересчете на зерно).** Продолжительность последствий известкования зависит от дозы мелиоранта. При внесении, например, 3–4 т извести на га действие ее может продолжаться 5–7 лет, а при внесении 6–8 т – 10–15 лет и более.

В качестве мелиоративных материалов в настоящее время наряду с известью широко используют **отходы промышленности**. Среди них металлургические шлаки, угольная зола, отходный (химический) мел, фосфатные шлаки, феррохромовые шлаки, сланцевая зола, дефека́т (отход сахарного производства).

Ввиду опасности загрязнения окружающей природной среды различными токсикантами, содержащимися в используемых материалах, необходимо учитывать экологические ограничения, установленные государственными стандартами, санитарными нормами и правилами, иными регламентирующими документами (табл. 6.5.3).

По содержанию тяжелых металлов и других токсикантов используемые в качестве мелиорантов материалы подразделяются на 4 группы, отличающиеся по дозам, срокам и кратности использования:

Группа  
материалов

Экологические ограничения на использование  
известковых материалов

- |       |  |
|-------|--|
| → I   | Известковые материалы, применение которых разрешено без ограничений (известковая мука, мел, дефека́т)  |
| → II  | Известковые материалы, применение которых разрешено в дозах не более 7 т/га раз в 5 лет (феррохромовые шлаки, отходный мел, угольная зола)   |
| → III | Известковые материалы, применение которых разрешено раз в 10 лет в дозах не более 7 т/га с обязательным контролем изменения фонового содержания потенциально опасных элементов в почве |
| → IV  | Запрещено применение при известковании кормовых угодий   |

Таблица 6.5.3

## Экологические ограничения при известковании кислых почв

№ п/п	Экологические ограничения	Способ контроля; источник информации
1.	Не допускается внесение известковых материалов в почву непосредственно после внесения хлорорганических пестицидов: интервал должен составлять не менее 72 ч	Журнал агрохимических работ; журнал учета работ по защите растений
2.	Запрещены все способы внесения известковых материалов в почву на территорию первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения	Картографические материалы; проектно-сметная документация
3.	Не допускается внесение известковых материалов во втором поясе зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в период непосредственной угрозы паводка	Информация Гидрометеослужбы; картографические материалы
4.	При использовании для известкования дефеката количество жизнеспособных семян сорных растений не должно превышать установленный предельный уровень	Анализ в ПИЦАС по методике НТД – на дефекат
5.	Не допускается внесение в почву известковых материалов – отходов промышленности, содержащих тяжелые радионуклиды и другие токсичные элементы (соединения) выше допустимого уровня. (Перечень и классификация химических веществ антропогенного происхождения по степени опасности для контроля загрязнения и прогноза состояния почв установлены ГОСТ 17.4.1.02)	Санитарные нормы САН-ПиН 42–128–4433–87; НТД на известковые металлы, материалы; паспорт поля
6.	Соблюдение предельно допустимых концентраций химических веществ в почве	Отбор проб почвы по ГОСТ 17.4.3.01; определение элементов по САН-ПиН 42–120–4433–87

При известковании почв обязательному учету подлежит ПДК тяжелых металлов и других токсичных элементов (соединений) в почве, фоновое содержание этих элементов, класс их опасности согласно ГОСТ 17.4.1.02, ориентировочное содержание нежелательных примесей в известковых материалах.

Уровни содержания тяжелых металлов в почве и известковых материалах приведены в табл. 6.5.4.



*Какие негативные экологические последствия могут возникнуть при использовании средств защиты растений?*

Уже более столетия химические средства защиты растений играют важную роль в борьбе с возбудителями болезней, вредителями и сорной растительностью, получив наибольшее распространение после Второй мировой войны. Необходимость такой борьбы достаточно очевидна, если учесть, что в современном мировом земледелии потенциальные потери урожая составляют от 23,9 до 46,4% (табл. 6.5.5).

Таблица 6.5.4

## Уровни содержания тяжелых металлов в почве и известковых материалах

Элемент	Класс опасности	ПДК в почве, мг/кг	Фоновое содержание в почве, мг/кг (валовые формы)	Ориентировочное содержание в материале, мг/кг
Кадмий	1	3,0	0,05–0,24	1–5
Мышьяк	1	2,0		
Ртуть	1	2,1	0,0–1,0	
Свинец	1	30,0	10–16	3–150
Фтор	1	2,8 п.ф.	20–300	
Цинк	1	100,0	40–80	30–300
Кобальт	2	5,0 п.ф.		
Медь	2	3,0 п.ф. 55,0 вал.ф.	15–25	5–100
Никель	2	4,0 п.ф. 85,0 вал.ф.	20–60	3–300
Хром	2	2,0 п.ф.	80–140	100–10000
Ванадий	3	150,0	60–100	1–1000
Марганец	3	1500,0		200–10000
Марганец + ванадий	3	1000,0–100,0		
Стронций	3	–	120–170	100–1000

Примечание: п.ф. – подвижные формы; вод.ф. – водорастворимые формы; вал.ф. – валовые формы.

Таблица 6.5.5

## Потери урожая сельскохозяйственных культур (%) в мировом земледелии (по: Соколов и др., 1994)

Культура	Потери урожая, % от:			
	вредителей	болезней	сорняков	итого
Пшеница	5,0	9,1	9,8	23,9
Кукуруза	12,4	9,4	13,0	34,8
Просо, сорго	9,6	10,6	17,8	38,0
Рис	26,7	8,9	10,8	46,4
Хлопчатник	11,0	9,1	4,5	24,6
Соя	4,5	11,1	13,5	29,1
Картофель	6,5	21,8	4,0	32,3
Томаты	7,5	11,6	5,4	24,5

По разным оценкам в последние годы в мире используется более 1000 соединений, на основе которых выпускаются десятки тысяч препаративных форм пестицидов. Обычно пестициды классифицируют в зависимости от их **целевого назначения**. Наиболее часто применяются:

- **гербициды** – для борьбы с сорными растениями;
- **инсектициды** – для борьбы с вредными насекомыми;

- **фунгициды** – для борьбы с грибковыми заболеваниями растений и различными грибами;
- **родентициды (зооциды)** – для борьбы с грызунами;
- **альгициды** – для уничтожения водорослей и сорной растительности в водоемах;
- **бактерициды** – для борьбы с бактериями и бактериальными болезнями растений;
- **дефолианты** – для удаления листьев и ботвы;
- **десиканты** – для подсушивания листьев перед уборкой;
- **ретарданты** – для торможения роста растений и повышения устойчивости стеблей против полегания.

Пестициды могут быть классифицированы по **химическим признакам**. Наиболее распространенные:

- ▶ **хлорорганические пестициды** – галоидопроизводные полициклических и ароматических углеводородов, углеводородов алифатического ряда;
- ▶ **фосфорорганические пестициды** – сложные эфиры фосфорных кислот;
- ▶ **карбаматы** – производные карбаминовой, тио- и дитиокарбаминовой кислот;
- ▶ **азотсодержащие пестициды** – производные мочевины, гуанидина, фенола.

подавляющее число пестицидов – **кумулятивные яды**, токсичное действие которых зависит не только от концентрации, но и длительности воздействия.

Так, в процессе биоаккумуляции происходит многократное (до сотен тысяч раз) повышение концентрации пестицида по мере продвижения его по пищевым цепям.

В результате биотрансформации наряду с детоксикацией пестицидов имеет место и токсификация, то есть образуются вещества с еще более ядовитыми свойствами.

По токсичности для человека и теплокровных животных пестициды делятся на сильнодействующие ядовитые вещества **СД<sub>50</sub> до 50 мг/кг (смертельная доза, вызывающая гибель 50% организмов)**. Среди них бромистый метил, глифтор, фосфид цинка и др; высокотоксичные препараты (СД<sub>50</sub> до 200 мг/кг) – акрекс, базудин, метафос, фосфамид, фталофос и др. Среднетоксичные (СД<sub>50</sub> до 1000 мг/кг) – полихом, рамрод, медный купорос и др. К малотоксичными (СД<sub>50</sub> более 1000 мг/кг) относятся бенлат, бордоская жидкость, витавакс, дилор, далапон, дивлен, неорон, сера и др.

Итак, применение пестицидов, с одной стороны, является важным фактором увеличения производства продукции, с другой стороны, обнаружилось, что вредителей, болезней, сорняков не стало меньше. Более того, появились новые конкуренты человека в борьбе за урожай: насекомые, которые раньше не имели значения для сельского хозяйства; болезни растений, на которые не обращали внимания; сорняки, считавшиеся редкими, а иногда даже экзотическими видами. И в окружающей среде происходит нечто непонятное. Птицы начинают нести яйца с очень тонкой и мягкой скорлупой, в водоемах погибает рыба, все меньше становится птиц (особенно хищных – одного из конечных звеньев в цепях питания) и мелкого зверья, питающегося насекомыми, а последние, наоборот, появляются в огромных количествах и т.д. Например, тетраниховые растительноядные клещи (черносмородиновый клещ и др.) до применения ядохимикатов встречались редко, а сейчас для борьбы с ними расходуется немалое количество производимых пестицидов. Известно, что до 50-х гг. основными вредителями

хлопчатника были хлопковый долгоносик и коробочный червь. После широкого применения ДДТ, токсафена и др. препаратов массовое распространение получили хлопковая совка, табачная листовертка, табачная тля, паутинный клещ и пяденица, численность которой заметно возросла после подавления первых двух видов.

Как обоснованно отмечает Г.Л.Тышкевич (1987), отрицательные последствия, связанные с пестицидами, обусловлены главным образом разрушением биогеоценозов, в которых само существование и численность видов отдельных животных тесно связаны между собой. Пестицид, уничтожая вредителя, разрушает связи, благодаря которым численность данного вредителя поддерживается в естественных условиях на определенном уровне. И если еще у такого вредителя возникает устойчивость к применяемым препаратам, то затем следует вспышка: массовое его развитие, поскольку связи, сдерживающие процесс, либо разорваны, либо ослаблены. Наряду с паразитами и хищниками есть и симбионты, то есть растения или животные, без которых нормально организм не может существовать. Так, у насекомых для каждой стадии (яйцо, личинка, куколка, взрослая форма) имеются свои враги и симбионты. Очевидно, что неизбирательное действие пестицидов не может полностью избавить растения от того или иного вредителя. Оставшиеся же немногие особи уже будут менее восприимчивы к токсиканту, а ослабление и разрыв остальных связей (что фактически и происходит) во многих случаях ведут к резкому последующему увеличению численности вредителей.

Характеризуя возможные ситуации, связанные с применением пестицидов, следует помнить, что они всегда отрицательно влияют на живое население почв, жизнедеятельность которого лежит в основе поддержания почвенного плодородия. В частности, пестициды (особенно медьсодержащие) вызывают депрессию процесса нитрификации. Известны случаи, когда в результате чрезмерной химической нагрузки на почву доминирующее положение в ней занимают фитопатогенные микроорганизмы. При интенсивном использовании пестицидов отмечается стерилизация почвы (как, например, в некоторых районах Индии и Индонезии при выращивании сахарного тростника). Считается (М.С.Соколов и др., 1994), что гербициды (в зависимости от применяемой дозы) воздействуют на микробоценоз, нарушая гомеостаз (устойчивое колебание вокруг определенного среднего уровня численности отдельных групп или активности метаболических процессов), вызывая стресс (обратимую депрессию, или временное угнетение жизнедеятельности), изменяя резистентность и индуцируя смену доминантных форм, обуславливая репрессии (необратимую реакцию). При этом, если микробиологическая деятельность (численность и видовой состав) восстанавливается в течение 60 сут после воздействия, реакция микробоценоза считается обратимой; если ингибирование определенных форм микроорганизмов не менее чем на 50% сохраняется до конца вегетационного периода, реакция считается необратимой.

Мировая практика применения пестицидов свидетельствует о том, что они несут в себе потенциальную опасность. Нетоксичных для человека пестицидов нет. При определенных условиях, связанных в первую очередь с теми или иными нарушениями регламентов, правил хранения и применения препаратов, существует вероятность аллергенных, гонадотоксичных, канцерогенных, кожнорезорбтивных, мутагенных или blastomогенных, тератогенных, эмбриотоксичных и эмбриотропных воздействий на людей, отравлений их сильнодействующими ядовитыми веществами.

