

**Оценка степени загрязнения  
почв и экологического  
неблагополучия  
агроэкосистемы**

# Классификация антропогенных факторов воздействия на агроэкосистемы



# Позитивные факторы воздействия

## Природные факторы

- агроклиматические и микроклиматические ресурсы
- структура почвенного покрова
- физические режимы: тепловой водный воздушный
- химические режимы
- биологические режимы

## Антропогенные факторы

- совершенствование размещения сельского хозяйства
- географическое размещение культур (в т.ч. учет топографии)
- совершенствование структуры агрофитоценоза
- видовое разнообразие возделываемых культур
- совершенствование сортового состава культур-доминантов, в т.ч. полиплоидные и гетерозисные формы
- ограничение численности популяций сорняков
- агротехника
- мелиорация: физическая  
химическая  
биологическая

**полиплоиды** лучше приспособлены к сухим местам или более низким температурам, лучше приспособлены к особым типам почв, могут заселять места с экстремальными условиями могут быть получены искусственно с существования.

**Гетерозис** — увеличение жизнеспособности

**гибридов** вследствие унаследования определённого

набора **аллелей** различных **генов** от своих

# Негативные факторы воздействия

## Природные

- плохая дренированность территории
- засоленность пород, почв
- солонцеватость почв
- близкий уровень грунтовых вод
- высокая минерализация грунтовых вод
- слитизация
- дефляция и эрозия

## Антропогенные

- нерациональное землепользование
- кислые дожди
- химическое и радиоактивное загрязнение
- неблагоприятная агротехника и мелiorация: физическая  
химическая  
биологическая

**Предельно допустимая нагрузка** - это совокупность внутреннего и внешнего воздействий, которая либо не меняет качество окружающей среды, либо меняет его в допустимых пределах.

Единого показателя допустимой нагрузки на агроэкосистему в настоящее время нет, что объясняется огромным разнообразием антропогенных факторов, действующих на компоненты реальной агроэкосистемы.

Поэтому в настоящее время для каждого типа воздействия устанавливаются свои требования и ограничения.

**Антропогенная нагрузка на экосистемы в значительной степени связана с *сельскохозяйственной деятельностью.***

Интенсивная обработка почвы, отчуждение питательных веществ с урожаем, загрязнение почв средствами химизации и отходами животноводства, негативные последствия орошения и осушения, дегумификация и эрозия почв – важнейшие факторы, непосредственно влияющие на состояние земель огромных территорий.

***В сочетании с воздействием промышленности и транспорта на биосферу и ее компоненты*** это приводит к разрушению природных ландшафтов, замене устойчивых эко(гео)систем на агроэкосистемы, а также к изменению функционирования сохранившихся экосистем.

Таким образом, ***отрицательное воздействие сельского хозяйства на биосферу стало***

Среди основных контролируемых параметров **КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА** следует назвать

1. Химический состав почв и
2. Биологическую активность почв как совокупный показатель экологического благополучия системы.

Одним из признаков деградированных почв является **уменьшение запасов общего азота, фосфора и калия.**

**Кроме определения валовых запасов азота, фосфора и калия,** дополнительным показателем при оценке экологического состояния почв может служить содержание в почве **подвижных (доступных растениям) форм элементов питания**

**В качестве критерия изменения экологического состояния почвы может быть использовано *отношение исходного содержания элемента в почве к конечному.***

**Именно *этот принцип*, вполне адекватно отражает изменение ситуации во времени, *положен в основу методики расчета степени деградации почвы* под влиянием различных антропогенных факторов.**

Полученный результат сравнивается со шкалой, приведенной в таблице, и на основании сравнения почве может быть присвоен балл деградации по 5-балльной шкале.

### Критерии для оценки степени деградации почвы

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Содержание биогенных элементов, кратность снижения	<1,2	1,2-1,5	1,6-2,0	2,1-5,0	>5,0

# Загрязнение тяжелыми металлами

**Загрязнение природных сред тяжелыми металлами** в настоящее время является одним из наиболее распространенных следствий техногенного воздействия человека на естественные и искусственные экосистемы.

К данному классу загрязнителей условно относят элементы, имеющие атомную массу, превышающую 50 а.е.м. Он включает в себя такие элементы, как *Hg, Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Mn, Mo* и некоторые другие.

