Экотоксикология

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ

Экотоксикология (экологическая токсикология) — наука, изучающая эффекты воздействия токсичных веществ на экосистемы и их круговорот в биосфере.

Основная задача: оценка экологического риска (ОЭР) - это процесс определения вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны биогеоценозов (включая популяции человека) в результате изменений различных характеристик среды.

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ

Объект исследований:

- механизмы,
- динамика развития,
- проявления неблагоприятных эффектов действия токсикантов и продуктов их превращения в окружающей среде на живые организмы.

Основные рассматриваемые вопросы:

- характеристика ксенобиотического профиля среды обитания,
- проблемы экотоксикокинетики (судьба поллютантов в окружающей среде),
- экотоксикодинамика (механизмы развития и формы токсического процесса, вызванного действием экотоксикантов на биоценоз и/или отдельные виды, его составляющие),
- экотоксикометрия.

Задачи экотоксикологии

- Исследование распространения и превращения токсикантов в окружающей среде и ее компонентах
- Прогнозирование опасности загрязнения окружающей среды
- Исследование механизмов токсичности веществ
- Разработка критериев оценки вредного воздействия

Задачи экотоксикологии

- Разработка гигиенических основ регламентации поступления экотоксикантов в окружающую среду
- Разработка методов анализа и диагностики экотоксикантов в объектах окружающей среды

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Биодоступность - способность взаимодействовать немеханическим путем с живыми организмами.

Ксенобиотики (xenobiotics) – биодоступные вещества, которые поступая в организм животных и растений, не используются как источники энергии или пластический материал, но, действуя в достаточных дозах и концентрациях, способны существенно модифицировать течение нормальных физиологических процессов.

Ксенобиотический профиль биогеоценоза - совокупность чужеродных веществ, содержащихся в окружающей среде в форме, позволяющей им вступать в физико-химические взаимодействия с биологическими объектами экосистемы.

- ***Естественные ксенобиотические профили (ЕКП)*** - сформировались в ходе эволюционных процессов, миллионы лет протекавших на планете

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Экополлютанты (загрязнители) - химические вещества, накапливающиеся в среде в несвойственных ей количествах и являющиеся причиной изменения ЕКП.

Экотоксикант - экополлютант, накопившийся в среде в количестве, достаточном для инициации токсического процесса в биоценозе (на любом уровне организации живой материи).

Одна из сложнейших практических задач экотоксикологии

- определение количественных параметров, при которых экополлютант трансформируется в экотоксикант.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ, определяющие их опасность для окружающей среды

- **стойкость в окружающей среде,**
  - *устойчивость к химической, биохимической и фотохимической деградации,*
  - *длительный период полуразрушения в окружающей среде,*

- **способность к аккумуляции в живых организмах**

  способность аккумулироваться по пищевой цепи,

- **высокая токсичность**

  токсичность при малых уровнях воздействия (нг - мг·кг$^{-1}$) либо метаболизм до токсичных продуктов,

<u>Дополнительно:</u>

- **способность к трансграничному переносу**

физические свойства, обеспечивающие высокую мобильность в окружающей среде

Персистирование

- **потенциально опасные экотоксиканты** как правило - вещества, устойчивые к процессам разрушения, и длительно персистирующие в окружающей среде

  Основные группы веществ:

  тяжелые Ме: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Hg, As, Cr,сурьма

  полициклические полигалогенированные УВ (полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны, ПХБ),

  некоторые **ХО пестициды** (ДДТ, гексахлоран, алдрин, линдан и т.д.)

- постоянный выброс в окружающую среду ***PTS*** => ***накопление***, превращение в экотоксиканты для наиболее чувствительного звена биосистемы,

- ***PTS*** длительное время сохраняются в среде после прекращения выброса
  - в воде озера Онтарио в 90-е гг. определяли высокие [С] пестицида мирекс
  - в водоемах испытательного полигона ВВС США во Флориде спустя 10 лет после распыления Оранжевого Агента ил содержал 10 - 35 нг/кг ТХДД (при N - 0,1 пкг/кг (США), 10 пкг/кг (РФ).

СТОЙКОСТЬ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

(согласно Стокгольмской конвенции)

- ***$T_{1/2}$ в воде > 2 месяцев***
- ***$T_{1/2}$ в почве и седиментах > 6 месяцев***
- ***$T_{1/2}$ в воздухе > 2 дней***

Примеры:

$T_{1/2}$ в почве ДДТ– 10 лет,
фенантрена – 138 сут,

$T_{1/2}$ в воде атразина - 25 месяцев,
карбофурана – 45 сут

БИОАККУМУЛЯЦИЯ

- процесс накопления токсикантов, извлекаемых из абиотической фазы (воды, почвы, воздуха) и из пищи (трофическая передача).
- отношение концентрации вещества в организме к концентрации вещества в окружающей среде или в предыдущем трофическом звене трофической цепи

Факторы, влияющие на биоаккумуляцию:

- персистирование Ks в среде,
- наибольшая способность - у липофильных веществ,
- склонность липофильных веществ к сорбции на поверхностях частиц, осаждающихся из воды и воздуха ↓ их биодоступность.
- способность веществ метаболизироваться в организме,
- ***наилучшие условия*** для биоаккумуляции - в водной среде:

ПРИМЕР:

для рыб факторы биоаккумуляции равны для ДДТ - 127000, для ТХДД – 39000

(*фактор биоаккумуляции - соотношение концентрации поллютанта в тканях рыб и в воде в состоянии равновесия (Le Blanc, 1995)).

ЗНАЧЕНИЕ БИОАККУМУЛЯЦИИ

- ***лежит в основе*** не только хронических, но ***и отсроченных острых*** токсических эффектов.
- быстрая потеря жира, в котором накоплено большое количество вещества, => к выходу токсиканта в кровь => ***массовая гибель при достижении животными половой зрелости*** в экологически неблагополучных регионах
- стойкие поллютанты могут ***передаваться потомству***
  (у птиц и рыб - с содержимым желточного мешка, у млекопитающих - с молоком кормящей матери).