Действие пестицидов никогда не бывает однозначным. Исходя из присущей всем пестицидам совокупности свойств, можно констатировать следующее:



- как правило, для пестицидов характерен широкий диапазон токсического действия на живое вещество биосферы; очевидно, что принятые названия – гербициды, инсектициды, фунгициды и т.д. – не дают достаточного представления о возможном реальном воздействии этих веществ на природные комплексы и их компоненты;
- пестициды очень токсичны для животных и человека;
- подавляемые формы в любом агроценозе составляют не более доли процента от общего числа видов (в биосфере максимум 0,5%); при применении же пестицидов поражаются не только объекты подавления, но и множество других видов, не являющихся мишенями действия, в том числе естественные враги и паразиты подавляемых форм;
- пестициды всегда применяются против популяций;
- действие пестицидов не зависит от плотности популяции, но их употребляют только тогда, когда численность популяции объекта подавления достигает большого значения;
- руководствуясь ошибочным пониманием надежности обработки полей, угодий, акваторий, как правило, преднамеренно расходуют значительно большее количество препаратов, чем необходимо для уничтожения вредителя;
- мизерность "целевого" попадания используемых препаратов (инсектициды и фунгициды – около 3%, гербициды – 5–40% от применяемого количества); короткие сроки "целевого" действия (1–2% общего времени нахождения в окружающей среде);
- остатки пестицидов аккумулируются и биоконцентрируются в трофических цепях;
- имеет место вынос остаточных количеств пестицидов за пределы обрабатываемой территории;
- появляются резистентные к пестицидам формы вредных организмов;
- гибнут некоторые полезные организмы и происходят глубокие нарушения взаимосвязей в биоценозах;
- возрастает вероятность отдаленных последствий, связанных с патологическим и генетическим действием ряда препаратов на биоту;
- возможность чередования препаратов из различных классов соединений во избежание привыкания к ним вредных организмов, а также накопления препаратов в объектах окружающей среды.

По своей сути химизация сельского хозяйства представляет собой активное вмешательство человека в круговорот веществ в природе с целью его регулирования для стимулирования наибольшей отдачи почвы, растительного и животного мира. Связанные с химизацией блага, с одной стороны, и отрицательные явления, с другой – это противоположности, образующие самую сущность единого, но противоречивого целого – процесса химизации. В принципе химические средства, применяемые на биоценотической основе, следует рассматривать как способ управления процессами саморегуляции организмов агроценоза. Оценивая с этих позиций сложившуюся практику применения химических средств защиты растений, нельзя не обратить внимания на ее определенную "прямолинейность", вследствие чего не учитываются должным образом особенности функционирования экологических систем, где "все связано со всем". В процессе предупреждения, предотвращения возможных неблагоприятных последствий, вызываемых вредителями, болезнями, сорняками, целевому воздействию подлежат множество объектов элиминирования. Очевидно, что и арсенал применяемых методов защиты растений также должен быть достаточно разнообразным и максимально соответствующим (близким) природе нежелательных явлений. Речь должна идти о комплексной системе защитных мероприятий, включающей агротехнические, биологические

кие, карантинные, механические, селекционные, семеноводческие, физиологические и химические методы, разрабатываемые на основе познания объективных закономерностей развития культурных растений, их вредителей, болезней, полезных организмов с учетом влияния окружающей среды.



*Каковы перспективы использования биологического метода защиты растений?*

Основное направление биологического метода – использование полезных насекомых и клещей (энтомофагов) в борьбе с вредными. Энтомофаги представлены в природе хищниками, ведущими активный образ жизни и питающимися многими особями одного или (чаще) нескольких видов вредителей и паразитами (или паразитоидами), живущими до достижения взрослой стадии внутри или на теле одной особи вредителя и питающимися ею. Наиболее известные и широко используемые хищники – божьи коровки, златоглазки, жужелицы, мухи-журчалки, муравьи. Из паразитов для биологической защиты часто применяются перепончатокрылые насекомые (трихограммы, бракониды, ихневмониды, теленомусы, энкарзии и др.) и мухи (тахины и др.). Наиболее опасны для растений инородные карантинные вредители. В новых районах обитания они лишены своих врагов и поэтому причиняют наибольший ущерб. Самый эффективный способ борьбы с такими вредителями – интродукция энтомофагов с их родины. Завезенные хищники и паразиты либо акклиматизируются в новых условиях, либо их размножают в биолaborаториях и выпускают в природу вместо химических обработок. Большое значение имеет охрана местных энтомофагов: создание микрозаповедников, расселение некоторых видов (например, муравьев) по территории, посев около сельскохозяйственных угодий нектароносов для подкормки взрослых паразитов, использование высокоселективных пестицидов в сроки, безопасные для энтомофагов и т.д. Изучение биологических особенностей полезных организмов и разработка методов, обеспечивающих их развитие, позволяют обеспечить биоценотическое равновесие и значительно сократить или даже исключить применение химических средств против вредных организмов.

Биологические средства начали использовать для защиты растений и от болезней. Так, на основе изучения гиперпаразита мучнистой росы огурца создан биопрепарат, позволяющий исключить химические средства в закрытом грунте от наиболее опасного заболевания огурца. Разрабатываются приемы использования ряда авирулентных штаммов бактерий и грибов против различных корневых гнилей, ржавчины и мучнистой росы зерновых и других культур. Исследуется возможность использования биологических методов в борьбе с сорной растительностью (горчаком розовым, амброзией, повиликой, заразихами). Перспективно использование против сорняков специальных растительноядных насекомых (гербифагов).

Важную роль в защите растений играют способы обработки почвы, сроки и способы посева, уход за растениями, проведение своевременной уборки, соблюдение севооборота и правильное чередование культур в нем. Необходим переход от монокультуры к поликультуре: в сложных экосистемах взаимосвязи таковы, что постоянно высокая численность какого-либо одного вида (сорняка или вредителя) невозможна.

Выделение сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к наиболее опасным вредителям и болезням, соблюдение правил семеноводства, предусматривающих меры не только по сохранению первоначальных качеств сорта, но и по оздоровлению семенного материала, – весьма важные и перспективные составляющие системы защит-

ных мероприятий. Например, многолетними опытами по ступенчатой гибридизации в СССР была выведена группа сортов хлопчатника, не поражаемых вилтом.

К настоящему времени выполнены разработки по выделению и идентификации гормонов, управляющих метаморфозом и размножением насекомых. В частности, расшифрована химическая структура многих гормонов и осуществлен их синтез. В практике защиты растений находят широкое применение синтетические половые феромоны (биологически активные летучие вещества, управляющие зарождением и многими другими формами жизнедеятельности) для выявления очагов вредителей, установления сроков проведения химической защиты и привлечения самцов вредных насекомых к источникам стерилизации.

### 6.5.3. Экологические проблемы мелиорации

**Мелиорация** – система научно обоснованных организационно-хозяйственных, технических, биологических и других мероприятий, направленных на улучшение природных условий используемых территорий. Преимущественно ориентирована на улучшение почвенных, гидрологических и климатических условий сельхозугодий (сельскохозяйственная мелиорация, включающая орошение, обводнение, осушение земель, противозерозионные мероприятия, засоление почв и т.д.).

**Объектами мелиорации** могут быть также леса, ландшафты, климат, водные объекты, нарушенные земли и др. Соответственно различают:

- ▶ агролесомелиорацию;
- ▶ лесомелиорацию;
- ▶ фитомелиорацию.

Экологически обоснованные мелиоративные работы позволяют одновременно решать существенные вопросы охраны природы, повышать качество среды (табл. 6.5.6).

При комплексном ведении мелиоративных работ меняются соотношения всех средообразующих компонентов. Примером, может служить Колхидская низменность, расположенная в нижнем течении реки Риони (Черноморское побережье Грузии). Здесь проведен и постоянно поддерживается широкий комплекс мелиоративных приемов, в том числе и осушение болот, что позволяет получать устойчивые и высокие урожаи субтропических культур.

Чаще мелиорации направлены на изменение какого-то одного компонента экосистемы. Например, мероприятия по созданию новых и улучшению существующих источников получения воды или, наоборот, устранению избыточной увлажненности, восстановлению нарушенных процессов самовосстановления природного качества поверхностных и подземных вод. (Такого рода работы объединяются общим названием гидро-мелиорация.)

В целом в процессе хозяйственной деятельности, по мнению специалистов, необходимо проводить более 35 видов мелиораций. Одно из приоритетных направлений при этом занимает мелиорация почв, осуществляемая путем искусственного регулирования их водного, воздушного, солевого, теплового, биохимического и физико-химического режимов. Как свидетельствует многолетняя практика, для регулирования и изменения перечисленных свойств почвы применяется до 30 видов мелиорации почв:

- орошение и осушение;
- агролесомелиорация и фитомелиорация;
- пескование глинистых почв и глинование легких и торфяных почв;
- гипсование и известкование;
- внесение поверхностно-активных соединений.

Таблица 6.5.6

## Сводная таблица некоторых основных способов мелиорации

Виды мелиорации	Подвиды	Способы
<b>Климатические</b>	а) микроклиматические б) мезо- и макроклиматические	обогрев плантаций дымлением; укрытие; полив искусственное вызывание осадков из облаков; рассеивание облаков; уничтожение града; искусственное таяние ледников; изменение течений рек; гидротехнические сооружения; искусственные водоемы
<b>Водные</b>	а) орошение б) осушение	поверхностное; подпочвенное; лиманное; дождевание открытый способ; закрытый дренаж; обвалование
<b>Снежные</b>		снегозадержание, снегонакопление, уплотнение снега, задержание талых вод
<b>Фитомелиорации</b>	а) лесомелиорации	полезащитное лесоразведение; горная лесомелиорация; лесонасаждение на орошаемых землях и на песках
<b>Земельные</b>	б) кустарниковые и травянистые	закрепление песков псаммофитами и кустарниками
	а) борьба с эрозией	регулирование поверхностного стока, выпаса скота; закрепление оврагов; почвозащитные меры
	б) культурно-технические	уничтожение механических препятствий при обработке почвы; уничтожение дикой растительности, химическая мелиорация неудобных и малопродуктивных земель; террасирование склонов
	в) повышение плодородия обрабатываемых земель	известкование кислых и гипсование засоленных почв; внесение удобрений; борьба с сорной растительностью; создание мощного растительного покрова

**Каждый вид мелиорации**, действуя на основной "мелиорируемый" компонент, оказывает непосредственное или косвенное воздействие на сопредельные территории и компоненты, что зачастую с экологических позиций не всегда является желательным, а порой и крайне опасным. Наиболее масштабно и интенсивно такие нежелательные процессы сопутствуют и преимущественно являются следствием гидромелиорации. Это характерно как для **осушения**, так и **орошения**. Данные виды мелиорации весьма кардинально изменяют естественные гидрологические процессы. Масштабность их использования на планете вызвана тем, что площадь аридных (засушливых) и семиаридных (полузасушливых) земель составляет свыше 50% поверхности суши. Земли этих территорий, обладая плодородными свойствами, испытывают недостаток влаги. В на-

шей стране около 75% пашни расположено в зонах неустойчивого или недостаточного увлажнения.

Мелиорация земель призвана способствовать получению высоких и устойчивых урожаев, повышению плодородия почвы и рациональному использованию земельных ресурсов.

К мелиорации относятся: орошение и осушение земель; обводнение пастбищ; регулирование течения рек и поверхностного стока вод; промывка водой засоленной почвы; вентиляция почв, плохо проводящих воздух, посредством подземных дрен; устройство гидротехнических сооружений и валов для предотвращения эрозии почв; удаление промоин и закрепление оврагов; укрепление сыпучих песков облесением, сидерацией и внесением органических удобрений; почво- и полезащитное лесонасаждение; коренное улучшение химико-физических свойств почвы путем известкования, гипсования и внесения органических и минеральных удобрений; устранение солонцовых пятен на полях, пастбищах и сенокосах; корчевание пней, сведение кустарника, уборка валунов и камней с полей, лугов и пастбищ, уничтожение кочек, выравнивание микрорельефа. Каждый вид этих работ выполняют в зависимости от хозяйственной необходимости и целесообразности с учетом природных условий данной местности. При этом наиболее полный хозяйственный и экономический эффект мелиорация дает при комплексном осуществлении системы мелиоративных мероприятий. Например, **использование минеральных удобрений на полях с повышенной кислотностью почв обязательно должно сопровождаться известкованием**; орошение полей дает должный эффект в сочетании с внесением минеральных и органических удобрений, возделыванием на полях специально выведенных сортов растений, устройством дренажной сети, при строгом соблюдении норм полива.



|| Какие экологические последствия возникают при орошении?

К настоящему времени в России в неудовлетворительном состоянии находится 771 тыс. га орошаемых земель, в том числе из-за недопустимой глубины залегания уровня грунтовых вод – 325 тыс. га, из-за засоления – 292 тыс. га, из-за одновременного действия обоих предыдущих факторов – 154 тыс. га. Общая площадь учтенных засоленных земель в России составляет 38,4 млн. га (19,9% всех сельхозугодий), из которых 34% – пашня и 66% – солонцы.

Засоление почв, как известно, представляет собой повышение содержания в них легкорастворимых солей (карбоната натрия, хлоридов, сульфатов). Если процесс засоления обусловлен засоленностью почвообразующих пород, привносом солей грунтовыми и поверхностными водами, то **засоление называют первичным или остаточным**.

В естественных условиях засоление происходит за счет выпадения солей из засоленных грунтовых вод, а также в результате эолового привноса извне (моря и океаны, соленые озера). Важным источником солей в ландшафте, в том числе в грунтовых водах и почвах, являются засоленные материнские породы (особенно соляные купола). Некоторое количество солей может поступать в верхние горизонты почвы с опадом растений-галофитов (солянок). На орошаемых массивах существенным источником солей в почвах могут быть оросительные воды.