Следует отметить, что большинство из этих элементов при содержании в небольших количествах необходимы растительным и животным организмам и рассматриваются как “микроэлементы”.

Токсичные металлы действуют на почву **как прямо, так и опосредованно**, путем вмешательства в биологические циклы. Больше всего имеется данных о воздействии избытка тяжелых металлов на почвенные микробоценозы и их функционирование. При этом могут подвергнуться изменению: 1) структура микробного сообщества, 2) состав – показатель видового разнообразия, 3) общая биомасса.

Помимо косвенного воздействия на почвенные характеристики, тяжелые металлы оказывают и **прямое воздействие**. Имеются данные о консервации органического вещества в загрязненных почвах, что связано с ограниченной доступностью комплексов тяжелых металлов с гумусовыми кислотами для минерализации микроорганизмами.

**Эффекты избирательной токсичности для человека некоторых загрязняющих элементов (OECD, Paris, 1991)**

Элемент	Заболевания
Мышьяк	Рак легких, кожные болезни, изъязвление, гематологические эффекты, анемия
Бериллий	Дерматиты, воспаление слизистых оболочек
Кадмий	Острые и хронические респираторные заболевания, почечная дисфункция, злокачественные образования
Хром	Рак легких, злокачественные образования желудочно-кишечного тракта, дерматиты
Свинец	Нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, неврологические эффекты
Ртуть	Воздействие на нервную систему, нарушение краткосрочной памяти, нарушение координации, почечная недостаточность
Никель	Респираторные заболевания, астма, поражение плода, уродства
Ванадий	Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменение формулы крови

### Классы загрязняющих веществ (ГОСТ 17.4.1.0283)

Класс	Степень опасности	Элементы, вещества
1	Высокоопасные	As, Cd, Hg, Se, Pb, F, Zn, бенз(а)пирен
2	Умеренноопасные	B, Cu, Ni, Mo, Co, Sb, Cr
3	Малоопасные	Ba, Mn, V, W, Sr, ацетофенон

# Санитарно-гигиеническое нормирование:

норма – такое состояние окружающей среды, которое не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека

Санитарно-гигиеническое нормирование применяется для характеристики окружающей среды в целях предотвращения его **отрицательного влияния на здоровье человека**. Это пример **антропоцентрической направленности** в оценке качества окружающей среды.

Санитарно-гигиеническим критерием качества служат **ПДК** - предельно-допустимые количества химических веществ в объектах окружающей среды.

**Нормирование содержания вредных веществ в почве предполагает установление таких концентраций, при которых содержание вредных в контактирующих средах не превышает ПДК для веществ водоема и воздуха, а в выращиваемых культурах - допустимых остаточных количеств.**

на данной почве, а также воды и атмосферного воздуха.

На следующем этапе для ряда химических элементов были разработаны **ОДК**.

**ОДК** – ориентировочно-допустимые количества химических веществ в почвах, различающихся по важнейшим свойствам (кислотности и ГМС).

***ОДК были разработаны не на основе экспериментального метода, а на основе обобщения имеющихся сведений о взаимосвязи между уровнем нагрузки на почвы, состоянием почв и сопредельных сред.***

**Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК)  
тяжелых металлов и мышьяка в почвах  
(общее содержание, мг/кг) (1994)**

Группы почв	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
а) песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
б) кислые суглинистые и глинистые, рН КСl <5,5	40	66	110	5	1,0	65
в) близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl >5,5	80	120	220	10	2,0	130

Превышение значения предельно допустимой концентрации элемента или вещества может рассматриваться в качестве показателя экологического состояния почв, а именно степени их загрязнения или химической деградации. При этом **степень загрязнения почвы определяется как отношение содержания загрязняющего вещества в почве к величине его ПДК.** Величина данного отношения является основанием для присвоения конкретной почве балла деградации по 5-

Критерии для оценки степени химической деградации почвы по степени загрязнения ее тяжелыми металлами

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Степень загрязнения (превышение величины ПДК, кратность)					
I группа токсичности	< 1	1-2,0	2,1-3,0	3,1-5	> 5
II группа токсичности	< 1	1-3,0	3,0-5,0	5,1-10	> 20
III группа токсичности	< 1	1-5,0	5,1-20	21-100	> 100

Для количественной оценки степени загрязнения почв рассчитывается коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ):

$$K_c = K_{\text{общ.}} / K_{\text{фон}}, \quad \text{где} \quad (13)$$

$K_{\text{общ.}}$  - содержание элемента в исследуемой почве;

$K_{\text{фон}}$  - содержание элемента в фоновой почве.

