

## **Раздел 6. Антропогенное загрязнение почв, вод. Экологические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв.**

### **Вопросы к рассмотрению:**

1. Основные виды негативных воздействий на почвенно-биотический комплекс.
2. Антропогенные изменения почв и их экологические последствия.
3. Особенности и принципы нормирования антропогенных нагрузок на почвенный покров.
4. Оценка токсичности тяжёлых металлов в блоке «почва-растение».
5. Комплексные показатели загрязнения почв.
6. Биогенное загрязнение вод в условиях интенсификации аграрного производства.
7. Оценка влияния природно-аграрных систем на миграцию биогенных веществ.
8. Оценка эвтрофного уровня водоёмов.

## **Основные виды негативных воздействий на почвенно-биотический комплекс.**

**Загрязнение окружающей среды** — изменение качества среды, способное **вызвать отрицательные последствия**.

**Загрязнением** (в узком смысле) считается **привнесение** в какую-либо среду **новых**, нехарактерных для нее физических, химических и биологических **агентов** или превышение естественного среднесуточного уровня этих агентов.

С **экологических** позиций загрязнением ОС следует называть любое внесение в ту или иную экосистему **не свойственных** ей живых или неживых компонентов или структурных изменений, прерывающих круговорот веществ, их ассимиляцию, поток энергии, вследствие чего данная экосистема разрушается или снижается ее продуктивность.

Загрязнение может иметь **естественное** и **искусственное** происхождение.

## **Классификация видов загрязнений:**

- 1. Механическое** — загрязнение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий (строительный мусор, бутылки ПЭТ и т.д.).
- 2. Химическое** — изменение химических свойств среды, оказывающих отрицательное воздействие на экосистемы и технологические устройства.

3. **Физическое** — изменение физических параметров среды: температурно-энергетических (тепловое), волновых (световое, шумовое, электромагнитное и т. п.), например:
- Тепловое (термальное) — повышение температуры среды, главным образом в связи с промышленными отходами газов и воды, в меньшей степени — твердыми отходами (металлургические шлаки).
  - Световое — нарушение естественной освещенности местности в результате действия искусственных источников света (это приводит к аномалиям в жизни растений и животных).
  - Шумовое — увеличение интенсивности шума сверх природного уровня.
  - Электромагнитное — изменение электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радио и телевидения, работы некоторых промышленных установок и др.) приводит к глобальным и местным геофизическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах.

4. **Радиационное** — превышение естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ.
5. **Биологическое** — проникание в экосистемы и технологические устройства видов животных и растений, чуждых данным сообществам и устройствам, в том числе:
- Биотическое — распространение, как правило, нежелательных с точки зрения людей биогенных веществ (выделений, мертвых тел и др.) на территории, где они раньше не наблюдались.
  - Микробиологическое —
    - а) увеличение численности популяции микроорганизмов, связанное с их массовым размножением на антропогенных субстратах или в средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека;
    - б) приобретение ранее безвредной формой микроорганизмов патогенных свойств или способности подавлять другие организмы в сообществах.

Перечисленные виды загрязнений **взаимосвязаны** и каждый из них может явиться толчком для возникновения других видов загрязнения: например, химическое загрязнение атмосферы может способствовать повышению вирусной активности, а следовательно, биологическому загрязнению.

Оптимальные для жизни и деятельности человека условия окружающей среды находятся в определенных, относительно узких пределах. Существуют **верхняя и нижняя критические границы параметров окружающей среды**, достижение которых угрожает наступлением необратимых сдвигов в биологической системе и в ее отдельных звеньях.

Например, **тяжелые металлы** в значительных количествах — сильные яды, в малых дозах — необходимы для человека, иначе возникают тяжелые функциональные расстройства; здоровью вреден и **излишний шум**, и **его полное отсутствие**.

**Источники загрязнений** весьма разнообразны: промышленные предприятия, теплоэнергетический комплекс, бытовые отходы, отходы животноводства, транспорта, а также химические вещества, намеренно вводимые человеком в экосистемы для защиты полезных продуцентов, вредителей, болезней, сорняков.