Одним из основных методов оценки процесса засоления является метод составления солевого баланса для данной почвы или земельного массива. Баланс представляет собой суммарный запас легкорастворимых солей в почве, равный разности между

приходными статьями баланса (поступление солей из грунтовых вод, золовый привнос солей, поступление солей из оросительных вод и минерализующихся растительных остатков, из удобрений) и расходными его статьями (отток солей из почвы в грунтовые воды с просачивающимися атмосферными осадками, вынос с оросительными водами, выдувание солей ветром с поверхности почвы, вынос солей с урожаем сельскохозяйственных культур).

Принято выделять три типа солевого баланса почв: стабильный (запас солей в почвенной толще не изменяется); баланс засоления (запас солей в почве возрастает); баланс рассоления (запас солей в почвенной толще уменьшается).

Отрицательный эффект влияния легкорастворимых солей на растения связан с совокупным действием трех различных механизмов. Преобладающую роль играет обычно высокое осмотическое давление почвенного раствора, возникающее из-за содержания растворенных солей и приводящее к плохой усваиваемости влаги растениями. Поэтому растения на засоленных почвах часто страдают от засухи даже при высокой влажности почвы.

Еще один механизм неблагоприятного воздействия легкорастворимых солей на растения заключается в резком ухудшении физических свойств почв в присутствии катионов натрия. При этом почва теряет структуру, ухудшаются ее водный и воздушный режимы.

Основной мелиоративный прием, направленный на повышение продуктивности засоленных почв, – промывки водой, благодаря которым при наличии дренажа из почвенного профиля удаляются легкорастворимые соли с растворимостью более 2 г/л. Особенно плохо из-за низкой водопроницаемости поддаются мелиорации почвы содового засоления, не содержащие гипса. Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур в таких случаях целесообразен подбор солеустойчивых видов растений.

Зачастую засоление происходит при нерациональном орошении. Этот процесс называют **"вторичным засолением"**.

Почвы считают засоленными при содержании более 0,1% по весу токсичных для растений солей или более 0,25% солей в плотном остатке (для безгипсовых почв). Различают много форм засоления и разновидностей засоленных почв.

Процесс вторичного засоления может накладываться на почвы естественно засоляющиеся, остаточно-засоленные, исходно незасоленные или глубоко-рассоленные. Основным механизмом этого процесса – привнос солей с оросительными водами в растворимом или взвешенном состоянии и выпадение солей в почвенной толще из минерализованных грунтовых вод, уровень которых при орошении часто поднимается. Последнее явление особенно распространено на равнинных, плохо дренированных территориях. При недостаточном дренаже вторичное засоление может иметь катастрофические последствия. Из-за большого накопления солей в почвах обширные массивы орошаемых земель становятся непригодными для земледелия и их приходится выводить из сельскохозяйственного использования.

В.А.Ковда выделяет следующие стадии процесса вторичного засоления почв, которые генетически связаны между собой и закономерно сочетаются в пространстве:

- засоление почв вдоль новых каналов;
- общее засоление орошаемой территории;

- рассоление староорошаемых территорий при одновременном засолении некоторых внутритроазисных пространств и периферии оазисов.

Вторичное засоление почв на орошаемых участках часто сопровождается загрязнением почв тяжелыми металлами, пестицидами, гербицидами, нитратами, соединениями бора.

Все эти вещества в районах интенсивного сельскохозяйственного использования попадают в почву как из оросительных, так и из грунтовых вод. При вторичном засолении происходят существенные изменения многих химических свойств почв: одновременно с накоплением легкорастворимых солей аккумулируются гипс и карбонаты, оказывающие благоприятное воздействие на физические свойства почв; в неблагоприятную сторону изменяется состав почвенного поглощающего комплекса, в котором  $\text{Ca}^{2+}$  замещается ионами  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$ , возрастает подвижность соединений калия, кремния, железа.

Наиболее эффективным способом использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве остается орошаемое земледелие. Орошаемые земли составляют всего 14,3% общей площади пашни планеты, но получаемая на них продукция превышает 40%. В южных районах умеренного пояса и в субтропиках орошаемые сады дают урожаи в 2–3 раза выше, виноградники, овоще-бахчевые культуры и зерновые – в 3–4 раза выше по сравнению с неорошаемыми и т.д.

Высокая продуктивность орошаемых земель обеспечивается интенсивной природообразующей деятельностью человека, которая выражается в наиболее полном использовании термических ресурсов, а также геохимического потенциала почв и вод. Если в отношении первого процесса не наблюдается явных экологических изменений, то **изменение естественного геохимического потенциала основных природных ресурсов любого региона закладывает тенденции нарушения эволюционно сложившегося равновесия и обуславливает возникновение экологических проблем орошаемого земледелия.**

Установлено, что **концентрации солей 0,10–0,15% являются предельными для очень чувствительных к засолению культур; 0,15–0,35% – вредны для большей части культур; 0,35–0,70% – пригодны для устойчивых культур; более 0,70% – приемлемы для очень устойчивых культур.**

При содержании обменного натрия 10–15% от емкости обменных катионов растения плохо развиваются, более 20–35% сильно угнетаются. Урожайность хлопчатника при слабом засолении уменьшается на 20–30%, кукурузы – на 40–50, пшеницы – на 50–60%. На средnezасоленных почвах урожайность хлопчатника уменьшается вдвое, пшеница находится в таком угнетенном состоянии, что погибает.

Для оценки потенциальной опасности вторичного засоления введено понятие о критическом уровне грунтовых вод, при котором начинается засоление корнеобитаемых слоев почвы, приводящее к угнетению и гибели сельскохозяйственных культур. Критическую глубину  $h_{кр}$  залегания грунтовых вод определяют по формуле:

$$h_{кр} = h_{max} + \alpha,$$

где  $h_{\max}$  – наибольшая высота капиллярного подъема в исследуемой почве,  $\alpha$  – глубина распространения основной массы корней сельскохозяйственных растений.

Опыт показывает, чем выше степень минерализации грунтовых вод, тем с большей глубины идет засоление почв. В среднем при минерализации грунтовых вод 10–15 г/л критическая глубина их залегания составляет 2,0–2,5 м. При орошении рекомендуется поддерживать уровень грунтовых вод не выше этой отметки.

Для предупреждения вторичного засоления требуется устройство дренажа, проведение полива в строгом соответствии с оросительными нормами, отведение минерализованных грунтовых вод в дренажную сеть, применение полива дождеванием, создание лесных насаждений вдоль каналов. Преимущества имеет, несомненно, капельное внутрпочвенное орошение.

Для удаления солей из почвы проводится многократная промывка пресной водой. На солонцах и солонцеватых почвах (с содержанием более 5–10% обменного натрия) рекомендуется применять гипсование или отходы от производства удобрений (фосфогипс).

Б.А.Зимовец с соавторами (1998) предложили систему экологических ограничений на антропогенные воздействия, связанные с возможностью деградации почв при орошении. Данная система включает экологические ограничения, связанные:

- с возможностью деградации физических свойств почв при орошении;
- с возможностью развития засоления, осолонцевания и ощелачивания почв;
- с возможным подкислением почв;
- с возможностью развития подтопления и заболачивания почв;
- с возможностью развития ирригационной эрозии почв;
- экологические ограничения и требования, связанные с возможностью развития деградации почв;
- с возможностью необратимого обеднения минералогического состава почв;
- с возможностью развития загрязнения почв;
- экологические ограничения и требования, связанные с возможностью неблагоприятного изменения количества и видового состава биоты в орошаемых почвах.

Экологически безопасное функционирование орошаемых агроэкосистем может быть достигнута только при условии сбалансированного взаимодействия природных и антропогенных факторов с учетом (Б.А.Зимовец и др., 1998):

- требуемых гидротермического, воздушного окислительно-восстановительного и питательного режимов почв в соответствии с фазами развития возделываемых сельскохозяйственных культур или агрофитоценозов;
- оптимальных агро- и гидромелиоративных нагрузок на орошаемые почвы, не приводящих к деградации последних;
- необходимых и допустимых агро- и гидромелиоративных воздействий на почвы в естественно или искусственно гидрогеологически и геохимически подчиненных к орошаемому агроценозу ландшафтах, не вызывающих деградации указанных почв;
- допустимых изменений гидрологического и геохимического режима грунтовых и подземных вод (в первую очередь пресных питьевых, различных минеральных вод и иных);



- нормированных изменений гидрологического и геохимического режима поверхностных вод в районах водозабора, сброса и последующего транзита коллекторно-дренажных вод, обеспечивающих условия жизни различных гидробионтов и человека;
- поддержание необходимого или допустимого санитарно-гигиенического состояния всех компонентов данного агроценоза и подчиненных к нему ландшафтов;
- сохранение состава основных и уникальных видов растений и животных (поддержание биоразнообразия) региона, в котором создается орошаемый агроценоз, а также в районах сброса и транзита коллекторно-дренажного стока;
- технической надежности эксплуатации инженерных систем.

Для оценки экологической допустимости возможных воздействий на орошаемые почвы разработаны критерии и параметры нормального и неблагоприятного состояния почв, основанные на сумме агрофизических, физико-химических, биохимических, гидрохимических показателей и показателей эрозионной опасности.



Какие экологические последствия могут возникнуть при осушении?

Общий мелиоративный фонд в районах достаточного увлажнения России составляет 75,3 млн. га. В 38 административных образованиях (области, республики) избыточно увлажненные земли составляют около 30% общей площади сельскохозяйственных угодий, а в отдельных областях превышают 40%. Большие работы по осушению земель ведутся в Подмосковье (пойма р.Яхромы). Наибольшие объемы осушения необходимы в Нечерноземной зоне, районах Сибири и Дальнего Востока.

Любая осушительная система в целом представляет собой комплекс гидротехнических сооружений и устройств, с помощью которых регулируется водно-воздушный режим болот и заболоченных переувлажненных земель.

Методы осушения зависят от типа питания болот. Так, при атмосферном питании обеспечивается ускоренный поверхностный сток; при грунтовом – понижение уровня грунтовых вод; при напорном – снижение напора и уровней напорных вод, при грунтово-напорном – понижение уровня напорных и грунтовых вод; при склоновом – перехват потока поверхностных вод; при намывном – ускорение паводкового стока.

**Основные способы осушения следующие** (В.С.Маслов и др., 1981):

- ▶ при атмосферном типе питания – открытая система каналов, закрытые дрены, кротование, глубокая вспашка и др. в сочетании со строительством каналов;
- ▶ при грунтовом и грунтово-напорном питании – открытые каналы, закрытые дрены, разгрузочные скважины и вертикальный дренаж;
- ▶ при склоновом типе питания – нагорные каналы, противоэрозионные мероприятия на склонах;
- ▶ при намывном типе – дамбы, обвалование, регулирование русел рек и речного стока (строительство водохранилищ, переброска части стока в другие бассейны и др.).

Каждый способ осушения характеризуется определенной экологической направленностью.

Мелиорация болот и заболоченных земель, выполненная на научной основе с соблюдением технических условий, в целом благоприятно сказывается на речном стоке, особенно на таких важных при использовании водных ресурсов видах стока, как минимальный и меженный, которые существенно увеличиваются. Имеющиеся же случаи ухудшения водного режима в районах мелиоративных работ связаны с недостатками в проектировании, строительстве и эксплуатации мелиоративных систем. Как правило, максимальный сток весеннего половодья и ливневых паводков изменяется мало.

Зная свойства почв, строение их профиля и динамику почвенных процессов на фоне дренажа, можно предложить эффективные приемы их улучшения и повышения плодородия, которыми в достаточной мере располагают наука и практика. Это, в частности, систематическое обогащение почвы органикой и закрепление ее в профиле кальцийсодержащими соединениями (известь, фосфориты, гипс и др.), внесение научно обоснованных доз минеральных удобрений (с преобладанием в их составе азотных и фосфорных).

Из агромелиоративных приемов на дерново-подзолистых оглеенных почвах эффективно рыхление иллювиального горизонта с одновременным обогащением его кальцийсодержащими веществами или искусственными структурообразователями.

При использовании торфа и торфяных почв учитываются следующие характеристики:

- ▶ элементарный состав органической и минеральной части твердой фазы;
- ▶ степень разложения и степень гумификации органической части;
- ▶ содержание зольных элементов (зольность).

Осушение и сельскохозяйственное освоение осушенных торфяных почв сопровождается их осадкой (объемными изменениями). Это объясняется первоначальным обезвоживанием, а затем всевозрастающей ролью биохимических процессов при уменьшении содержания органического вещества в составе твердой фазы торфа.

Осушение и сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв приводит **к увеличению степени их разложения, гумификации**. Повышение гумификации при сельскохозяйственном использовании торфяной почвы в твердой фазе сопровождается ростом содержания углерода, азота и битумов. Темпы минерализации органического вещества твердой фазы торфяных почв замедляются обратно пропорционально степени его гумификации. Другая важная особенность торфяных почв – **низкое содержание в них минеральной части и элементов минерального питания растений**.