При этом ***возможно развитие эффектов у потомства, не проявляющихся у родителей.***

Коэффициент биоаккумуляции ДДТ

- Наземные экосистемы
  - Наземные растения 0.1
  - Насекомые 3
  - Черви 70
  - Грызуны 100
- Водные экосистемы
  - планктон 10 000
  - креве Дки 1 000
  - устрицы 10 000
  - рыбы 100 000
  - Птицы – до 10 000 000

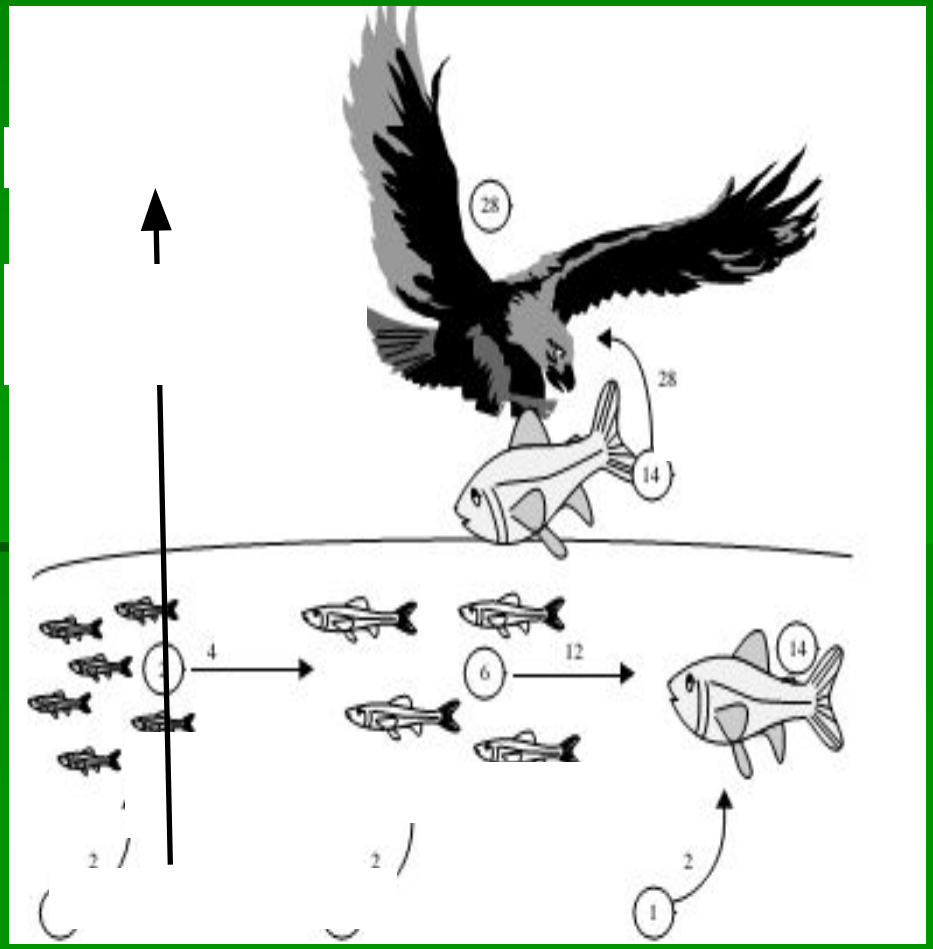
БИОМАГНИФИКАЦИЯ

- перемещение высоко липофильных веществ по пищевым цепям от организмов-жертв, к организмам-консументам, сопровождаемое увеличением концентрации токсиканта в тканях каждого последующего организма - звена пищевой цепи.

Примеры - применение ДДТ:

1. для уничтожения комаров на озере в Калифорнии

2. обработка деревьев для борьбы с вязовым заболонником, поражающим вязы



ПРОЯВЛЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ на различных уровнях организации:

- ***субклеточный уровень:*** биохимические, физиологические и гистологические характеристики (***«биомаркеры»***);
- ***организменный уровень:*** заболевания, гибель, изменение активности,↓ резистентности к др. действующим факторам среды, фертильность, уродства, скорость роста;
- ***популяционный уровень:*** ↑ заболеваемости и смертности, специфичной для определенного периода развития, изменение темпа роста/прироста биомассы, ↓ рождаемости , ↑ числа врожденных дефектов развития, проявляются гибелью популяции, изменением средней продолжительности жизни, культурной деградацией.
- ***экосистемный уровень:*** изменение численности видов вплоть до исчезновения отдельных видов и появления новых, не свойственных данному биоценозу (изменение видовой структуры), продукции, дыхания (функциональный признак).

ОСТРАЯ ЭКОТОКСИЧНОСТЬ

- токсичность в результате краткосрочного воздействия токсиканта

- острые токсические эффекты: ***гибель или острое отравление***

- ***ВОЗНИКАЕТ***, как правило:

  - *вследствие аварий и катастроф*, сопровождающихся выходом в окружающую среду большого количества относительно нестойкого токсиканта:

  - 1984 - авария в г. Бхопал (Индия) - в атмосферу попало большое количество метилизоцианата
  - Ирак - партия зерна, обработанная метилртутью (фуннгицид) использована для выпечки хлеба
  - 2000 г. - в Румынии, на предприятии по добыче драгоценных металлов утечка синильной кислоты
  - использование высокотоксичных веществ с военными целями.

  - *вследствие неправильного применения химикатов*

  - при распылении пестицидов на нецелевых участках

- острое экотоксическое действие ***не всегда приводит к гибели или острым отравлениям*** людей или представителей др. видов, подвергшихся воздействию