**Воздействие человека** на биосферу сводится к четырем главным формам:

- изменение **структуры земной поверхности** (распашка степей, вырубка лесов, мелиорация, создание искусственных озер и морей и другие изменения режима поверхностных вод);
- изменение **состава биосферы**, круговорота и баланса слагающих ее веществ (изъятие ископаемых, создание отвалов, выброс различных веществ в атмосферу и водные объекты, изменение влагооборота);
- изменение **энергетического баланса** отдельных регионов земного шара и всей планеты;
- изменения, вносимые в **биоту** в результате истребления некоторых видов, создания новых пород животных и сортов растений, перемещения их на новые места обитания.

Различают загрязнители, **разрушаемые** биологическими процессами и **не разрушаемые (стойкие)**. Первые входят в естественные круговороты веществ и поэтому быстро исчезают, подвергаясь разрушению биологическими агентами. Вторые не входят в естественные круговороты веществ, передаются по пищевым цепям и накапливаются.

**Объектами** загрязнения служат основные компоненты экотопа: атмосфера, вода, почва.

**Косвенными объектами** загрязнения являются составляющие биоценоза — растения, животные, микроорганизмы. В конечном итоге объектом загрязнения служит элементарная структурная единица биосферы — биогеоценоз. Изменения, вызванные загрязнением среды, означают изменение режимов различных экологических факторов, отклонение их от требований того или иного организма (звена в пищевой цепи.). При этом нарушаются процессы обмена веществ, снижается интенсивность ассимиляции и продуктивность биогеоценоза в целом.

# Антропогенные изменения почв и их экологические последствия.

Состояние почвы характеризуется температурой, влажностью, физической структурой и химическим составом. Деятельность человека и функционирование растительного и животного мира могут улучшать и ухудшать показатели состояния почвы. Основными процессами воздействия на земельные ресурсы являются:

- безвозвратное изъятие из сельскохозяйственной деятельности;
- временное изъятие; механическое воздействие;
- добавка химических и органических элементов;
- вовлечение в сельскохозяйственную деятельность дополнительных территорий (осушение, орошение, вырубка леса, рекультивация);
- нагревание;
- самовозобновление.

**Безвозвратное изъятие** земли происходит за счет промышленного и гражданского строительства, прокладки дорог, трубопроводов и линий электропередач, создания водохранилищ, открытой разработки полезных ископаемых. Изъятие земли из природного комплекса или ухудшение ее плодородия приводит к уменьшению растительности, загрязнению и ухудшению состава атмосферы.

Процессы, оказывающие снижающее влияние на качественные характеристики земель, делят на:

- природные или стихийные (землетрясения, наводнения, подтопления, бури, ураганы, смерчи, обвалы, оползни, сели, карст и др.);
- техногенные или антропогенные, связанные с человеческой деятельностью (захламление, загрязнение, уничтожение плодородного слоя).

### **Природные процессы.**

Одно из опаснейших явлений природного характера – **землетрясения**. С интенсивностью более семи баллов им подвержено около 20% территории России. К чрезвычайно опасным – восьми-девятой балльной зонам – отнесены свыше 5% территории: Северный Кавказ, Прибайкалье, Якутия, Сахалин, Камчатка и Курильские острова.

**Наводнения** занимают первое место среди стихийных бедствий по повторяемости, затопляемой площади и величине причиняемого ущерба. Общая площадь территорий, подверженных наводнениям, составляет свыше 400 тыс. кв. км. В их числе – около девяти миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий.

**Антропогенное воздействие**, т.е. характер воздействия человеческой деятельности на природную среду, может быть **прямым** и **косвенным**, как **положительным**, так и **отрицательным**. Соотношение этих воздействий зависит от природных условий и интенсивности самого воздействия. Например, умеренный полив культур способствует повышению урожайности, а чрезмерная водонасыщенность может привести к заболачиванию и вымоканию растений.