Чтобы придать поглощающему комплексу торфяной почвы свойство накапливать "про запас" соединения калия, фосфора и другие элементы питания растений, необходимо "внешнее" обогащение минеральной частью. Здесь уместно сослаться на высказывание известных специалистов по изучению торфяных почв И.С.Лупиновича и Т.Ф.Голуб (1962):

"Если основным приемом окультуривания минеральной почвы является заправка ее органическим веществом и повышение содержания гумуса, то на торфяных почвах, почти сплошь состоящих из органического вещества, положительным фактором является **увеличение** минеральной части. Чем выше зольность торфяной почвы, тем большую ценность она представляет для сельскохозяйственных целей".

Полевые опыты по внесению песка, глины и лесса в осушенные торфяные почвы, проведенные в нашей стране, Германии, Финляндии, на практике подтвердили эффективность такого приема окультуривания. Использование данного приема в производственных условиях Новгородской области показало, что добавка минерального грунта в торфяные почвы достаточно результативна:

- увеличивается плотность;
- уменьшается полная влагоемкость, создаются условия для лучшей проходимости сельскохозяйственных машин;
- снижается подверженность торфяных почв пожарам и эрозии;
- улучшается водный режим почвы – продолжительность периода с увлажнением, близким к оптимальному, увеличивается на 130–150 дней;
- улучшается температурный режим почвы – оптимальная температура в корнеобитаемом слое почвы наступает на 15–30 дней раньше;
- увеличивается сумма положительных температур за вегетационный период, примерно на 450°C;
- значительно снижается амплитуда колебаний температур;
- уменьшается вероятность поздневесенних и раннеосенних заморозков;
- улучшаются агрохимические свойства почвы – снижается кислотность, увеличивается содержание питательных веществ;
- наблюдается благоприятное влияние на изменение водно-физических свойств, водного, пищевого и температурного режимов почвы.

В конечном счете было обеспечено существенное (до 100% и более) увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, повысилось заметно качество продукции (содержание протеина в многолетних травах возросло с 6 до 16%, белка в ячмене – на 2,0, сахара в капусте – на 2,0, крахмала в картофеле – на 2,5%).

Изучение динамики и свойств торфяных почв на фоне регулируемого водно-воздушного режима позволило В.Р.Будлею и С.Т.Вознюку сформулировать следующие выводы:

- осушение земель и последующее сельскохозяйственное использование их сопровождается существенным изменением свойств осушенных почв;
- осушение и интенсивное сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв и сохранение их в первоизданном виде – практически неосуществимые задачи;
- имеющиеся к настоящему времени научные данные о характере и направленности почвенных процессов и практический опыт сельскохозяйственного использования позволяют трансформировать осушенные торфяные почвы в новый тип окультуренных антропогенных почв высокого и стабильного эффективного плодородия;
- в связи с различиями задач сельскохозяйственного использования и сохранения болотных массивов в рекреационных, научных и других несельскохозяйственных целях необходимо строгое государственное планирование использования их по назначению.

Нельзя, безусловно, упускать из виду нежелательные процессы, которые могут развиваться в почвах под влиянием осушения. К ним можно отнести:

- в минеральных почвах легкого механического состава – интенсивная минерализация органической части (растительных остатков и гумуса); подкисление почвенного раствора: появление и вынос продуктов разложения и подвижных, в том числе питательных, веществ дренажными водами (с последующей возможностью закупорки дрен);

- в минеральных почвах суглинистого и глинистого состава – аналогичные процессы, но с большей выраженностью подкисления и меньшими потерями подвижных элементов с дренажными водами;
- в органогенных почвах – обезвоживание органического вещества, его гидрофобизация (несмачиваемость) в результате переосушения; интенсификация минерализации торфа и образование при этом в избыточных количествах (для растений) аммиака, нитратов и переход их из почвы в воздух в виде молекулярного азота и в грунтовые воды в виде  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

#### 6.5.4. Экологические проблемы механизации

Важнейшие составляющие производственного цикла в сельском хозяйстве – вспашка, посев, обработка и уборка, переработка полученной продукции. Для осуществления этих процессов техническое оснащение отрасли должно обеспечиваться созданием высокопроизводительных, надежных, долговечных и экологически оправданных машин. При этом в основе технического вооружения лежат закономерности земледельческой механики, заложенные почетным академиком АН СССР и академиком ВАСХНИЛ В.П.Горячкиным, согласно которым, **технику следует обязательно рассматривать лишь в связи с живой природой, с живыми организмами.** Земля и ее плодородие – одно из основных богатств, данных человеку природой и задача агротехники, опирающейся на машинные технологии, беречь и приумножать эти богатства.

Возможности сельскохозяйственной техники зависят не только от количества машин и оборудования. Это и понятно, если учесть, что, как никакая другая, она эксплуатируется в таких сложных условиях, как:

- сезонность работы;
- непродолжительные сроки кампаний;
- агрессивные среды;
- усиленный абразивный износ;
- форсированные режимы;
- огромные вибрационные и динамические нагрузки;
- хранение без эффективных средств консервации и достаточной коррозионной защиты.

В сельскохозяйственных машинах практически не применяются высокопрочные металлы и новые композиционные материалы. В результате многие узлы редко работают положенные 7–8 лет, выходя из строя за 2–3 года. (Очевидное увеличение материалоемкости стимулирует расход природных ресурсов, а в конечном счете – косвенное негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую природную среду.)

Создавая системы энергетических, технологических, сельскохозяйственных и других машин, человек с помощью техники облегчает свой труд, но при этом как бы отчуждает себя от природы. Параллельно закономерным процессам повышения роли техники во взаимодействии с природой все большую актуальность приобретают вопросы экологичности применяемых технических средств и всего производства.

Широкомасштабное использование техники в сельском хозяйстве, способствуя росту производительности и эффективности труда, сопряжено и с отрицательными последствиями, исключение и минимизация которых является одной из насущных задач "экологизации" аграрного сектора.

А.Б.Левин и Д.Н.Мурусидзе (1989) разработали примерный перечень производственных процессов, связанных с применением средств механизации, и возможных в связи с этим отрицательных последствий:

- **Использование мобильных энергетических средств** (автомобили, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины): 1 – химическое, механическое и акустическое загрязнение атмосферы; 2 – загрязнение окружающей среды жидкими нефтепродуктами; 3 – уплотняющее и разрушающее действие на почву в результате давления, динамического воздействия и вибрации.
- **Обработка почвы:** 1 – развитие водной, ветровой и технической эрозии; 2 – образование плужной подошвы и связанные с этим последствия; 3 – увеличение тягового усилия в результате уплотнения почвы.
- **Внесение минеральных и органических удобрений и защита растений:** 1 – загрязнение воды и почвы химическими веществами и болезнетворными организмами; 2 – отрицательное воздействие пестицидов на живые организмы и экологические системы в целом.
- **Возделывание и уборка корне- и клубнеплодов:** 1 – развитие эрозии, уплотнение плодородного слоя почвы; 2 – вынос земли с поля при транспортировке недостаточно очищенных корне- и клубнеплодов; 3 – повреждение клубней картофеля и корнеплодов и связанные с ними потери продукции при хранении.
- **Уборка зерновых и кормовых культур:** 1 – количественные потери зерновых – улучшение условий питания для вредителей; 2 – потери зеленой массы при ее загрузке на транспортные средства; 3 – качественные потери – дробление и травмирование зерна; 4 – гибель животных под ножами косилки при маршруте движения уборочных агрегатов в сгон.
- **Сушка, очистка, сортировка и хранение зерна и семян.** Получение травяной муки: 1 – загрязнение окружающей среды топочными газами в процессе сушки; 2 – получение недостаточно очищенного посевного материала в результате некачественной очистки и как следствие увеличение сорной растительности; 3 – повреждение зерна и семян и потери продукции при хранении.
- **Эксплуатация машинно-тракторного парка.** Загрязнение и разрушающее влияние на окружающую среду в результате: 1 – использования энергонасыщенных машин с большой массой и высокой скоростью движения; 2 – наличия неисправностей и недостатков в организации использования МТП; 3 – проведения технического обслуживания и технических уходов при отсутствии соответствующего оборудования и специальных площадок; 4 – недостатков в организации нефтехозяйства (плохое состояние резервуаров, раздаточных средств и т.д.); 5 – отсутствия теплых обогреваемых помещений для дизельных автомобилей и тракторов; 6 – коррозии при хранении сельскохозяйственной техники и несвоевременной сдачи списанной техники.
- **Мелиорация:** 1 – осушение – уничтожение плодородного слоя почвы, понижение уровня грунтовых вод, разрушение природных экологических систем; 2 – орошение – переувлажнение, заболачивание и засоление почв; подъем уровня грунтовых вод; разрушение плодородного слоя почвы при повышенной интенсивности дождя, создаваемого дождевальными агрегатами, и при промывке почв.

- **Механизация производственных процессов в животноводстве:** 1 – загрязнение и заражение окружающей среды навозом; 2 – загрязнение окружающей среды при промывке доильной аппаратуры и молочного оборудования, при мойке корне- и клубнеплодов; 3 – загрязнение воздушного бассейна газами, образующимися при жизнедеятельности животных и разложения навоза, а также пылью и микроорганизмами при вентиляции помещений.

Приведенный перечень позволяет заблаговременно и достаточно целенаправленно формировать комплекс необходимых природоохранных мероприятий по каждому выделенному блоку.

С классификацией Левина и Мурусидзе удачно сочетается интересная схема воздействия мобильной сельскохозяйственной техники на природную среду и нарушение ее гомеостаза, предложенная А.А.Вакулиным (1996).

Применяемые технологии выращивания сельскохозяйственных культур предполагают многократное воздействие ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов на почву. В результате неоднократного передвижения машин по полю происходит значительное переуплотнение почвы, которое распространяется на большую глубину (до 100 см), а машинные "следы" покрывают до 80% поля. Под влиянием тяжелой техники (данные ВИМ, МСХА им. К.А.Тимирязева, Почвенного института им. В.В.Докучаева) плотность почвы возросла к настоящему времени на 20–40%. Переуплотнение, угнетение активности почвенных микроорганизмов, нарушение структуры, снос перемолотой почвы водой и ветром, то есть **машинная деградация почвы** – результат воздействия на пашню ходовых систем и рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Высокая плотность почвы обуславливает резкое ухудшение ее физико-химических и агрофизических свойств. Уплотненные почвы оказывают большое сопротивление проникновению в них корневых систем растений, в таких почвах ухудшается водно-воздушный и питательный режимы, развиваются эрозионные процессы. Корни древесных и кустарниковых растений не проникают в почву, плотность которой превышает  $1,6 \text{ г/см}^3$ . Корни озимой пшеницы с трудом проникают в почву при плотности слитого чернозема  $1,42 \text{ г/см}^3$ , а при плотности  $1,5 \text{ г/см}^3$  вовсе не проникают. Повышение плотности почвы на  $0,1 \text{ г/см}^3$  приводит к недобору 6–8% урожая. Из-за уплотнения общие потери урожая, например, на черноземных почвах достигают 45% в год (Г.Я.Воробьев, 1987).

Результаты модельных опытов показали, что при однократном уплотнении поверхности поля трактором МТЗ, ДТ-75 и Т-74 уменьшение урожая озимых и яровых, а также кормовых культур составляет 8%. Такие тракторы, как Т-150, снижают урожай на 16%, К-700, К-700А и К-701 – на 19%. При 2- или 3-кратных проходах этих машин потеря урожая составляет 16, 22 и 27% соответственно.

В США ежегодные потери от уплотнения почвы оцениваются в 1,18 млрд. долларов. По подсчетам немецких специалистов из-за переуплотнения почв недобирается около 50% урожая.

Только из-за переуплотнения урожайность зерновых снижается на 20%, картофеля на 40–50%, теряется до 40% NPK.

При повышении плотности почвы в пахотном слое выше оптимума только на  $0,1 \text{ г/см}^3$  урожайность зерновых снижается на 0,2–1,0 т с 1 га, а картофеля – на 1,5–2,5 т с гектара.

Несомненную угрозу для биологических систем представляет уплотнение почвы ввиду влияния на подвижность токсикантов. В опытах, проведенных на лесных дерново-подзолистых почвах, установлено увеличение подвижных форм токсичных ТМ в зависимости от уплотнения почвы. Так, при изменении плотности почвы с 1,0–1,1 до 1,4–1,6 г/см<sup>3</sup> подвижность свинца возрастала в 2,5 раза (Л.В. Мосина и др., 1984). Меры по снижению уплотнения почв включают:

- организационно-технологические мероприятия;
- агротехнические приемы по повышению устойчивости почв к уплотнению и их разуплотнению;
- совершенствование сельскохозяйственной техники, ее ходовых систем с доведением давления на почву до допустимых значений.

Организационно-технологические мероприятия предусматривают разработку и внедрение технологий возделывания сельскохозяйственных культур с минимальным проходом по полям тяжелой колесной техники (*совмещение операций*).

Особенно актуально уменьшение числа технологических операций при возделывании технических культур, кукурузы на зерно, картофеля и овощей, когда почва испытывает наибольшую нагрузку как в процессе посева и посадки, ухода за культурами, так и при их уборке.