При загрязнении почвы двумя и более элементами, производится расчет суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-i), \quad \text{где} \quad (14)$$

$K_c$  - коэффициенты техногенной концентрации, превышающие 1;

$n$  - число элементов с  $K_c > 1$ .

При этом уровень загрязнения считается низким при  $Z_c$  в пределах 0-16; средним (умеренно опасным), если  $Z_c = 16-32$ ; высоким (опасным), если  $Z_c = 32-128$ ; очень высоким (чрезвычайно опасным), если  $Z_c > 128$ .

При оценке степени загрязнения растительной продукции наиболее распространенным методом также является использование ПДК. Для исследовательских целей, однако, рекомендуется использовать дополнительные показатели.

Один из таких показателей - коэффициент биоаккумуляции ( $K_b$ ):

$$K_b = K_p / K_{\pi}, \quad \text{где} \quad (15)$$

$K_p$  - концентрация элемента в растении;

$K_{\pi}$  - концентрация элемента в почве.

# Биологическая активность ПОЧВ

**Воздействие человека на биологическую активность почв связано со следующими группами веществ и соединений:**

- ***тяжелыми металлами***, попадающими в почву в основном с атмосферными выпадениями в результате деятельности крупных промышленных производств и транспорта;

- ***удобрениями***, действие которых может оказывать негативное влияние за счет применения высоких доз;

- ***пестицидами***, уровень биологического воздействия которых также связан с интенсивностью сельскохозяйственного производства,

- ***нефтью и нефтепродуктами***, загрязняющими почвенный покров в результате аварий,

Тяжелые металлы существенным образом влияют:

- на численность
- и видовой состав почвенных микроорганизмов.

Они ингибируют процессы минерализации и синтеза различных веществ в почвах, подавляют дыхание организмов, могут выступать в качестве мутагенного фактора.

**Экотоксичность большинства тяжелых металлов начинает проявляться в подавлении активности почвенных ферментов:** амилазы, дегидрогеназы, уреазы, каталазы, инвертазы.

При этом было предложено в целях оценки токсичного воздействия металлов использовать индексы, аналогичные широко известному токсикологическому показателю ЛД50, в которых действующей считается доза металла, снижающая активность почвенных ферментов на 25 и 50%.

Были установлены ферменты, наиболее чувствительные к действию металлов.

***Наиболее чувствительной оказалась каталаза.***

***Менее чувствительной к действию металлов была дегидрогеназа и инвертаза.***

Как правило, активность именно этих ферментов используется в качестве индикаторного показателя влияния тяжелых металлов на биологическую активность почв.

На основании имеющихся данных сравнительная токсичность наиболее

Загрязнение почвы тяжелыми металлами способно заметно изменить видовое богатство и структуру микробного сообщества, причем *при увеличении загрязнения более чем в 100 раз от фонового значения это изменение носит **негативный характер***: увеличивается доля микроорганизмов-токсинообразователей, а также эпифитных дрожжей, рассматриваемых как факультативные паразиты растений.

Уровень загрязнения, более чем в 1000 раз превышающий фон, **является уровнем катастрофического воздействия**, при котором наблюдается практически полное подавление активности почвенных микроорганизмов.

## **Использование минеральных удобрений**

- является непременным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

При

этом также резко интенсифицируется деятельность почвенной микробиоты.

Однако чрезмерная активизация почвенной микробиоты может быть и вредной, так как при этом возможны потери минеральных удобрений, ухудшение физико-химических и биологических свойств почвы и другие экологически значимые последствия.

Наиболее очевидно воздействие на почву гидролитически и физиологически кислых удобрений, регулярное применение которых ведет к подкислению почв и, соответственно, к преобразованию и снижению активности микробного комплекса: увеличению количества грибов и уменьшению доли бактерий и актиномицетов.

Так, известно, что грибы способны нормально функционировать при значении рН в почве 3,5-6,0, азотобактер – 6,8, нитрификаторы – 6,0-8,0, денитрификаторы – 7,0-8,0.