К **косвенным** относятся воздействия, происходящие в природе под влиянием человеческой деятельности, которые **не были** заранее **предусмотрены и запланированы**. Таких примеров немало. Например, в ответ на химические обработки посевов, проводимые человеком, в мире отмечено появление **более 400 видов** насекомых, у которых сформировалась **устойчивость к ядохимикатам**. Эти воздействия наиболее ярко проявляются в сельскохозяйственном производстве. Современное сельское хозяйство можно рассматривать как мощный двигатель преобразования природной среды, масштабы и направления воздействия которого непрерывно расширяются.

**Земля**, как главное средство сельскохозяйственного производства, существенно **отличается от атмосферы и гидросферы** не только структурой и функциями, но и **чувствительностью** к антропогенным воздействиям. Виды антропогенных воздействий на землю значительно обширнее, чем на другие компоненты биосферы.

По территориальному охвату **экологическую безопасность** использования **земельных ресурсов** можно подразделить на:

- глобальную, охватывающую всю нашу планету;
- национальную, касающуюся экологической безопасности отдельно взятого государства;
- региональную, применительно к тем или иным регионам этих государств;
- локальную, касающуюся отдельных местностей.

**Прямое воздействие на почвенно-биотический комплекс - это:**

- применение тяжелой сельскохозяйственной техники,
- внесение удобрений,
- применение пестицидов.

**Косвенное воздействие – это:**

- мелиорация,
- освоение новых земель,
- животноводческие комплексы.

Все эти виды деятельности **могут оказывать** отрицательное влияние на качество земельных ресурсов как главного средства сельскохозяйственного производства.

Вся совокупность антропогенного воздействия на землю может быть подразделена на две группы:

- воздействие на факторы, функцией которых является земля, без разрушения почвенной субстанции (пространственно);
- воздействие на собственно почвенную субстанцию, почву как базис земли.

Поэтому непрерывный контроль за использованием земли и почвенного покрова является обязательным условием для получения прогнозируемой продукции сельского хозяйства.

Современное сельское хозяйство немыслимо без механизации. Однако при использовании современной техники на полях происходит **уплотнение** почвы на всю глубину почвенного профиля, что в итоге приводит к снижению урожайности и качества продукции.

В результате интенсивного **использования удобрений**, в природной среде **рассеивается** ряд химически активных **элементов**, что приводит к нежелательным химическим реакциям, увеличению масштабов образования вредных веществ, их смыву и **попаданию в водоемы**.

Дополнительные внесения удобрений и пестицидов нередко способствуют загрязнению почв и водных акваторий **тяжелыми металлами и токсичными веществами**, которые аккумулируются и в качестве растительной и животной пищи попадают в организм человека, вызывая тяжелое отравление.

Рост урожайности при одновременном резком снижении необходимых затрат ручного труда обусловлен применением пестицидов. Подсчитано, что один рабочий, занятый в производстве гербицидов, заменяет 100 чел. на ручной прополке сельскохозяйственных культур. К несчастью, несмотря на все выгоды, получаемые при использовании пестицидов, постепенно стали проявляться сопутствующие неблагоприятные факторы, некоторые из них сейчас представляют большую опасность, что можно было предположить. Это обусловлено необычайной токсичностью таких веществ, и наиболее значимые отрицательные факторы связаны с опасными экологическими последствиями применения пестицидов. Многие из этих веществ могут сохраняться в земле месяцами и в течение многих лет. Часть пестицидов, не достигших растений, подхватывается ветром и осаждается в других районах суши или океана, в местах, иногда очень удаленных от зон применения вещества.

После применения пестицидов в сельском хозяйстве значительная их часть вымывается из почвы и попадает в водоемы, накапливаясь в отдельных органах животных, вызывая их гибель. Также, кроме этого, пестициды подавляют биологическую активность почвы, ухудшается качество растениеводческой и животноводческой продукции, что ведет к резкому увеличению заболеваемости. Следует отметить, что химические средства защиты растений (пестициды), играющие важную роль в борьбе с вредителями, болезнями и сорняками сельскохозяйственных культур, применяются уже более столетия.

