

# Тема 1. Экологическая ТОКСИКОЛОГИЯ

Экологической токсикологии – междисциплинарное научное направление, изучающее токсическое действие химических веществ на живые организмы и биоценозы, входящие в состав экосистем: источники поступления вредных веществ, их распространение и превращения в окружающей среде, действие на живые организмы

Современная экотоксикология изучает токсические эффекты не только на организменном, но также - на популяционном и биоценоотическом уровнях. Особое значение придается окружающей среде как активному компоненту, влияющему на проявление токсичности.

Экотоксикология оперирует категориями

- общей экологии: биосфера, экосистема, биоценоз, биотоп и др.;

- общей токсикологии: токсикант, яд, токсичность, токсический эффект и др.;

- собственными терминами: экотоксикант, поллютант, суперэкотоксикант и др.

*Суперэкотоксикант* – токсикант, медленно метаболизируются в организмах, способный мигрировать в окружающей среде и по пищевым цепям, и накапливаются в них.

**Цель экотоксикологии** – обоснование мероприятий по профилактике вредных воздействий химических загрязнителей внешней среды, создание благоприятных условий для жизни и деятельности человека (и экосистем).

**Главные задачи экотоксикологии:**

- оценка опасности для здоровья человека отдельных химических загрязнителей, а также негативных изменений в окружающей среде, вызванных этими загрязнителями;
- оценка опасности загрязнения для экосистемы в целом и для отдельных ее элементов («мишеней»);
- использование полученных данных для уменьшения неблагоприятного воздействия загрязнения, для разработки необходимых мероприятий, направленных на улучшение состояния биосферы и здоровья населения.

## **Основные методы экотоксикологии:**

- изучению механизмов токсического действия, оценка соотношения «доза–эффект»;
- определение (обнаружение и измерение) токсикантов в живых организмах и объектах окружающей среды;
- биотестирование (экспериментальное изучение токсических эффектов на тест-организмах) и биоиндикация (оценка качества окружающей среды по наблюдениям за тест-организмами);
- эколого-эпидемиологические и популяционные исследования;
- мониторинг состояния здоровья людей;
- мониторинг качества окружающей среды.

**Приоритетные загрязняющие вещества** – вещества, имеющие следующие характеристики:

- широкое распространение вещества в окружающих человека микросредах
- уровни воздействия, способные вызвать неблагоприятные изменения в состоянии здоровья населения;
- устойчивость к факторам окружающей среды, накопление в организме, включение в пищевые цепи или природные процессы циркуляции веществ;
- частота и тяжесть неблагоприятных эффектов, наблюдаемых в состоянии здоровья населения при воздействии токсического агента; при этом особенно важны необратимые или длительно протекающие изменения в организме, приводящие к генетическим дефектам, или другие нарушения развития у потомства;
- постоянный характер действия;
- трансформации в окружающей среде или организме человека, приводящее к образованию продуктов, имеющих большую, чем исходное вещество, токсичность для человека;
- большая величина популяции населения, подверженного действию химического вещества (вся популяция, профессиональные контингенты или подгруппы, имеющие повышенную чувствительность к воздействию данного токсиканта).

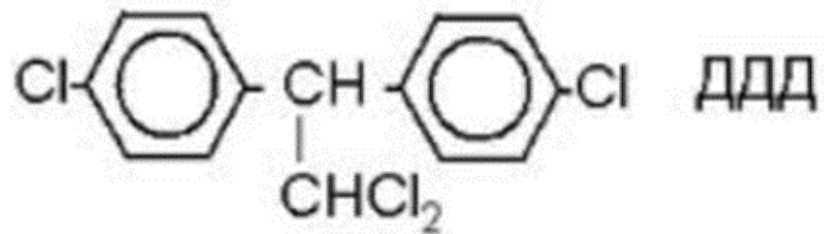
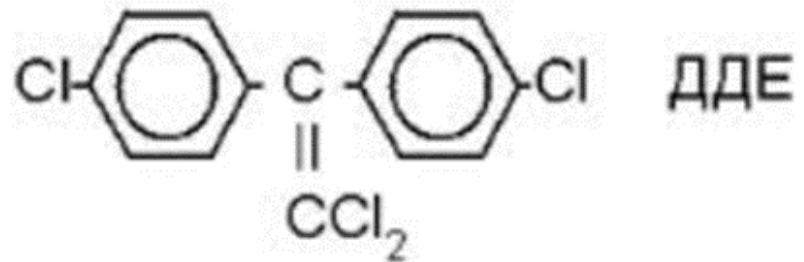
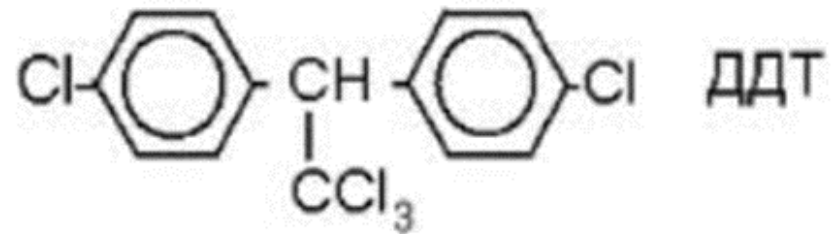
## **Перечень наиболее важных (приоритетных) веществ, загрязняющих биосферу:**