# **Воздействие пестицидов на биологическую активность почв**

неоднозначно, в научных исследованиях имеются указания на стимулирующее воздействие отдельных групп химикатов на микробиологические процессы.

В то же время отмечается, что практически всегда имеются группы микроорганизмов, чувствительных к тому или иному пестициду и сокращающих свою численность при его применении.

Это, несомненно, влияет на видовой состав и структуру микробного сообщества.

В целом пестициды угнетают **дыхание**. Было обнаружено, что наиболее чувствительны к пестицидам **фосфатазная и дегидрогеназная активность, процессы нитрификации и разложения органического вещества**. Однако указанные процессы редко изменяются при однократном применении пестицидов.

**Нарушение восстановления биологической активности происходит лишь при регулярном применении токсичных веществ**, что имеет место на сельскохозяйственных угодьях, где практикуется возделывание монокультур: винограда, хлопчатника, картофеля (в основном на индивидуальных садовых участках) и т.д.

# Нефть и нефтепродукты

Действие нефти на биологическую активность почв зависит от ее концентрации.

**При малых дозах нефти** (до 0,7 мл/кг почвы) она оказывает стимулирующее воздействие на почвенную микробиоту, так как она является субстратом для значительной части микроорганизмов и содержит ряд стимуляторов роста.

Однако чаще происходит более концентрированное воздействие в результате аварийных разливов, сопровождающееся острым токсикозом для всех групп микроорганизмов.

**При менее значительном поступлении** нефти (0,7-50 мл/кг) происходит изменение структуры микробного сообщества, причем возрастает доля ранее не встречавшихся или редко встречавшихся видов.

**При большей дозе нефти** происходит резкое снижение показателей биологической активности и разнообразия и, по существу, встречаются лишь отдельные виды организмов, относящихся к микроскопическим грибам.

Поступление нефти или нефтепродуктов в почву имеет **разовый характер** (если не принимать во внимание территории, прилегающие к районам нефтедобычи), что дает возможность микробному сообществу для восстановления.

Как правило, показатели биологической активности при устранении источника нефти практически **полностью восстанавливаются за 1-4 года с момента разлива.**

Оценивая микробиологические свойства почвы, проводят как количественную оценку состава почвенной микрофлоры, так и определение интенсивности протекания в ней различных биохимических процессов.

**Основой определения численности физиологических групп микроорганизмов является применение *элективных питательных сред***, благоприятных для развития определенных микроорганизмов (например, мясо-пептонный, глицериново-пептонный, крахмал-аммиачный и другие формы агара).

Для характеристики биологической активности почвы используют **суммарные (интегральные) методы**, позволяющие оценить интенсивность минерализационных процессов, осуществляемых микроорганизмами.

Они делятся на 2 группы. Одни из них позволяют измерить актуальную, а другие - потенциальную активность.

### **суммарные (интегральные) методы**

```
graph TD; A[суммарные (интегральные) методы] --> B[Методы измерения актуальной биологической активности почв]; A --> C[Методы измерения потенциальной биологической активности почв];
```

**Методы измерения  
актуальной  
биологической  
активности почв**

**Методы измерения  
потенциальной  
биологической активности  
почв**

**Актуальную активность** измеряют в естественных условиях непосредственно в поле или в модельных опытах без внесения в почву какого-либо дополнительного энергоемкого материала.

**Потенциальную активность** определяют в контролируемых условиях лабораторных опытов (температура, влажность, аэрация и др.), добавляя в нее различные вещества, трансформацию которых предполагается исследовать.

Биологическую активность почв определяют с помощью микробиологических и биохимических методов.

## Биологическая активность почв

```
graph TD; A[Биологическая активность почв] --> B[Микробиологические методы]; A --> C[Биохимические методы];
```

Микробиологические  
методы

Биохимические  
методы

К микробиологическим методам относят **прямые методы**, позволяющие определять численность микроорганизмов разных систематических групп, а также **апликационные методы**, по сути являющиеся **косвенными методами** оценки микробиологической активности почв.

Прямой мониторинг почвенного микробного комплекса и его состояния весьма затруднителен.

Поэтому **апликационные методы** имеют исключительно большое значение в экологических исследованиях.