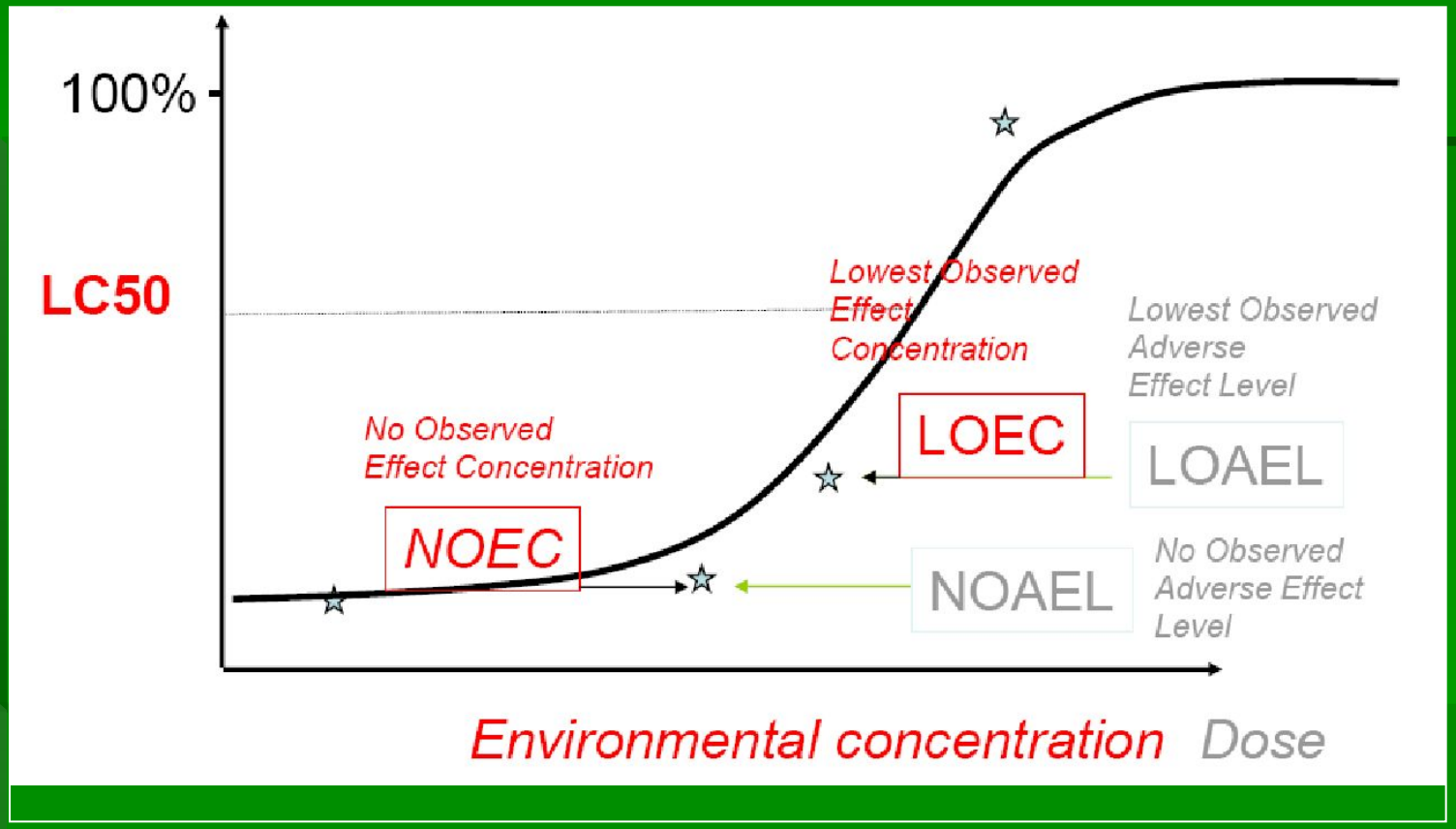
- ***с целью профилактики*** острых отравлений установлены ***предельные сбросы*** для промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод и отходов

ХРОНИЧЕСКАЯ ЭКОТОКСИЧНОСТЬ

- токсичность в результате долгосрочного воздействия токсиканта

- сублетальные эффекты: нарушение репродуктивных функций, иммунные сдвиги, эндокринная патология, пороки развития, аллергизация и т.д.,
- хроническое воздействие может приводить к смертельным исходам среди особей отдельных видов,
- ***проявления*** действия экотоксикантов ***могут быть самыми разнообразными*** и при определенных уровнях интенсивности воздействия оказываются достаточно специфичными для действующего фактора.

ЗАВИСИМОСТЬ «доза-эффект»



- **LC_{50} (EC_{50})** – летальная (эффективная) концентрация для 50% популяции
- **LOEC (LOAEL)** – наименьшая концентрация (доза), при которой отмечается эффект
- **NOEC (NOAEL)** – наибольшая концентрация (доза), при которой не отмечается эффект

Показатели выживаемости при воздействии токсиканта (Метод Беренса)

- LD_{50} – полулетальная доза

Группы острой токсичности Ks для позвоночных животных

LC_{50} для рыб (мг/л)	LD_{50} для птиц и млекопитающих (мг/кг)	Степень токсичности	Пример
более 100	более 5000	**мало токсичные**	барий
10 - 100	500 - 5000	**умеренно токсичные**	кадмий
1 - 10	50 - 500	**токсичные**	дихлорбензол
менее 1	менее 50	**высоко токсичные**	алдрин

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЧНОСТИ

прагматичный выбор

- возможность сравнения различных веществ,
- малое расхождение с естественными условиями,
- недлительные,
- недорогие

экосистемные изменения

изменение состава сообществ

популяционные изменения

ответ на уровне организма

изменения на тканевом уровне (физиологические)

изменения на клеточном уровне

изменения на субклеточном уровне (органеллы)

изменения на молекулярном уровне

Воздействие поллютанта

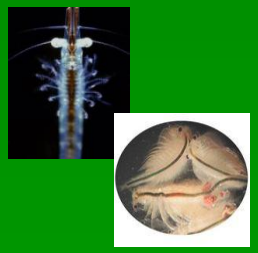
- *возрастает время ответа,*
- *возрастает сложность с привязкой к действию специфических химических веществ,*
- *возрастание экологической значимости*

ТЕСТЫ для ОЦЕНКИ ЭКОТОКСИЧНОСТИ

- ***используют все виды*** классических количественных токсикологических исследований,
- оценка ***экспериментально на нескольких видах -*** представителях различных уровней трофической организации в экосистеме – млекопитающие, птицы, рыбы, беспозвоночные, водоросли

(US EPA - определение острой токсичности min на 8 пресноводных и морских видах (известно 16 тестов)

Батарея тестов из водных тест-организмов



Наземные животные

Оценка хронической экотоксичности

- косвенная величина, указывающая на степень опасности вещества при его хроническом действии, - ***соотношение концентраций, вызывающих острые ($ЛК_{50}$) и хронические (порог токсического действия) эффекты***.

  если соотношение <10 - вещество малоопасное при хроническом воздействии.

Необходимо учитывать:

1. ***Исследования токсичности проводят на животных, пригодных для содержания в условиях лаборатории***

✔ получаемые при этом результаты нельзя рассматривать как абсолютные.

✔ токсиканты могут вызывать хронические эффекты у одних видов, и не вызывать - у др.

2. Взаимодействие токсиканта с биотическими и абиотическими элементами окружающей среды

✔ может существенно сказаться на его токсичности в естественных условиях. Однако это не подлежит изучению в условиях лаборатории.

3. Хотя практически все вещества могут вызывать острые токсические эффекты, ***хроническая токсичность выявляется далеко не у каждого соединения***.