- соединения тяжелых металлов,
- пестициды,
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ),
- хлорорганические соединения,
- нефтепродукты,
- фенолы,
- детергенты (СПАВ).



## Примеры приоритетных экотоксикантов:

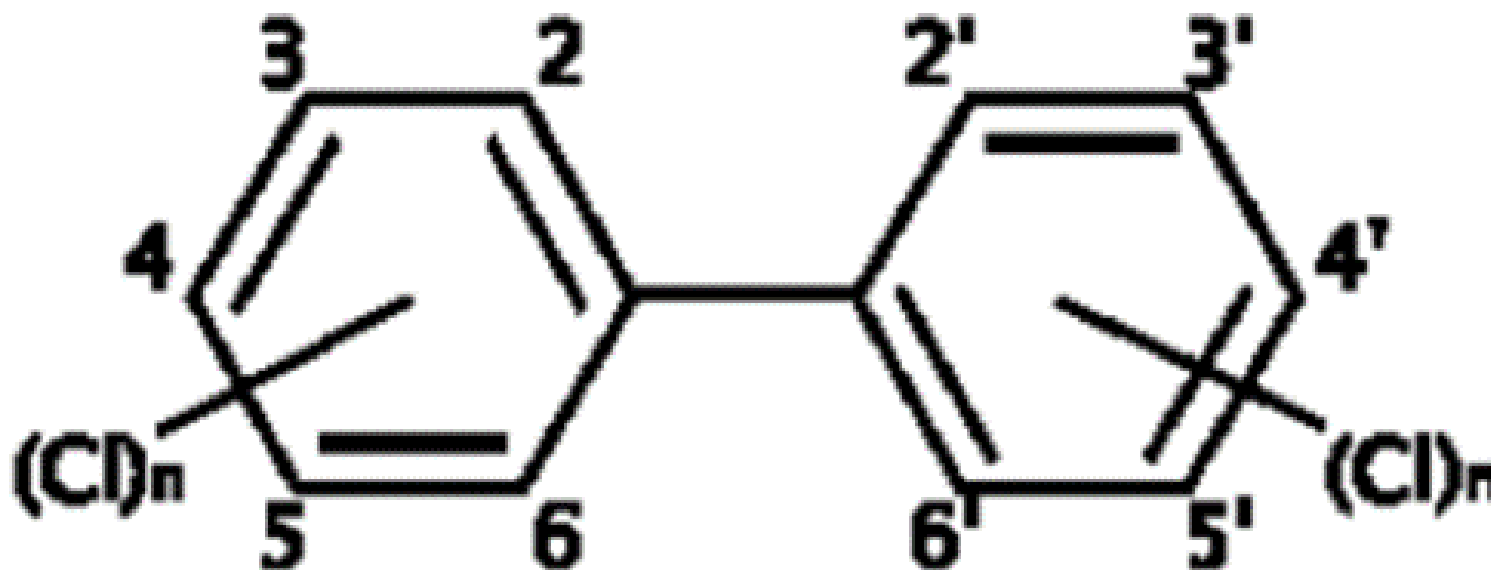
### ДДТ и его метаболиты



## Примеры приоритетных экотоксикантов:

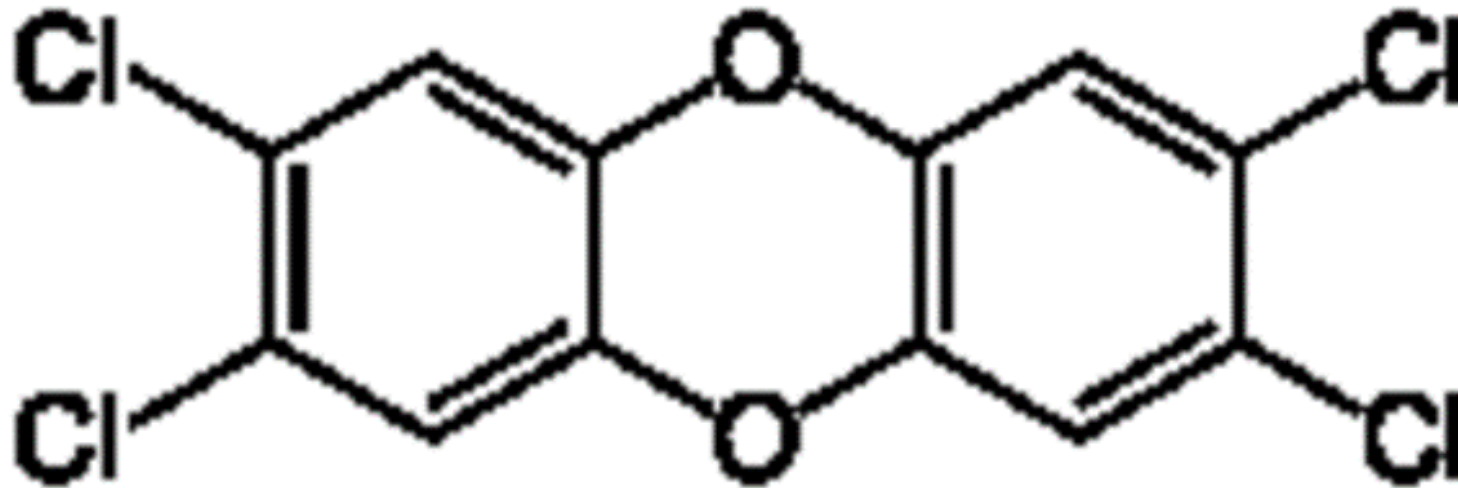
### Полихлорированные бифенилы

(209 индивидуальных соединений)



**Примеры приоритетных экотоксикантов:**

**Диоксины**



Структурная формула 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-диоксина

## **Механизмы разрушения экотоксикантов:**

- фотолиз (например, ПАУ)
- гидролиз (например, фосфорорганические соединениями)
- биотическая трансформация

## **Пути удаления экотоксикантов из сегментов биосферы:**

- испарение (например, хлорорганический инсектицид линдан)
- сорбция и захоронение в донных осадках (например, ДДТ)
- биоаккумуляция (в гидробионтах)

# Токсикометрия

# Количественная оценка острой и хронической экотоксичности

Оценка методом «доза – эффект» по показателю летальности:  
в экспериментах с растениями и животными –  
доза/концентрация, вызывающая гибель 50% подопытной  
группы организмов (обычно за 14 суток);

$$\text{LD}_{50} / \text{LC}_{50}$$

## **Проблемы использования показателей летальности:**

- видоспецифичность; невозможность масштабирования;
- не учитывается состав среды (эффекты синергизма/антагонизма);
- для разработки нормативов качества среды ограниченно пригодны.

**Порог вредного действия (Harmful effect threshold)** – минимальная концентрация (доза) вещества в объекте окружающей среды, при воздействии которой в организме (при конкретных условиях поступления вещества и стандартной статистической группе животных) возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Порог однократного действия обозначается символом **Lim(ac)**, порог хронического действия – символом **Lim(ch)**.



# Нормирование качества окружающей среды

Действующий в настоящее время в Российской Федерации сводный документ:

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН) 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Содержит разделы: по атмосферному воздуху, производственной среде, воде, почве, физическим факторам (освещенности, шуму, микроклимату и др.) в бытовых и рабочих помещениях, на транспорте, и др.

## Проблемы нормирования:

- Разработка нормативов отстает от антропогенного загрязнения биосферы;
- Имеющиеся нормативы не учитывают сложный состав среды и эффекты синергизма/антагонизма;
- Ограниченный набор показателей (проблема «неизвестного/неучтенного фактора»);
- Ограничения, определяющиеся технической оснащенностью контролирующих организаций.