**В группу биохимических методов определения биологической активности почв** включают методы по определению ферментативной активности и методы определения дыхания почв.

Биохимические методы позволяют определять активность ферментов, находящихся преимущественно в адсорбированном состоянии на поверхности почвенных коллоидов и частично в почвенном растворе

Оценка биологической активности почв может производиться с помощью балльной шкалы. Согласно этому методу выделяется **пять градаций** биологической активности: 1) очень слабая; 2) слабая; 3) средняя; 4) высокая; 5) очень высокая.

Каждой градации соответствует определенный диапазон значений по определенному показателю биологической активности.

## Шкала сравнительной оценки биологической активности почвы

(Гапонюк, Малахов, 1985)

Показатель	Активность				
	I оч. слаб.	II слабая	III Средняя	IV Высокая	V оч.высок.
Выделение CO <sub>2</sub> , мг CO <sub>2</sub> /10г/сут	0-5	5-10	10-15	15-25	>25
Каталаза, O <sub>2</sub> см <sup>3</sup> /г/мин	<1	1-3	3-10	10-30	>30
Дегидрогеназа, мкл H <sub>2</sub> /г/сут	0-3	3-7	7-15	15-22	>22
Фосфатаза, мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10г/ч	0-0,5	0,5-1,5	1,5-5,0	5-15	>15
Уреаза, мг N- NH <sub>3</sub> /10г/сут	<3	3-10	10-30	30-100	>100
Протеаза, мг альбум./10г/ч	0-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	>3,0
Инвертаза, мг глюкозы/г/сут	<5	5-15	15-50	50-150	>150

В практике экологических исследований используют дополнительный показатель, позволяющий оценить воздействие загрязняющих веществ на биологическую активность почв в целом – **период восстановления ее фактического значения до естественного для изучаемой почвы.**

Оценка воздействия загрязняющих веществ на биологическую активность (Гапонюк, Малахов, 1985)

Период восстановления контрольного параметра, дни		Оценка последствий
Лаб. условия	Полевые условия	
<15	<30	Не оказывает влияния
15-30	30-60	Незначительное влияние, но возможны отрицательные последствия
>30	>60	Существенное влияние, возможны серьезные экологические последствия

Наряду с инструментальными методами оценки загрязнения природной среды используется метод *биотестирования*.

***Биотестирование*** - это методический прием, позволяющий в лабораторных условиях выявить токсичность почвы, снега, сточной воды и прочих сред ***по реакции живых организмов - биотестов.***

***В качестве биотестов могут быть использованы животные, растения и микроорганизмы.***

Методы биотестирования позволяют существенно дополнить оценку складывающейся обстановки в экосистеме, проводимой с помощью общепринятых аналитических методов.

**Интегральную оценку влияния поллютантов, действующих в совокупности, можно дать только при использовании тест-организмов.**

В качестве биотестов, как правило, используются растения. Известно, что устойчивость растения к неблагоприятным факторам среды зависит от его возраста, а точнее от фазы индивидуального развития.

Например, **прорастание семян - наиболее уязвимый этап индивидуального развития высших растений, когда наблюдается минимальная устойчивость к неблагоприятным факторам и максимальная чувствительность к их воздействию.**

Основными параметрами, изучаемыми в процессе биотестирования, являются ***всхожесть и энергия прорастания семян.***

Фитотоксичность почвы определяется путем сравнения показателей прорастания семян под действием вытяжки из изучаемой почвы с данными, полученными с незагрязненной почвой.

В качестве критерия фитотоксичности почвы используется кратность снижения контролируемых показателей в опытной почве по сравнению с незагрязненной.

Фитотоксичность ранжируется по 5-

## Критерии для оценки степени деградации почвы по фитотоксичности

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Фитотоксичность почвы, кратность снижения всхожести и энергии прорастания	<1,1	1,1-1,20	1,21-1,4	1,41-2,0	>2,0

# Показатели гумусного состояния

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Запасы гумуса в А+В, % от исходного	<10	10-20	20-40	40-80	>80
Мощность А+В, уменьшение в % от исходного	<3	3-25	25-50	50-75	>75

# Кислотность

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Кислотность (рН), уменьшение в % к средней	<10	10-15	15-20	20-25	>25