Механизмы экотоксичности

1. ***Прямое действие*** токсикантов, приводящее к ***массовой гибели*** представителей чувствительных видов как сопутствующий негативный эффект применение эффективных пестицидов

2. ***Прямое действие*** ксенобиотика, приводящее ***к развитию аллобиотических состояний и специальных форм*** токсического процесса.

3. ***Эмбриотоксическое*** действие экополлютантов.

4. ***Прямое действие продукта биотрансформации*** поллютанта с необычным эффектом.

5. ***Опосредованное действие*** путем сокращения пищевых ресурсов среды обитания.

6. ***Взрыв численности популяции*** вследствие уничтожения вида-конкурента.

- приведенные механизмы экотоксического действия веществ на животных при иных условиях могут реализоваться и в отношении человека

Формы поражения

- Канцерогенное действие
- Мутагенное
- Тератогенное
- Эмбриотоксическое
- Иммунодепрессивное

Специфическая видовая чувствительность

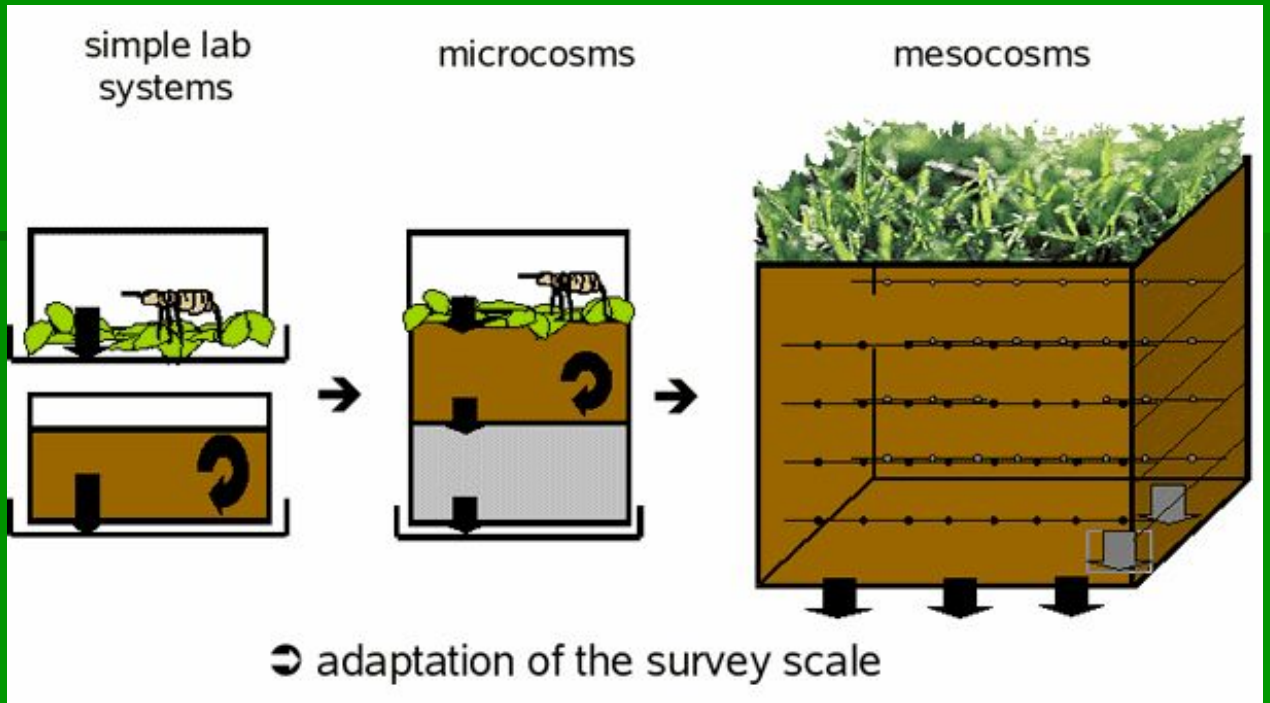
Талидомид

Почвенные лабораторные микрокосмы в экотоксикологии

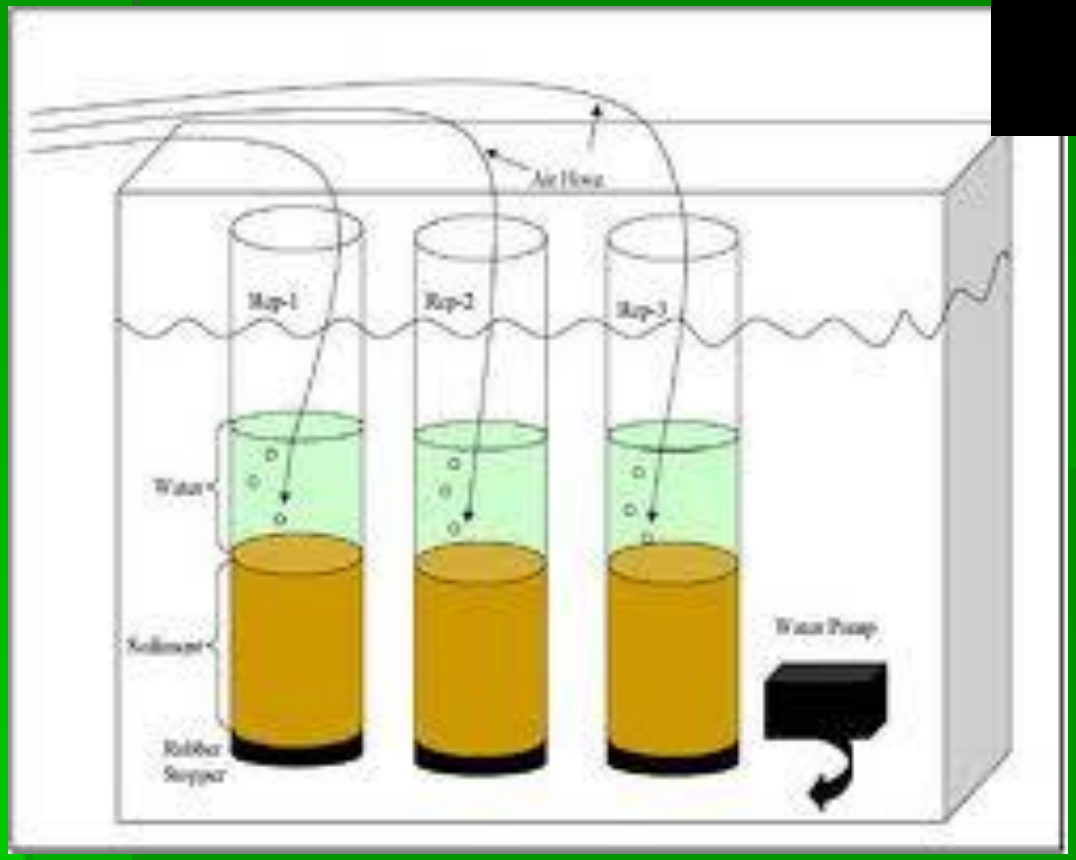
- Микрокосм – небольшая экспериментальная экосистема, создаваемая искусственно или являющаяся частью природной экосистемы, для изучения или моделирования экологических процессов.
- TME – terrestrial model ecosystems