К агротехническим приемам относятся окультуривание почв, повышение содержания в них гумуса.

Для разуплотнения почв применяют рыхление, в том числе и орудиями с активными рабочими органами (фреза и др.), пахотного и подпахотного слоев (чизели, глубокорыхлители). **Сочетание рыхления с внесением органических удобрений и кальцийсодержащих веществ значительно снизит негативные последствия машинной деградации почв.**

Важно добиваться, чтобы на полях работали только такие механизмы, давление движителей которых на почву не превышало бы 0,1 МПа.

Нужно использовать гусеничные движители (их давление на почву 80–100 кПа) или эластичные шины (давление 30–60 кПа).

**Энергосберегающей технологией при минимальной обработке почвы предусмотрено использование комбинированных машин, позволяющих за один проход выполнять несколько технологических операций.**

Агрегат РВК-3,0 за один проход совмещает рыхление почвы на глубину до 12 см с выравниванием поверхности и прикатыванием. При этом почва меньше уплотняется, меньше распыляется, повышается ее устойчивость к эрозии. Кроме того, сокращается потребность в технике, топливосмазочных материалах (на 8–27%), а затраты средств и труда сокращаются на 18–35%.

Вспашка поля при помощи отвальных плугов сопровождается разрушением поверхностных слоев почвы. При этом уничтожаются травяной покров и дернина, запахиваются стерня и другие пожнивные остатки, защищающие почву от выдувания и смыва, не исключено выворачивание на поверхность менее плодородных слоев почвы.

В районах господства **ветровой эрозии** следует применять **бесплужное рыхление почвы** при помощи плоскорезов. В сочетании с внедрением лугопастбищных севооборотов, правильным чередованием культур, нарезкой полей перпендикулярно направлению ветров, полосным размещением культур и пр. такая система позволяет свести к минимуму разрушение почвы, обеспечить рациональное использование земли, повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Общие потери почвы с продукцией и на рабочих органах сельскохозяйственных машин, колесах и гусеницах (особенно во влажную погоду) достигают примерно 16%. В дождливую погоду с корнями с 1 га выносятся из самого плодородного слоя до 40 ц почвы. На московские овощные базы ежегодно вместе с картофелем и овощами завозится до 100 тыс. т почвы, что равносильно потере ее 30-см слоя на площади 43 га. **Ежегодный же суммарный унос почвы составляет 1,5 млрд. т** (И.С.Рабочев, 1978). Действенным средством борьбы с медленно действующими пестицидами являются, как уже отмечалось, **агрофильные (почвозащитные) ходовые системы (АХС)**.

Современная сельскохозяйственная техника оказывает на окружающую среду, в том числе и на почву, загрязняющее действие. Это связано с использованием в качестве топлива нефтепродуктов, доля которых в сельскохозяйственном секторе СССР составляла около 40% их общего потребления.

Основные потребители жидкого топлива – тракторы, автомобили, сельскохозяйственные комбайны. Выбросы отработанных газов из низко расположенных выхлопных труб вызывают такое загрязнение окружающей среды, которое можно сравнить с воздействием на атмосферу крупных промышленных предприятий (в силу особенностей загрязнения приземного слоя). В этом отношении заслуживают внимания данные о токсичности отработанных газов (табл. 6.5.7 и 6.5.8).

Таблица 6.5.7

**Содержание вредных веществ в отработанных газах двигателей внутреннего сгорания, % (по: Боева, 1982)**

Тип двигателя	CO	NO <sub>x</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	SO <sub>2</sub>	Альдегиды	Бенз(а)-пирен, мг/м <sup>3</sup>	Сажа, г/м <sup>3</sup>
Карбюраторный	0,2–6,0	0,4–0,45	0,01–0,35	0,006	0,004–0,2	10–20	0,05–0,4
Дизели с неразделенной камерой	0,05–0,3	0,02–0,2	0,05–0,5	0,01–0,03	0,004–0,2	до 10	0,1–1,0

Материалы таблиц свидетельствуют о преимуществах дизельных двигателей перед карбюраторными по содержанию в отработанных газах CO и свинца, но по другим ингредиентам (особенно сажа, бенз(а)пирен, альдегиды), приходящимся на 1 кг сгоревшего топлива, дизельные двигатели уступают карбюраторным. Заметим, что по степени опасности CO является наименее вредным среди образующихся загрязнителей воздуха.

Несомненно, что ключевая проблема использования сельскохозяйственной техники – это не только сохранение плодородия, но и сохранение самих почвенных ресурсов. По мнению академика ВАСХНИЛ В.А.Кубышева, в обозримой перспективе в развитии почвосберегающей техники выделяются три направления:



Таблица 6.5.8

**Образование токсических веществ при сжигании органического топлива,  
г/кг (по: Боева, 1982)**

Токсические вещества, г/кг	Бензин	Дизельное топливо	Природный газ	Мазут	Уголь
СО	274	7,1	незначит.	0,05	0,09
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	24	16,4	–	нет данных	нет данных
NO <sub>x</sub>	13,5	26,4	0,063	13,8	9,07
Сажа	1,4	13,2	0,24	0,46	1,95
Свинец	8,4	–	нет данных	нет данных	0,018
Бенз(а)пирен	7,2–10,5	10,5–10 <sup>5</sup>	–	х	х
SO <sub>2</sub>	1,3	4,8	0,0006	27,7	60,4
Альдегиды	0,5	1,2	нет данных	нет данных	нет данных

*Примечание:* х – при сжигании нефти и угля в атмосферу выбрасывается 99% полициклических ароматических веществ (ПАУ), образующихся при сжигании всех видов топлива.

- ▶ минимизация обработки почвы;
- ▶ снижение давления на почву и облегчение машин;
- ▶ создание распределительных систем.

В более отдаленной перспективе будут разработаны особые специальные почво-обрабатывающие инструменты, способные удовлетворять требования, определяемые жизнью почвы.

### 6.5.5. Экологические проблемы животноводства

При переводе животноводства на промышленную основу возникла проблема утилизации навозных стоков и бесподстилочного навоза. Вблизи животноводческих комплексов и ферм промышленного типа особую угрозу окружающей среде представляют скопления навоза, нитратное и микробное загрязнение почв, фитоценозов, поверхностных и грунтовых вод.

Например, на молочных фермах промышленного типа в зависимости от их размера годовой выход навоза составляет: 1000 голов – 25,55 тыс. т, 2000 голов – 51,1 и 3000 голов – 76,65 тыс. т.

Поэтому при выборе места размещения животноводческих комплексов должны быть обоснованы возможности утилизации навоза и производственных стоков с учетом природоохранных требований. При этом учитывают орографические (геоморфологические), эдафические, метеорологические, гидрологические и гидрогеологические факторы, наличие и состояние лесной растительности, сельскохозяйственных угодий (для утилизации навоза в виде удобрений) и селитебных территорий.

**Животноводческие комплексы** – мощный фактор негативного воздействия на окружающую среду в результате накопления на них огромного количества бесподстилочного навоза и навозных стоков. Микробное и общее загрязнение в 8–10 раз превышают естественный фон загрязнения почвенного и снежного покрова.

Загрязнение почв, снежного покрова, вод местного стока биогенными элементами влечет за собой соответствующие изменения показателей качества фитомассы культур на сельскохозяйственных угодьях, примыкающих к животноводческим фермам и комплексам.

Так, на склоне балки "Харули" (склон выпуклого поперечного профиля с уклонами, изменяющимися от 0,06 до 0,28) на участках, примыкающих к свиноферме и овцеферме, динамика биохимического состава зеленой массы многолетних трав (эдикатор – пырей ползучий) определялась местоположением отбора образцов для анализов.



**Задание 6.5.5.1.** На конкретном примере дайте экологическое обоснование снижения негативных последствий животноводческих комплексов. Нарисуйте схему предупреждения стоков в окружающую среду.

На участке склона, примыкающем к свиноферме, особенно большое содержание нитратов обнаружено в химическом составе трав, размещенных у подошвы склона – в местах возникновения делювиальных шлейфов почвогрунта и навозных стоков. На участке, примыкающем к овцеферме, очень большое количество нитратов (3575–7915 мг/кг) содержалось в травах, размещенных на скотомогильнике и месте захоронения навоза. Такое качество кормов может вызвать нитратное отравление скота.

Как правило, по днищам балок размещают различные пруды и донные лесные насаждения, которые способствуют регулированию потоков биогенных элементов и патогенных микроорганизмов. Так, каскад сооружений в балке "Харули" представлен плотиной пруда-накопителя осветленных стоков, а также плотинами двух буферных прудов, между которыми расположено донное насаждение из клена ясенелистного и ясеня ланцетного. Кроме этого донные насаждения ивы созданы перед верхним урезом воды верхнего буферного пруда.

На различных позициях балочного днища наибольшее количество патогенных микроорганизмов содержит вода в пруде-накопителе осветленных стоков. Переполюняя пруд-накопитель сточные воды по боковым водообходам поступают под полог донного насаждения ивы, после которого бактериальная контаминация воды резко снижается. После прохождения верхнего буферного пруда и донного насаждения из клена и ясеня содержание патогенных организмов в воде местного стока вновь возрастает в связи с дополнительным поступлением сточных вод с селитебной территории учхоза "Донское".

В целом для регулирования потоков биогенных элементов и патогенных микроорганизмов по днищам балок следует устраивать каскады прудов (накопителей осветленных стоков и буферных) и других сооружений, а также создавать донные древесные насаждения.

**Разработан способ предупреждения поступления на балочные днища навозных стоков с территории животноводческих ферм и комплексов, расположенных в прибровочных зонах нижних звеньев гидрографической сети** (рис. 6.5.1). Сущность его заключается в следующем:

- ▶ ниже фермы (1) поперек склона (2) сооружают первую траншею (3), почвогрунт из которой укладывают в виде основания (4) на нижележащий участок склона (2);
- ▶ навозные стоки, попадая в траншею (3), впитываются в почвогрунт, оставляя в траншее (3) твердую фазу навоза (5);
- ▶ после заполнения твердой фракцией навоза первой траншеи (3), ее засыпают почвогрунтом (6), извлеченным из второй траншеи (7), нарезанной на вышележащем участке склона параллельно первой траншее (3), ниже которой из почвогрунта (6) отсыпают вал (8);

- на месте первой траншеи (3) высаживают древесные растения в виде лесной полосы (9).

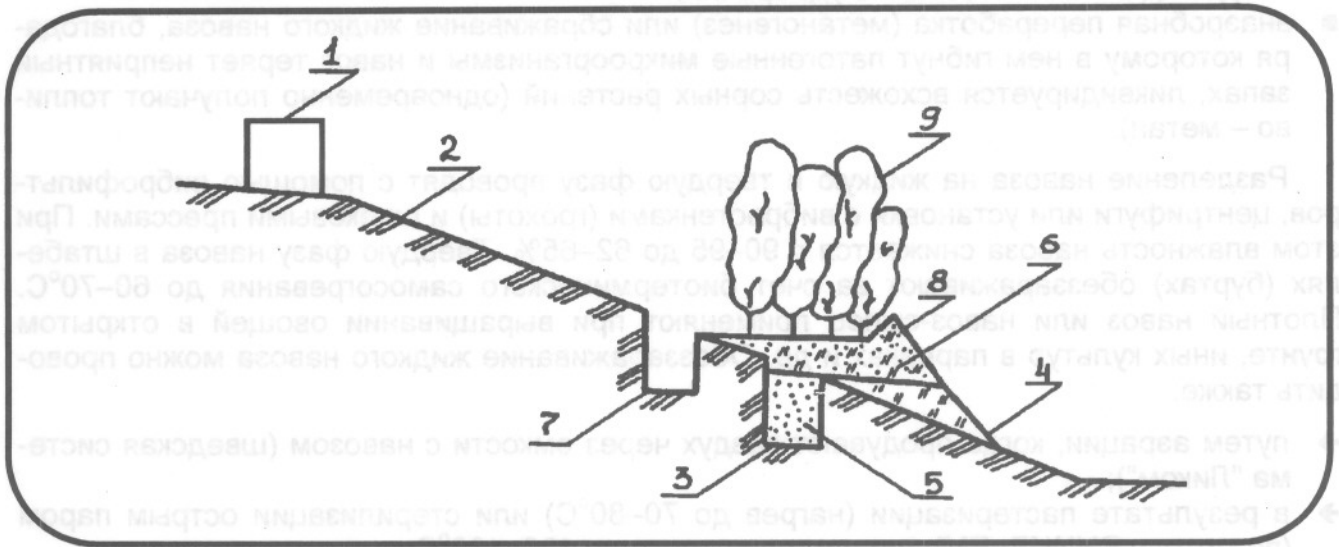


Рис. 6.5.1. Способ предупреждения поступления на балочные днища навозных стоков с территории животноводческих ферм и комплексов: 1 – ферма; 2 – балочный склон; 3 – первая траншея; 4 – основание из почвогрунта; 5 – твердая фаза навоза; 6 – почвогрунт, извлеченный из второй траншеи; 7 – вторая траншея; 8 – земляной вал; 9 – лесная полоса

При этом вторая траншея будет изолировать лесную полосу от поступления навозных стоков с территории фермы. Одновременно навоз в первой траншее будет компостирован и утилизирован при росте и развитии древесных растений.