# Биоиндикация и биотестирование

Биоиндикация – определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ.

Два основных вида биоиндикации: активная и пассивная.

Активная индикация = **биотестирование** - установления токсичности среды с помощью тест-объектов – специально отобранных и выращиваемых организмов (или тканей), сигнализирующих об опасности (независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения их жизненно важных функций).

Пассивная биоиндикация = **собственно биоиндикация** – исследование у свободноживущих организмов видимых или незаметных повреждений и отклонений от нормы, являющихся признаками неблагоприятного воздействия.

В биотестировании для характеристики отклика тест-объекта на повреждающее действие среды могут быть использованы различные критерии:

- для инфузорий, ракообразных, моллюсков, рыб, насекомых – выживаемость (смертность) тест-организмов;
- для ракообразных, рыб, моллюсков – плодовитость, появление отклонений в раннем эмбриональном развитии организма, поведенческие реакции;
- для культур одноклеточных водорослей и инфузорий – гибель клеток, изменение численности клеток в культуре, коэффициент деления клеток, суточный прирост культуры, морфология клеток, изменение ферментативной и метаболической активности;
- для растений – энергия прорастания семян, длина первичного корня и др.

Многие методы тестирования стандартизованы, например:

- ИСО 11268-1-2012 Качество почвы – Определение токсичности с помощью земляных червей. Часть 1: Определение острой токсичности к *Eisenia fetida* или *Eisenia andrei*;
- ИСО 7346-2-1996 Качество воды – определение острой летальной токсичности веществ для пресноводной рыбы (*Brachydanio Rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)).
- ГОСТ Р 54496-2011 (ИСО 8692:2004) Вода. Определение токсичности с использованием зеленых пресноводных одноклеточных водорослей.
- ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013 Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum* L.).

# Сравнение с геохимическим фоном. Выявление и оценка техногенных аномалий.

Примеры:

- *Кларк концентрации* (А.И.Перельман):  $K_c = C/C_{\text{фон.}}$ .

- *Показатель относительного накопления* (ПОН) (Алексеенко, 1997):

масса химического элемента (или его соединения), привнесенная в результате антропогенных процессов  $((C - C_{\text{фон.}})/C_{\text{фон.}})$  на единицу площади.

- *Модуль техногенного геохимического давления* (Н.С.Касимов, 2013).

# Некоторые количественные индикаторы загрязнения.

*Фактор обогащения* (Buat-Menard, 1979):

$$EF = Me_{ff}/Me_m,$$

где  $Me_{ff}$  - концентрация металла в тонкой фракции (<62.5  $\mu m$ ), и  $Me_m$  - концентрация металла в глинистом сланце, или фоновая концентрация

*Геохимический индекс* (Müller, 1979)

$I_{geo} - I_{geo} = \log_2(C_n/1.5B_n)$ , где  $C$  – измеренная концентрация металла,  $B$  – геохимическая фоновая концентрация в среднем континентальном сланце.

*Индекс загрязнения* (Nemerow, 1991)

$$PI = \sqrt{\frac{(CF_{av})^2 + (CF_{max})^2}{2}}$$

где  $CF_{av}$  и  $CF_{max}$  - средний и максимальный факторы контаминации.

# Комплексная оценка аномалий.

*Суммарный показатель загрязнения (Ю.Е.Саен, 1982)*

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1)$$

Уровень загрязнения	Z <sub>c</sub> в почве	Z <sub>c</sub> в снеге
Средний, умеренно опасный	16 - 32	64 - 128
Высокий, опасный	32 - 128	128 - 256
Очень высокий, чрезвычайно опасный	> 128	> 256



Недостаток предложенных геохимических методов оценки состояния среды — формальное использование показателей валового состава воды, почвы, донных отложений не учитывает **биологическую доступность** токсичных элементов.

# Пример антагонистического эффекта

(по данным Е.А.Меньшиковой и др., Пермский ун-т)



Слив кислого дренажа из угольного карьера в р. Кизел (Ю.Урал) сопровождается масштабным отложением гидр(оксид)ов железа.

В этих осадках происходит накопление спектра токсичных элементов: Cu, Zn, Co, Ni, As, Sb, Hg.

По расчетам Zс и других показателей (EF, Igeo, PECQ) состояние загрязнения характеризуется от «умеренного» до «чрезвычайного».

Результаты биотестов (*Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda* Breb) показали отсутствию токсичного воздействия.