Типы микрокосмов

- Вегетационные сосуды
  - ван Гельмонт
- Пластиковые сосуды
- Интактные монолиты



Микрокосмы



Мезокосмы

Litter bags

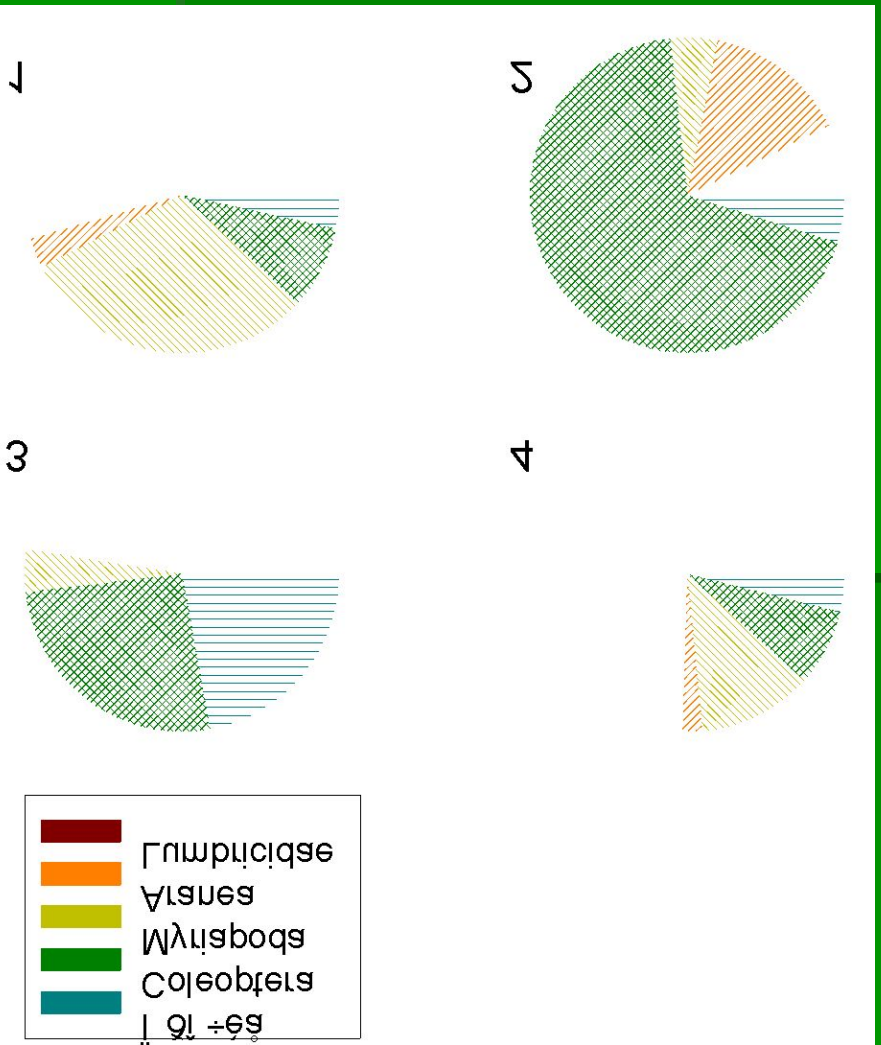
Приманочная пластинка
bait-lamina test

Сообщества почвенных животных при промышленном загрязнении

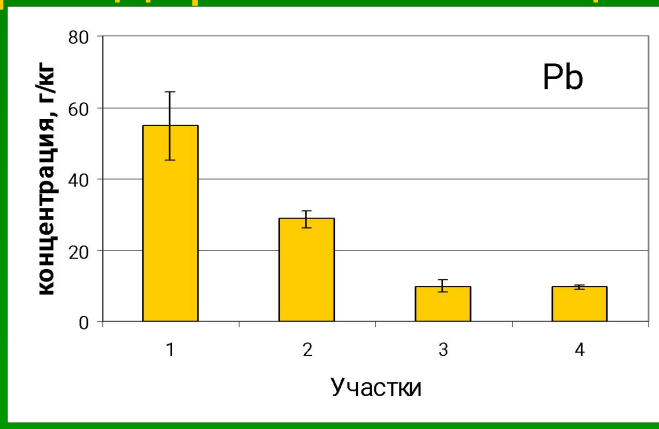
Градиент загрязнения от Косогорского комбината:

#1 – 400 m
#2 – 3 km
#3 – 5 km
#4 – 10 km

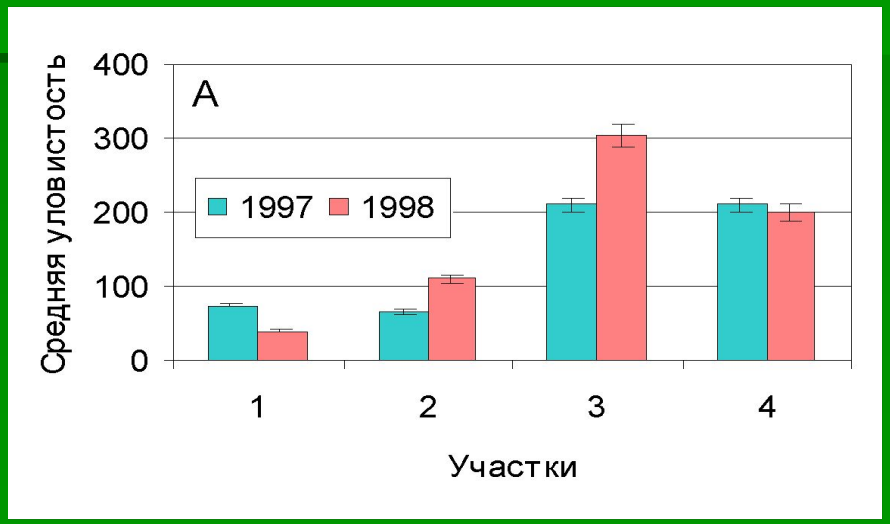
Состав



Содержание свинца

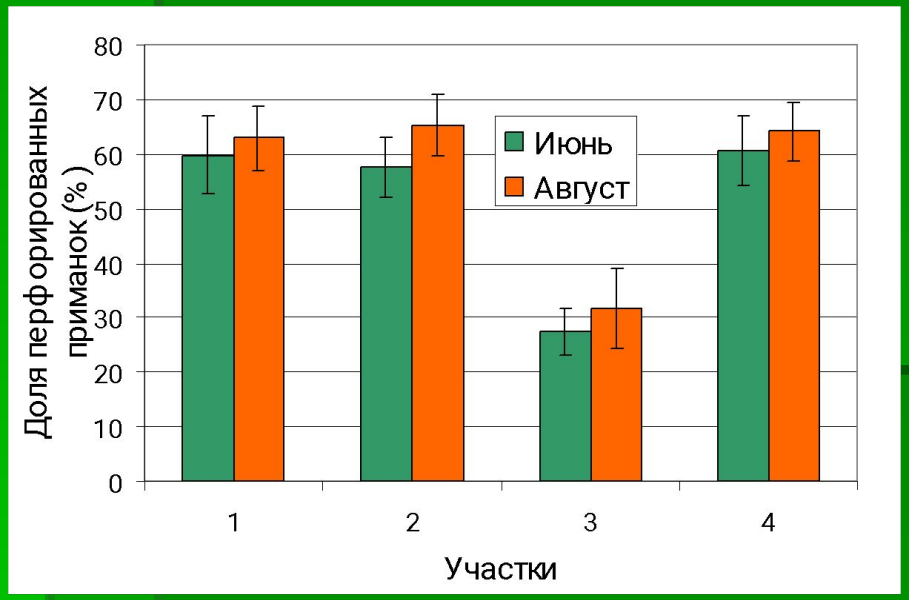


Численность

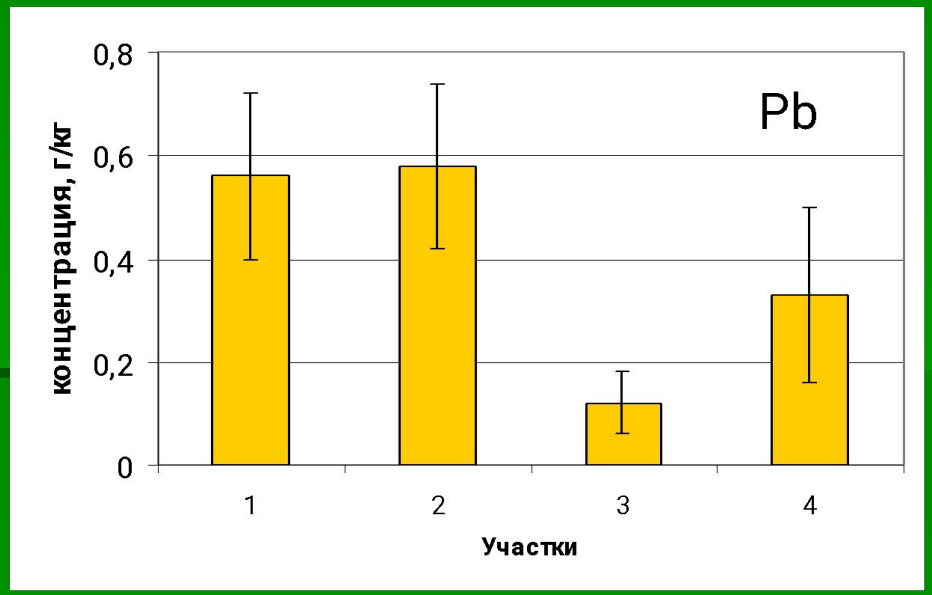


Сообщества почвенных животных при промышленном загрязнении

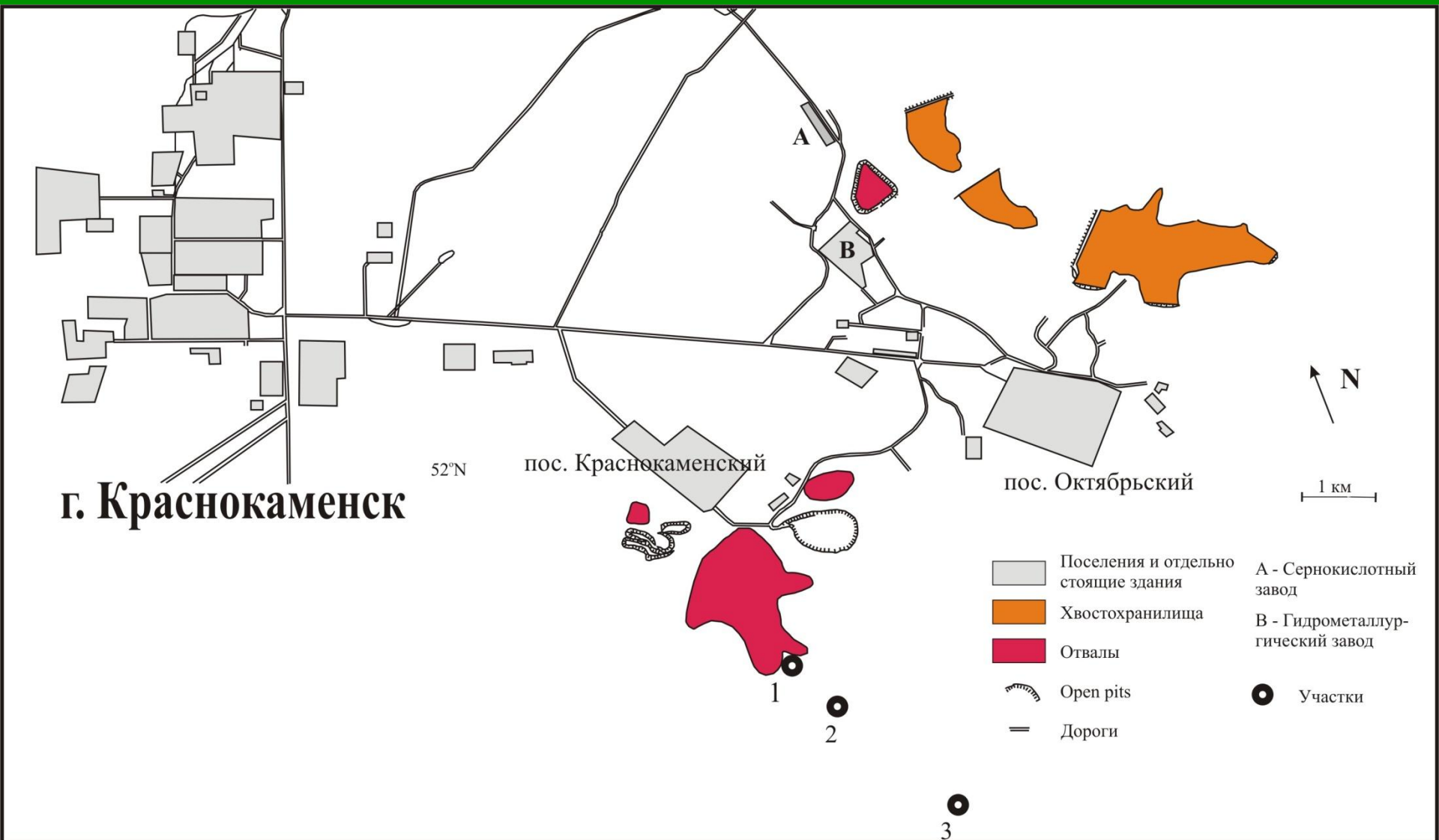
Пищевая активность



Содержание обменного свинца

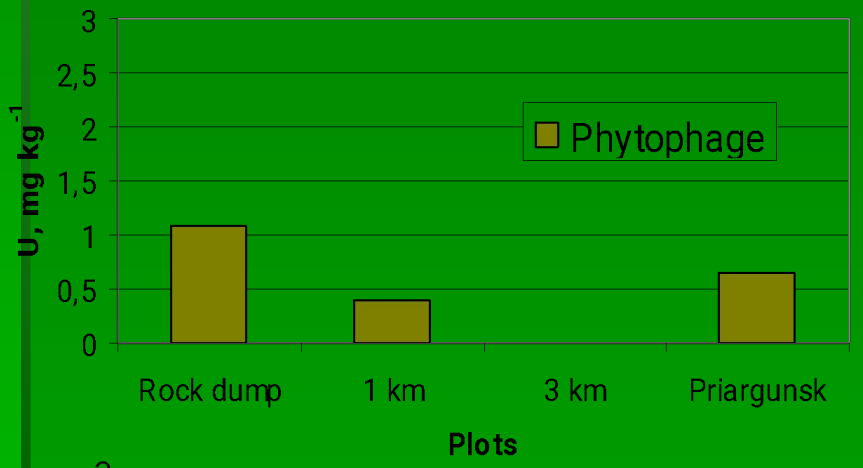


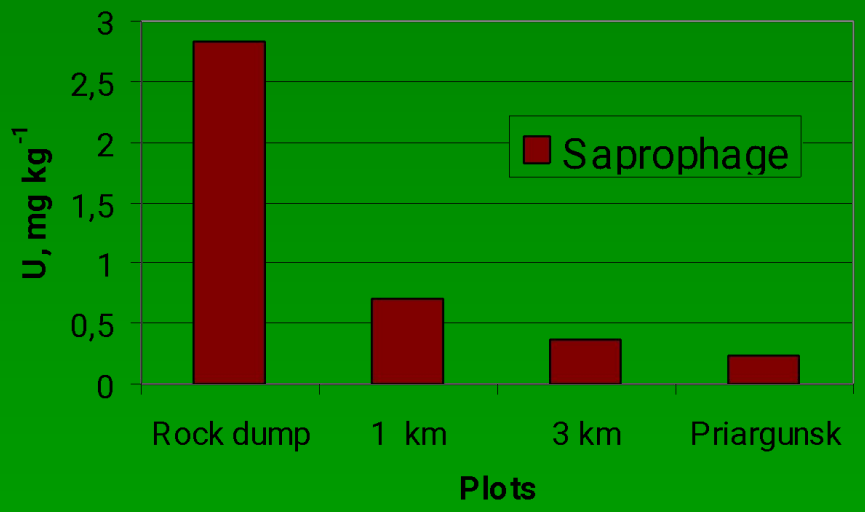
Уран / Краснокаменск

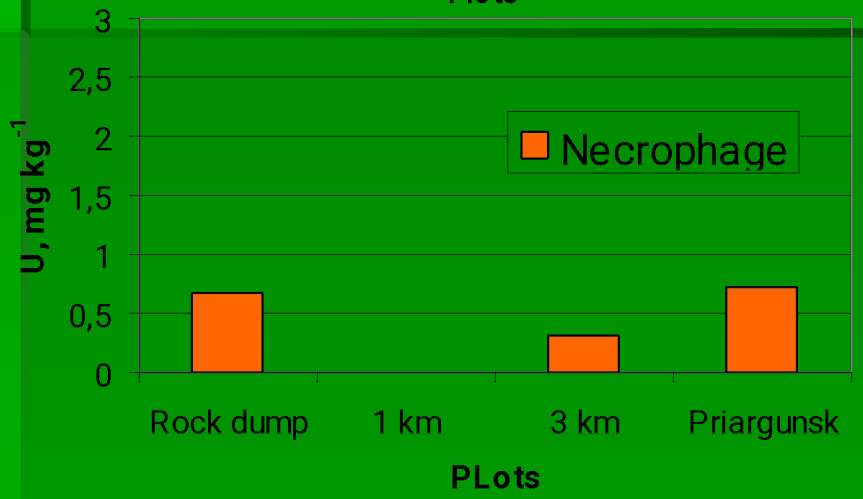