С течением времени, после переполнения твердой фракцией навоза второй траншеи, вновь осуществляют полный цикл работ по сооружению новой траншеи на вышележащем участке склона. Нарезка параллельных траншей, создание валов и лесных полос можно последовательно проводить на вышележащих участках склона вплоть до территории фермы.

Такое освоение склонов проводят дополнительно к работам по эксплуатации систем удаления, переработки, обезвреживания, транспортирования и использования навоза, получаемого на животноводческих фермах и комплексах.



Какие существуют методы очистки и утилизации навозных стоков?

При стойловом содержании скота существуют различные технологические схемы утилизации навоза:

- многоступенчатая очистка (с применением гидросмыва) с разделением навоза на твердую и жидкую фракции (твердая фракция помещается в штабеля, а жидкая – в аэротенки и иные установки обеззараживания и очистки, из которых она поступает в пруды-накопители осветленных стоков и на земельные поля орошения);
- на небольших фермах стоки используют для производства торфокомпостных смесей, которые вывозят на поля биотермического обеззараживания;
- очистка стоков с помощью прудов-накопителей и навозохранилищ (отходы при гидросмыве направляют в приемники и хранилища, где жидкость расслаивается на фракции, обеззараживается и идет на поля фильтрации и в водоем; твердая фаза направляется на сельскохозяйственные угодья);

- самоочищение и утилизация отходов в естественных водоемах, когда осветленная жидкость из очистных сооружений стекает в пруд-накопитель и далее в водоемы, а осадок идет на изготовление удобрений;
- анаэробная переработка (метаногенез) или сбраживание жидкого навоза, благодаря которому в нем гибнут патогенные микроорганизмы и навоз теряет неприятный запах, ликвидируется всхожесть сорных растений (одновременно получают топливо – метан).

Разделение навоза на жидкую и твердую фазу проводят с помощью виброфильтров, центрифуги или установки с вибростенками (грохоты) и шнековыми прессами. При этом влажность навоза снижается с 90–95 до 62–65%. Твердую фазу навоза в штабелях (буртах) обеззараживают за счет биотермического самонагрева до 60–70°C. Плотный навоз или навоз-сыпец применяют при выращивании овощей в открытом грунте, иных культур в парниках и др. Обеззараживание жидкого навоза можно проводить также:

- путем аэрации, когда продувают воздух через емкости с навозом (шведская система "Ликом");
- в результате пастеризации (нагрев до 70–80°C) или стерилизации острым паром (по методу ВНИИВиВМ) при нагреве навоза до 120–130°C;
- при термическом контактно-газовом обеззараживании (по методу ВИЭСХ), когда струя газа горит внутри жидкого навоза. В последнем случае обеззараживать можно и иловый осадок прудов-накопителей осветленных навозных стоков.

Кроме этого, обеззараживание навоза проводят аммиаком, электрическим током и другими методами.

Земледельческие поля орошения (ЗПО) предназначены для приема и окончательного обеззараживания (обезвреживания) сточных вод, в том числе и навозных стоков с обязательным их использованием для удобрения и увлажнения выращиваемых на полях сельскохозяйственных или лесных культур.

Общая технологическая схема многоступенчатой очистки и утилизации навоза приведена на рис. 6.5.2. Эта схема предусматривает как искусственные системы очистки и обеззараживания навозных стоков, так и естественные пруды-накопители, буферные пруды, лесные насаждения на путях передвижения сточных вод (ниже прудов-накопителей осветленных стоков), земледельческие (иногда коммунальные) поля орошения, биологические пруды и др.

В лесных насаждениях сточные воды освобождаются от взвешенных и влекомых наносов, которые при аллювиальных процессах в сочетании с опадом (подстилкой) включаются в процессы почвообразования: в биологических и буферных прудах осветленные навозные стоки самоочищаются при перемешивании с водами водохранилищ, рек и иных водных объектов, под воздействием солнечной радиации, аэрации, жизнедеятельности гигро- и гидрофитов, микроорганизмов и т.п.

В прудах-накопителях преобразуются органолептические свойства сточных вод (навозный и фекальный запах сменяется затхлым, желтоватый цвет – на серо-желтоватый). При отстаивании и аэрации в сточных водах уменьшается содержание нитратов и калия, в меньшей степени – аммиака и фосфора. В буферных прудах у воды исчезает запах и цвет, резко сокращается содержание в ней фосфора и калия.

Жидкий навоз используют для приготовления торфокомпостных смесей или торфо-навозных компостов. При этом смесь жидкого навоза с торфом выдерживают в буртах в течение 3–4 мес, когда патогенные микроорганизмы гибнут при биотермических процессах. Этот способ применяется в тех районах, где имеются местные запасы торфа. На юге России жидкий навоз можно смешивать с минеральными туками и после высушивания изготавливать гранулированные удобрения.

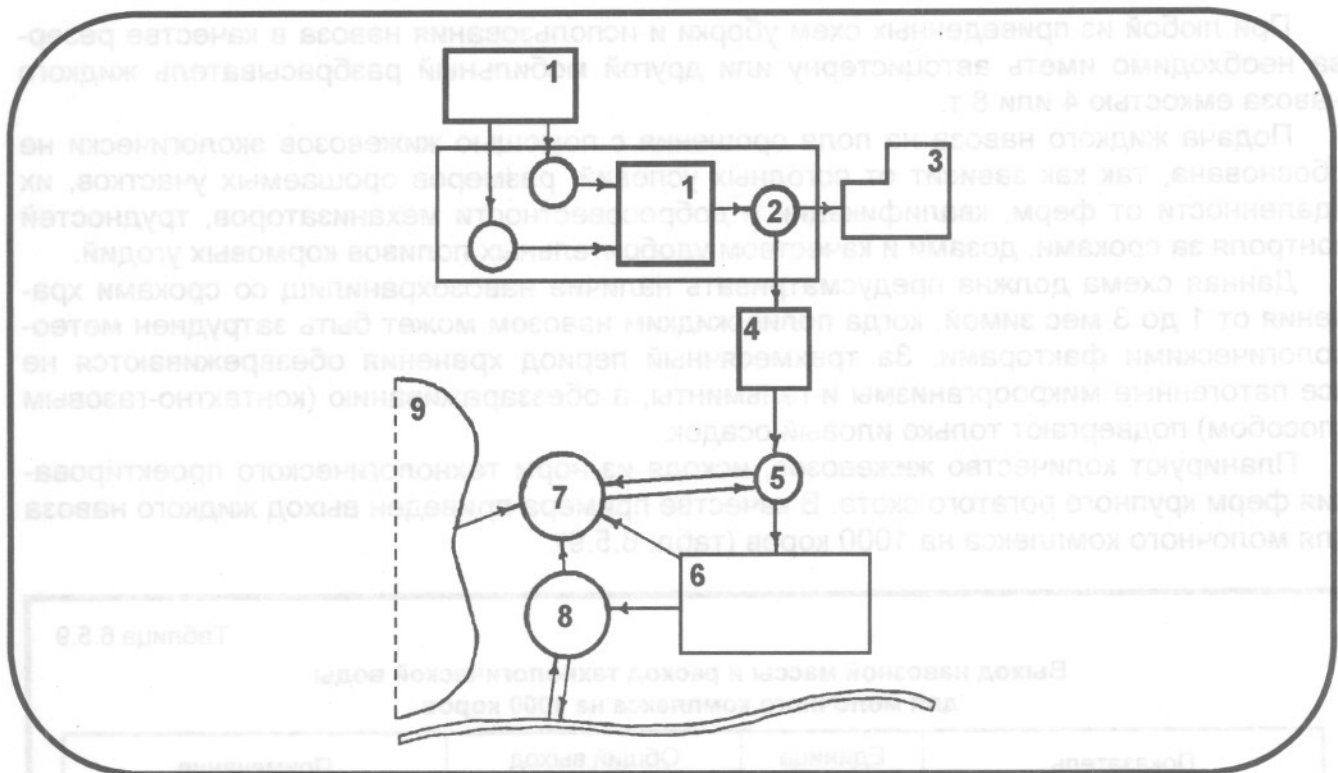


Рис. 6.5.2. Технологическая схема многоступенчатой очистки навозных стоков: 1 – животноводческий комплекс (с установками по обезвреживанию навоза в искусственных условиях); 2 – система очистных сооружений; 3 – завод торфокомпостов; 4 – накопитель осветленных стоков; 5 – смеситель; 6 – сельскохозяйственные поля орошения; 7 – буферный пруд; 8 – рыбоводный пруд; 9 – водохранилище

Наиболее эффективным направлением хозяйственного использования жидкого навоза на животноводческих комплексах молочного направления является его утилизация на полях орошения.

Разработаны различные технологические схемы уборки и использования жидкого навоза (ВИЭСХ и др.). В их числе:

- навоз из-под щелевых полов удаляют самотечно-сплавной системой с выпуском его из поперечного канала в навозосборник (размещают на расстоянии 50 м от фермы), откуда с помощью насоса по трубам он попадает в бродильные камеры для метаногенеза и далее самотеком в навозохранилище: после перемешивания с водой навоз по навозопроводу попадает в емкость, откуда забирается передвижной насосной станцией и передается к переносной разборной дождевальной установке со среднеструйными дождевальными аппаратами;
- навоз подают в навозосборник (по первой схеме), откуда его перекачивают в цех механического обезвоживания; жидкую фракцию самотеком направляют в хранилище, рассчитанное на шестимесячный выход жидкой фракции, откуда ее перекачивают на поле и распределяют переносной разборной дождевальной установкой; плотную фракцию укладывают в штабеля (бурты), расположенные в 100 м от цеха, и после трехмесячного хранения вносят в почву роторными разбрасывателями;
- навоз подают в навозосборник (по первой схеме), перекачивают в навозохранилище для отстаивания 3–4 мес, а затем жидкую часть сливают через шибберные задвижки в жижеборник, перекачивают в поле и вносят дождевальными установками в почву; плотную фракцию подают грейферными погрузчиками в транспортные средства, вывозят на поля и вносят в почву низкорамными разбрасывателями.

При любой из приведенных схем уборки и использования навоза в качестве резерва необходимо иметь автоцистерну или другой мобильный разбрасыватель жидкого навоза емкостью 4 или 8 т.

Подача жидкого навоза на поля орошения с помощью жижевозов экологически не обоснована, так как зависит от погодных условий, размеров орошаемых участков, их удаленности от ферм, квалификации и добросовестности механизаторов, трудностей контроля за сроками, дозами и качеством удобрительных поливов кормовых угодий.

Данная схема должна предусматривать наличие навозохранилищ со сроками хранения от 1 до 3 мес зимой, когда полив жидким навозом может быть затруднен метеорологическими факторами. За трехмесячный период хранения обезвреживаются не все патогенные микроорганизмы и гельминты, а обеззараживанию (контактно-газовым способом) подвергают только иловый осадок.

Планируют количество жижевозов, исходя из норм технологического проектирования ферм крупного рогатого скота. В качестве примера приведен выход жидкого навоза для молочного комплекса на 1000 коров (табл. 6.5.9).

Таблица 6.5.9

**Выход навозной массы и расход технологической воды  
для молочного комплекса на 1000 коров**

Показатель	Единица измерения	Общий выход		Примечание
		сутки	год	
Навоз от всех коров и телят:	т	58,3	22196	коров продуктивных насчитывается 840 голов
в том числе от продуктивных	т	46,2	17862	
Расход воды:	м <sup>3</sup>	2,0	730	площадь – 400 м <sup>2</sup> , норма – 5 л/м <sup>2</sup> площадь – 200 м <sup>2</sup>
смыв навоза с площадей доильного блока, санитарная промывка решеток центрального коридора; мойка доильной аппаратуры;	м <sup>3</sup>	1,0	365	
подмывание вымени;	м <sup>3</sup>	0,8	292	релизеры, молокопроводы, доильные аппараты, шланги 2 раза в сутки по 1 л на голову
смыв навоза в профилактории (72 теленка)	м <sup>3</sup>	2,0	730	
	м <sup>3</sup>	0,43	175	смыв в сборный, а затем в центральный навозный канал
Итого получено жидкого навоза	т (м <sup>3</sup> )	64,53	24488	

Следовательно, согласно рассмотренному примеру на комплексе для 1000 коров ежедневно необходимо утилизировать 65 т (м<sup>3</sup>) навозной жижи (при средней влажности 90–92%), а в год – 24488 т (м<sup>3</sup>).

Последний показатель (годовая масса) используют для определения необходимой площади угодий для распределения годового количества жидкого навоза на основе потребности кормовых культур в азоте. Это, однако, не обеспечивает должной точности расчетов и прогноза развития экологической обстановки на полях орошения.

Для улучшения экологической обстановки и рационального использования природных ресурсов разработаны различные **способы эксплуатации технологических линий**. Так, при гидросмыве применяют рециркуляционный способ, когда навоз из стоил попадает во внутренний самотечный навозопровод, откуда потоком жижи уносится в приемник, где жидкость осветляется и вновь подается для смыва навоза. Такая система нуждается в периодическом добавлении небольшого количества воды.



В чем суть трубно-рециркуляционной уборки навоза? Нарисуйте принципиальную схему, сравните ее с рис. 6.5.3.

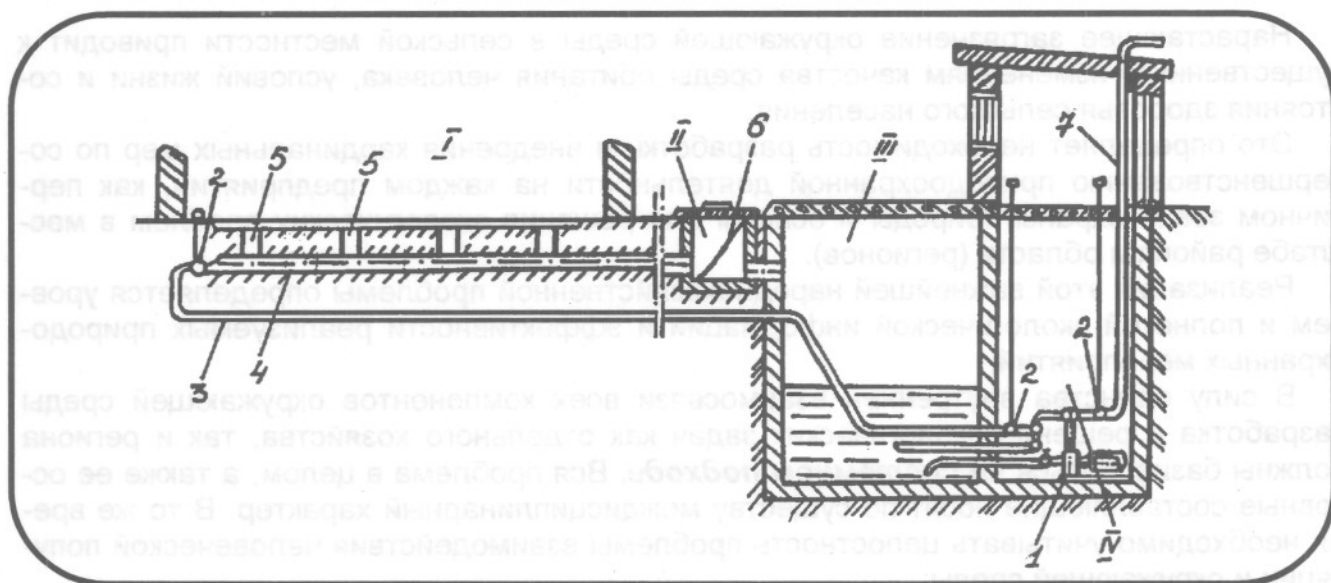


Рис. 6.5.3. Схема трубно-рециркуляционной системы уборки навоза: I – коровник; II – колодец-уловитель; III – жижесборник; IV – насосная станция (1 – насос фекальный, 2 – задвижка, 3 – трубопровод напорный, 4 – трубопровод самотечный, 5 – колодцы, 6 – сетка уловительная, 7 – трубопровод для выгрузки)

**Схема трубно-рециркуляционной системы уборки навоза** (рис. 6.5.3) работает следующим образом. Включает фекальный насос (1) при открытой задвижке в начале самотечного трубопровода (4). Навозная жижа из жижесборника по напорному трубопроводу (3) подается в самотечный трубопровод (4). Навоз, сброшенный через распределительные колодцы (5) в трубопровод (4), вместе с потоком жижи попадает в колодец-уловитель, проходит через сетку (6) и попадает в жижесборник.

При необходимости навозная жижа из жижесборника (при соответствующем положении задвижки (2)) подается с помощью насоса по трубопроводу (7) на выгрузку. Цикл рециркуляции навозной жижи требует ее обеззараживания.

Способы подготовки навозной массы подразделяются на две группы:

- **способы гомогенизации;**
- **способы обезвреживания.**

**Гомогенизацию** (однородность) навозной массы достигают путем тщательного ее перемешивания и измельчения по всему объему жижесборника (мешалки механические, пневматические и гидравлические).

**Обезвреживание** жидкого навоза происходит посредством термофильного метанового сбраживания в метатенках (по схеме ЦЭЛГИ и др.), термической обработки (контактно-газовой) на установке для огневого обезвреживания (конструкции ВИЭСХ), аэробной обработки с применением аэраторов – измельчителей фирмы "Альфа-Лаваль", перемешивающих жидкий навоз с воздухом.

Применение закрытых трубопроводов экологизирует технологию транспортирования подготовленного жидкого навоза на орошение культур, прифермских кормовых угодий.

## 6.6. СИСТЕМА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР В АПК

Нарастающее загрязнение окружающей среды в сельской местности приводит к существенным изменениям качества среды обитания человека, условий жизни и состояния здоровья сельского населения.

Это определяет необходимость разработки и внедрения кардинальных мер по совершенствованию природоохранной деятельности на каждом предприятии, как первичном звене охраны природы и основы для решения экологических проблем в масштабе района и области (регионов).

Реализация этой важнейшей народнохозяйственной проблемы определяется уровнем и полнотой экологической информации и эффективности реализуемых природоохранных мероприятий.

В силу единства внутренней взаимосвязи всех компонентов окружающей среды разработка и решение экологических задач как отдельного хозяйства, так и региона должны базироваться на **системном подходе**. Вся проблема в целом, а также ее основные составляющие носят по существу междисциплинарный характер. В то же время необходимо учитывать целостность проблемы взаимодействия человеческой популяции и окружающей среды.

Решение экологических проблем предприятия (региона) предполагает в связи с этим участие специалистов различных областей знаний (гигиены, экономики, социологии, географии и т.д.), а комплексный системный подход требует применения адекватного методологического аппарата.



|| Что такое экологическая паспортизация и экологический паспорт?

В этих условиях представляется необходимой системная оптимизация природоохранной деятельности сельскохозяйственного предприятия на основе комплексного методического документа – **экологического паспорта**, отражающего состояние окружающей среды, условия жизни, состояние здоровья населения, характеристики и перспективные направления природоохранной деятельности хозяйства.

На основе настоящего паспорта впервые представляется возможным с позиций системного подхода освещение всего комплекса экологических характеристик сельскохозяйственного предприятия:

- территории;
- расселения и размещения производительных сил;
- природно-климатических условий;
- здоровья населения;
- состояния атмосферного воздуха, почвы, водных ресурсов, физических факторов;
- социальной инфраструктуры;



- природоохранных фондов;
- управления охранной природы;
- экологических приоритетов;
- первоочередных оздоровительных мероприятий.

Экологическая паспортизация предприятия предусматривает наряду с получением экологических характеристик установление взаимосвязей, компонентов в комплексной системе

"сельскохозяйственное предприятие – окружающая среда – человек".

Системная модель "Экология села" показывает, что основными подсистемами являются: "производственная сфера", "социальная сфера" и "природный потенциал". Входными элементами (и одновременно выходными) системы являются:

- окружающая (природная) среда;
- условия жизни населения, испытывающего на себе влияние производственной и социальной деятельности человека (подсистемы).

Экологическая паспортизация сельскохозяйственного предприятия предусматривает получение конкретных количественных характеристик этих входных (выходных) элементов системы:

- ▶ атмосферного воздуха;
- ▶ водных ресурсов;
- ▶ почвы;
- ▶ растительного (животного) мира;
- ▶ жилой и социальной среды.

Одной из существенных задач, решаемых в процессе паспортизации сельскохозяйственного предприятия, является установление "экологических приоритетов" (проблемных ситуаций), то есть основы для разработки первоочередных оздоровительных мероприятий.

**Конечной целью экологической паспортизации** является достижение устойчивого состояния всей системы путем обоснования и разработки "пределов допустимых воздействий" и "оздоровительных мероприятий" (то есть регулирующих ограничений) по экологическим приоритетам факторов данного сельскохозяйственного предприятия.

Полученные при паспортизации количественные и качественные данные о структуре, плодородии почвы, загрязнении сточных вод, составе выбросов в атмосферу позволяют объективно определить масштабы существующего негативного воздействия предприятия в целом и его отдельных производств на окружающую среду и разработать обоснованный перечень мероприятий, направленных на снижение загрязнения природной среды до необходимых пределов по любому загрязняющему токсиканту, определить реальные сроки и объемы затрат для их реализации.

Эта система платежей стимулирует сельскохозяйственные предприятия разрабатывать мероприятия, обеспечивающие улучшение экологической обстановки на пред-

приятии и, в конечном итоге, в регионе. Разработанные мероприятия записываются в экологическом паспорте сельскохозяйственных предприятий и служат основой мониторинга экологической обстановки на территории (области).

**Экологическая паспортизация** сельскохозяйственных предприятий (в дальнейшем – предприятий) является составной частью деятельности по управлению охраной окружающей среды, направленной на обеспечение выполнения норм и требований, ограничивающих вредное воздействие процессов хозяйственной деятельности и выпускаемой продукции на природу и рациональное использование ее ресурсов, их восстановление и воспроизводство.

**Экологический паспорт** – это нормативно-технический документ, отражающий влияние производственной деятельности предприятия на окружающую среду и его возможности по повышению эффективности природоохранных мер.

Целью разработки экологического паспорта является определение влияния предприятия на окружающую среду и контроль за соблюдением им природоохранных норм и правил в процессе хозяйственной деятельности.

Экологический паспорт разрабатывается за счет средств предприятия, согласовывается (регистрируется) в территориальном органе Минкомприроды РФ и утверждается директором совхоза (председателем колхоза).

**Разработка экологического паспорта осуществляется на основе:**

- данных планово-отчетной документации и оперативного учета производственно-хозяйственной деятельности предприятия;
- действующей нормативно-технической документации, инструктивно-методических и справочных материалов по природоохранной деятельности;
- значений фактических и нормативных выбросов (сбросов) загрязняющих веществ;
- данных замеров (анализов) агрохимлабораторий, СЭС и других контролирующих органов;
- планов мероприятий по охране окружающей среды;
- материалов передового опыта по производству, переработке сельскохозяйственной продукции и охране окружающей среды.

Экологический паспорт не отменяет и не заменяет действующие формы и виды государственной отчетности.

Данные экологического паспорта сельскохозяйственного предприятия являются исходной базой для:

- ▶ разработки и утверждения нормативов платы за использование природных ресурсов;
- ▶ определения размеров платежей за выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в окружающую среду и размещение отходов;
- ▶ определения отчислений в резервный фонд охраны природы;
- ▶ объективной оценки возможностей улучшения природоохранной деятельности предприятия;
- ▶ разработки годовых и перспективных планов по охране природы;
- ▶ определения размеров платы за загрязнение окружающей среды подразделениям предприятия, переходящим на новые внутрихозяйственные формы экономических отношений (хозрасчет, аренда, малые предприятия и др.);
- ▶ решения вопросов по оптимальному размещению производительных сил в регионе;

► составления экологического паспорта административно-территориальных образований (района, области).

Экологический паспорт сельскохозяйственного предприятия состоит из разделов, расположенных в следующей последовательности:

- **Раздел I.** Общие данные по хозяйству. Управление охраной окружающей среды.
- **Раздел II.** Охрана и рациональное использование земельных ресурсов.
- **Раздел III.** Охрана и рациональное использование водных ресурсов.
- **Раздел IV.** Охрана воздушного бассейна.
- **Раздел V.** Характеристика отходов, образующихся в хозяйстве.
- **Раздел VI.** Характеристика санитарно-защитных зон производственных объектов хозяйства.
- **Раздел VII.** Характеристика эколого-экономической деятельности хозяйства.
- **Раздел VIII.** Социальные условия жизни населения.
- **Раздел IX.** Санитарно-гигиенические условия труда и техники безопасности.
- **Раздел X.** Здоровье населения.

Перечисленные данные о хозяйстве отражаются в типовых формах. Заполнение всех форм экологического паспорта обязательно.

Допускается включение в паспорт дополнительной информации по требованию территориальных органов Минкомприроды РФ или (по согласованию с ними) информации, отражающей специфику предприятий (отрасли).