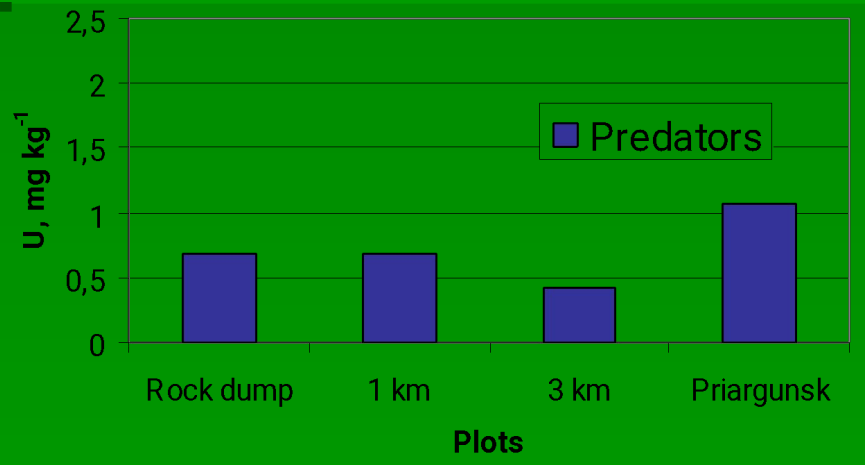
Уран / Краснокаменск

Накопление урана разными трофическими группами насекомых



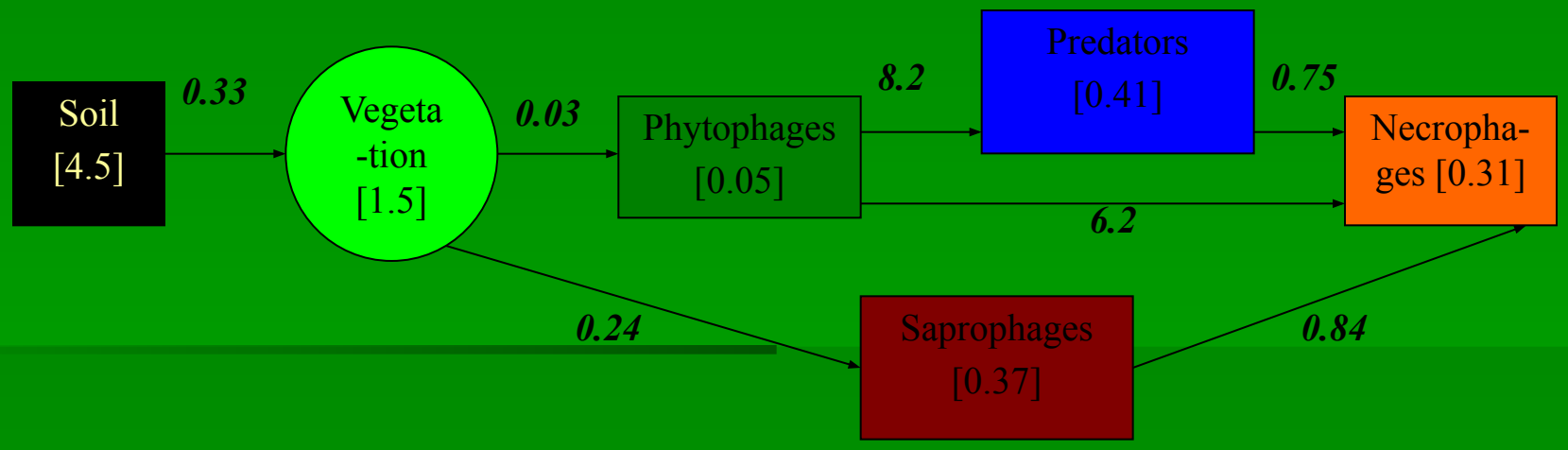






Уран / Краснокаменск

Миграция урана через детритную пищевую цепь (контроль)

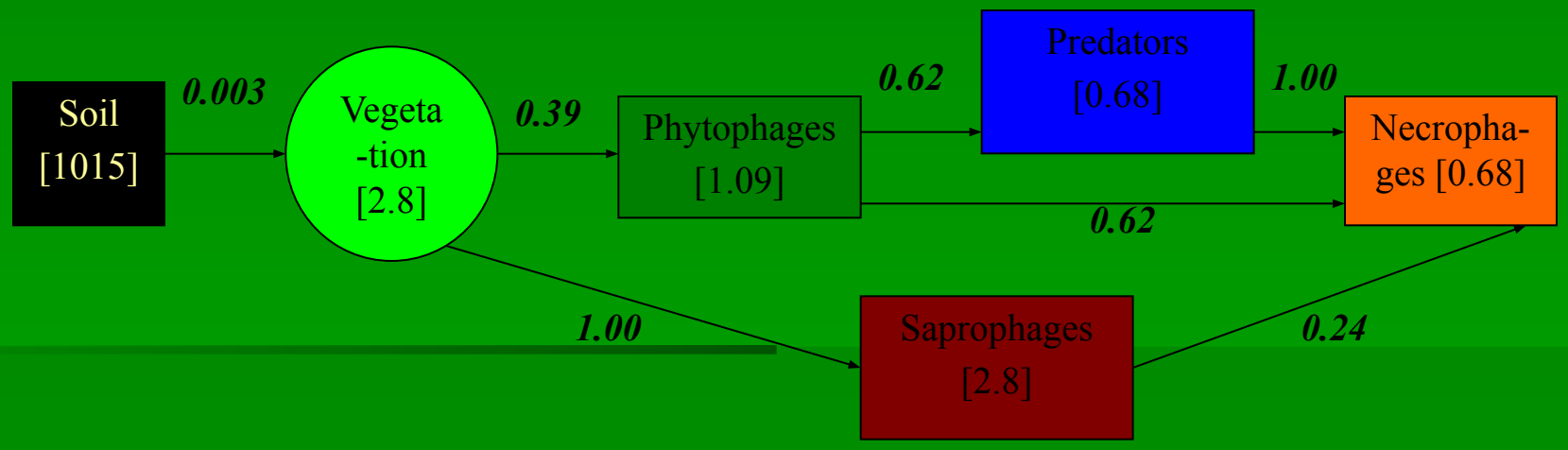


[0] – концентрация U в субстрате, mg kg^{-1}

0 – коэффициент биоаккумуляции

Уран / Краснокаменск

Миграция урана через детритную пищевую цепь (отвал)



[0] – концентрация U в субстрате, mg kg^{-1}

0 – коэффициент биоаккумуляции

Биота как экспертная экологическая система (нерешенные проблемы)

- Недостаточная базовая изученность многих наземных животных (карты ареалов, динамика, сводки фаун)
- Мало многолетних комплексных исследований (размах «фона» не изучен)

Литература

N.M. van Straalen & D. A. Krivolutsky (eds). Bioindicator Systems for Soil Pollution. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. 1996.

Криволуцкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М: Наука. 1994

Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М: Наука. 1999