К экологическому паспорту прилагается **пояснительная записка**, содержащая:

- природно-климатическую характеристику района расположения предприятия, включая характеристику климатических условий; отрицательное воздействие природы (солевые потоки, оползни, эрозия, паводки и т.д.);
- сведения об экологической и санитарно-эпидемиологической обстановке в районе расположения предприятия (загрязнения почв, водоемов, грунтовых и подземных вод, воздуха, заболеваемость людей, животных и т.д.);
- перечень выявленных основных источников загрязнения окружающей среды и их характеристика;
- сведения о наличии нарушенных земель, причинах разрушения плодородного слоя;
- условия хранения, способы применения средств химизации; состояние складов для хранения минеральных удобрений; техническое состояние хранения ядохимикатов (оценка возможности совместного хранения различных ядохимикатов; соблюдение нормы единовременного хранения, возможность воздействия на ядохимикаты атмосферных осадков, ветра и его результаты; состояние герметичности тары; возможность свободного доступа к ядохимикатам; наличие ядохимикатов с просроченными сроками хранения, их использование);
- условия хранения навоза на фермах, наличие навозохранилищ, жижесборников, растворных узлов, полей орошения и т.д.;
- систему контроля экологических показателей качества продукции растениеводства и животноводства: наименование и местонахождение контролирующих подразделений; используемые методы контроля и показатели загрязнения и заражения продукции минеральными удобрениями, пестицидами, гельминтами и т.д.; характерные и максимальные значения показателей загрязнения сельскохозяйственной продукции, в том числе по нитратам и нитритам; удельный вес производимой сельскохозяйственной продукции, не удовлетворяющей санитарным нормам и единым нормам общего рынка стран ЕЭС; многолетние тенденции изменения качества сельскохозяйственной продукции (за 5–10 лет); осуществляемые и перспективные мероприятия по снижению загрязнения и заражения сельскохозяйственной продукции;

- перечень водоемов и их краткая характеристика;
- перечень водных объектов, являющихся источниками водоснабжения, объемы водозабора по ним; наличие в природе и состояние водоохраных зон и прибрежной полосы рек, озер, прудов, водохранилищ, нарушение охранного режима; наличие рыбозащитных сооружений на водозаборах из рыбохозяйственных водных объектов и их конструкция;
- перечень водных объектов, являющихся приемниками сточных вод, объемы сброса в них (в том числе без очистки), санитарное состояние;
- наличие разрешения на спецводопользование (когда, кем и на какой срок выдано), случаи самовольного водопользования;
- характеристика разведанных подземных вод; количество скважин (в том числе бездействующих), их санитарное состояние, наличие и размеры зон санитарной охраны каждого источника водозабора;
- данные о водомерных устройствах и их техническом состоянии;
- перечень выпуска сточных вод в водоемы, категория и расход сточных вод по ним; источники, формирующие сток по выпускам; объемы стоков и их качественная характеристика по каждому источнику, режим поступления сточных вод и водные объекты;
- наличие сетей централизованного водоснабжения населения;
- наличие сетей канализации в жилой зоне и на производственных объектах;
- основные источники и причины загрязнения атмосферного воздуха;
- данные о состоянии здоровья населения и их связь с санитарно-гигиеническими условиями труда работающих и экологической обстановкой в населенных пунктах хозяйства;
- характеристика проводимых природоохранных мероприятий и рекомендации по улучшению природоохранной деятельности предприятия.



**Задание 6.6.1.** На основе известной Вам структуры экологического паспорта проведите экологическую паспортизацию любого хозяйства вашего района.

Экологический паспорт для действующего сельскохозяйственного предприятия разрабатывается по состоянию на 01.01 текущего года и заполняется (корректируется) при изменении номенклатуры производимой продукции, технологии ее производства, используемых материалов, внедрении природоохранных мероприятий и т.д. не позднее десяти дней после сдачи годового отчета.

Экологический паспорт, как правило, разрабатывается для предприятия в целом. В отдельных случаях для крупных подразделений предприятия (производство, цеха по переработке сельскохозяйственной продукции) или подразделений, являющихся основными источниками образования (выделения) загрязняющих веществ, могут составляться отдельные экологические паспорта.

Общее руководство по составлению экологического паспорта осуществляет главный агроном хозяйства.

Руководство составлением экологических паспортов подразделений предприятия осуществляют их руководители.

Ответственными исполнителями за разработку (корректировку) разделов экологического паспорта являются главные специалисты хозяйства, назначаемые директором совхоза (правлением колхоза).

Ответственность за достоверность и своевременную корректировку данных экологического паспорта несут, наряду с руководителем предприятия, и главные специалисты.

Экологический паспорт является документом строгой отчетности, хранится на предприятии и в соответствующем территориальном органе Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ.

## Заключение

Сельскохозяйственное производство, представляя собой механизм устойчивого культивирования природных богатств в отличие от других отраслей характеризуется более тесным соединением общественных и природных факторов. По существу возделывание сельскохозяйственных растений и разведение животных – одна из наиболее активных форм взаимодействия человека и природы. Научно-технические достижения, определяя количественные и качественные сдвиги в развитии сельского хозяйства, обуславливают в первую очередь существенные материально-технические преобразования в отрасли. Параллельно интенсифицируется и обратный процесс: рост "давления" на природные комплексы, проявляющийся в:

- ▶ эрозии, засолении и заболачивании почв, уменьшении содержания в них гумуса;
- ▶ гибели полезной микрофлоры;
- ▶ загрязнении почв тяжелыми металлами, остатками пестицидов и примесями удобрений;
- ▶ уничтожении природных местообитаний и обеднения видового состава растений и животных;
- ▶ изменении гидрологического режима территорий;
- ▶ загрязнении компонентов биосферы;
- ▶ нарушении естественного биогеохимического кругооборота веществ;
- ▶ не всегда грамотном использовании естественных биогеоценозов при создании рациональных агроценозов.

В силу ряда объективных и субъективных обстоятельств охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в процессе сельскохозяйственного производства пока еще преимущественно ориентированы на поиск сравнительно частных решений. Между тем необходимо последовательно рассматривать целостную систему природоохранных задач. Принципиально важно располагать научно обоснованным анализом фактически складывающегося воздействия как сельского хозяйства на природные комплексы и их компоненты, так и техногенных факторов на сельское хозяйство; крайне необходимы прогнозы возможного развития соответствующих процессов в будущем, чтобы заблаговременно предусмотреть надлежащие конструктивные решения как в интересах общества, так и природы.

Общая проблема рационального природопользования в АПК характеризуется высокой пространственно-временной изменчивостью функциональных структур и сложностью причинно-следственных связей. Стоит задача с наибольшей эффективностью использовать природный базис сельскохозяйственного производства, обеспечивая в должной мере последовательное восстановление и воспроизводство, устойчивую сбалансированность его (базиса) элементов, свести к минимуму возможные отрицательные последствия антропогенного влияния на агроценозы. Это со всей очевидностью следует как из объективной потребности более полно учитывать природно обусловленные предпосылки формирования и ведения хозяйственной деятельности, так и из тенденции устойчивого усиления антропогенных нагрузок.

**А•Я****СЛОВАРЬ**

**Абиотические факторы среды** – компоненты и явления неживой, неорганической природы (климат, свет, химические элементы и вещества, температура, давление, почва), прямо или косвенно воздействующие на живые организмы.

**Автотрофия** – питание организмов (автотрофов) неорганическими веществами ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , N, P, K, микроэлементы), осуществляемое посредством фотосинтеза или хемосинтеза.

**Агроландшафт** – антропогенный ландшафт, естественная растительность которого на подавляющей части территории заменена агроценозами.

**Антропогенные факторы** – факторы, обязанные своим происхождением деятельности человека.

**Безотходная технология** – технология отдельного производства или промышленного комплекса, направленная на рациональное использование природных ресурсов, обеспечивающая получение продукции без отходов.

**Биоиндикатор** – организм, вид или сообщество, по наличию и состоянию которого можно судить о свойствах среды, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей.

**Биологическое самоочищение** – способность биоценоза нейтрализовать вредное воздействие загрязняющих веществ.

**Буферность почвы** – способность почвы сохранять реакцию среды (pH) при действии кислот и щелочей.

**Видовое разнообразие** (видовое богатство) – многообразие видов в определенной экосистеме.

**Генофонд** – совокупность всех генов данной популяции, группы популяций или вида в целом.

**Лимитирующий фактор** – фактор, который при определенном наборе условий окружающей среды ограничивает какое-либо проявление жизнедеятельности организма.

**Максимально допустимые уровни (МДУ)** (Допустимые остаточные количества) – максимально допустимые уровни содержания токсических веществ (пестицидов в продуктах питания).

**Метаболизм** (обмен веществ) – совокупность процессов биохимических превращений веществ и энергии в живых организмах.

**Мутации** – естественные, возникающие спонтанно или вызванные мутагенами количественные и качественные изменения генотипа, захватывающие его генеративную сферу и обеспечивающие передачу возникшего мутагенного признака последующим поколениям.

**Ниша экологическая** – функциональное место вида в экосистеме, определяемое его биотическим потенциалом и совокупностью факторов внешней среды.

**Нормы использования природных ресурсов экосистем** – определяются величиной (%) среднегодовой полезной продукции за вычетом компенсационного запаса, обеспечивающего поддержание экосистемы в устойчивом состоянии.

**Охрана окружающей среды** – совокупность научных, правовых и технических мероприятий, направленных на рациональное использование, воспроизводство и сохранение природных ресурсов в интересах людей, на обеспечение биологического равновесия в природе и на улучшение качества окружающей среды путем его планового преобразования.

**Персистентность** – способность химических веществ длительно сохранять свои свойства в окружающей среде.

**Равновесие экологическое** – баланс средообразующих компонентов и естественных процессов, приводящий к длительному существованию экосистемы или к ее развитию в ходе сукцессионного процесса.

- 1. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 2. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 3. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 4. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 5. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 6. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 7. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 8. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 9. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 10. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 11. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 12. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 13. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 14. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 15. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 16. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 17. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 18. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 19. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?
- 20. Почему А.Т. Болотов считал, что в природе нет ничего лишнего?

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Где и когда зародились первые экологические знания?
- 2 Почему А.Т.Болотова называют основоположником современной сельскохозяйственной экологии?
- 3 Почему исследования Ч.Дарвина способствовали развитию экологических знаний?
- 4 Каково значение исследований В.И.Вернадского и В.В.Докучаева в развитии экологии?
- 5 Какими особенностями отличаются сообщества?
- 6 Что такое пищевые сети, пищевые цепи, трофические уровни?
- 7 Что собой представляет экосистема?
- 8 В чем заключается правило пирамид?
- 9 Чем отличается биогеоценоз от экосистемы?
- 10 Чем отличаются природные экосистемы от агроэкосистем?
- 11 Какие виды землепользования известны в мировой практике ведения сельского хозяйства?
- 12 Какая классификация факторов существует и чем она обоснована?
- 13 Каков состав почвенно-биотического комплекса?
- 14 Какова структурно-функциональная организация ПБК в различных экологических условиях?
- 15 Какие типы связей и отношений существуют в ПБК?
- 16 Какова роль микроорганизмов в круговороте веществ?
- 17 Каким образом микроорганизмы участвуют в образовании гумусовых веществ?
- 18 Какие виды загрязняющих факторов существуют?
- 19 Какие негативные последствия возникают в агроэкосистемах при их загрязнении?
- 20 В результате каких процессов образуются нитраты в почве?



- 21 Какие негативные последствия могут возникнуть при применении азотных удобрений?
- 22 Чем опасно подкисление почвенного раствора?
- 23 Какие негативные последствия могут возникнуть при использовании средств защиты растений?
- 24 Каковы перспективы использования биологического метода защиты растений?
- 25 Какие экологические последствия возникают при орошении?
- 26 Какие экологические последствия могут возникнуть при осушении?
- 27 Какое воздействие на окружающую среду оказывает сельскохозяйственная техника?
- 28 Какие экологические последствия возникают при эксплуатации животноводческих комплексов?
- 29 Что такое экологическая паспортизация и экологический паспорт?

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ЧТО ВЫ БУДЕТЕ ИЗУЧАТЬ .....	3
ЦЕЛИ МОДУЛЯ .....	3
ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ МОДУЛЯ ВЫ СМОЖЕТЕ .....	4
ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	4
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	4
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА .....	4
6.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИИ, СВЯЗЬ ЕЕ С ДРУГИМИ НАУКАМИ .....	5
6.2. ПРИРОДНАЯ СРЕДА, БИОГЕОЦЕНОЗ, АГРОЭКОСИСТЕМЫ .....	14
6.2.1. Природная среда .....	14
6.2.2. Биогеоценоз .....	15
6.2.3. Агроэкосистемы .....	25
6.3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ .....	32
6.4. ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНИРОВА- НИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ .....	38
6.5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА .....	47
6.5.1. Функционирование агроэкосистем в условиях техногенеза .....	47
6.5.2. Экологические проблемы химизации .....	53
6.5.3. Экологические проблемы мелиорации .....	71
6.5.4. Экологические проблемы механизации .....	80
6.5.5. Экологические проблемы животноводства .....	85
6.6. СИСТЕМА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР В АПК .....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
СЛОВАРЬ .....	98
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	100



Учебное пособие  
(интерактивная форма)

**АГРОЭКОЛОГИЯ**

**Владимир Александрович Черников**

**Сельскохозяйственная экология**

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 *Р.Г.Цветницкая*. Технический редактор *С.М.Ткачук*.

Художник *В.М.Рудакова*. Корректор *В.И.Дубровина*.

Компьютерная верстка *С.Б.Грунина*.

Подписано в печать 27.11.2000 г. Формат 60x90/8. Гарнитура Arial.

Уч.-изд.л. 8,2. Усл. печ. л. 13,0.

Отпечатано в ЗАО  
«Академический печатный дом»  
Тираж 500 экз. Заказ № 3 .