Учет последствий **мелиорации** (орошение, осушение) является обязательным элементом рационального землепользования. Непредвиденные последствия могут возникнуть вследствие нарушения научно обоснованных методов и норм орошения, через такие воздействия, как засоление, заболачивание, разрушение структуры почв, эрозия. Не менее значительное влияние на ландшафты оказывает другой вид мелиорации – осушение. Строительство осушительных систем на болотах и заболоченных землях вносит коренные изменения в сложившийся природный гидрологический режим и экологические условия не только самих болот, но и прилегающих к ним территорий. Побочные последствия осушения – опасность возникновения ветровой эрозии, перемещение песков и т.п.

Чрезмерное укрупнение контуров пашни приводит к отрицательным экологическим последствиям: ухудшению лесозащищенности территории, уничтожению мест обитания диких животных, понижению уровня грунтовых вод, изменению микроклимата на всей территории, увеличению опасности загрязнения вод и воздуха, возникновению и усилению процессов водной и ветровой эрозии.

В зависимости от интенсивности проявления эрозия наносит различный ущерб. В целом его можно свести к двум видам: **ущерб от смыва и размыва** почвы и **ущерб от аккумуляции продуктов эрозии**.

Первый выражается в снижении плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Расчеты показывают, что совокупные **потери гумуса** в мире могут составлять **до 200 млрд. т** в год, а урожайность на смытых почвах снижается от 10–30% (на слабосмытых) до 50–70% (на сильносмытых).

Второй вид ущерба связан с **загрязнением водных** ресурсов при поступлении питательных веществ в пруды, озера и речную сеть.

Развитие сельскохозяйственного производства сопровождается созданием все большего числа **крупных животноводческих комплексов**. Такие комплексы требуют решения ряда сложных задач по предотвращению загрязнения природной среды. Так вследствие **недостатков** применяемых технологий **утилизации навоза**, значительное количество сточных вод крупных ферм содержат азот, фосфор, которые, накапливаясь, могут оказывать воздействие на экологическое состояние окружающей среды (эвтрофикация водоемов, загрязнение почвы, воздуха и пр.).

Еще одна проблема животноводческих комплексов заключается в **перевыпасе скота**, который приводит к **переуплотнению почв** и служит **причиной эрозии**.

Источники антропогенных воздействий **урбанизации** делятся на:

- промышленные (выбросы в атмосферу, в водоемы и почву);
- транспортные (выхлопные газы, потери горюче-смазочных материалов, пыль);
- бытовые (сточные воды, твердые остатки в населенных пунктах и местах массового отдыха).

Все эти источники **оказывают непосредственное влияние на загрязненность почв** тяжелыми металлами и токсичными веществами, радиоактивными элементами. В дальнейшем это ведет к загрязнению сельскохозяйственной продукции, резкому ухудшению состояния экологических систем, сокращению и исчезновению популяций отдельных видов растений и животных.

Губительное воздействие на качество земель оказывает их **вторичное засоление**. Оно заключается в накоплении в верхних слоях почвы легкорастворимых солей (сода, хлоридов, сульфатов и т.п.). Основная причина вторичного засоления – неумеренный, **бессистемный полив** земель при отсутствии дренажа, нарушение водного баланса фильтрационными водами оросительных систем. Даже **слабое засоление** почв резко снижает урожайность сельскохозяйственных структур, например хлопчатника и пшеницы – на 50–60, кукурузы – на 40–50%.

Значительная доля деградационных процессов в почвах связана с их **опустыниванием**. Оно приводит к потере экосистемой сплошного растительного покрова и невозможности его восстановления без участия человека. Этот процесс протекает главным образом в **аридных районах** под влиянием таких факторов, как сведение лесов, **неумеренная эксплуатация** пастбищ, **нерациональное** использование **водных** ресурсов при орошении и др.

Сокращение площадей продуктивных кормовых угодий наблюдается также вследствие **зарастания их кустарником** и мелколесьем. Соответствующие площади достигают 10 млн. га, три четверти из них – пастбища. Более 2 млн. га приходится на долю **закочкаренных** сенокосов и пастбищ.

Ущерб наносят также **кислотные дожди** – атмосферные осадки, имеющие рН менее 5,6. Явление связано с промышленными выбросами окислов азота и серы в атмосферу, которые, растворяясь в атмосферной влаге, образуют молекулы кислот. В плане развития эрозии кислотные дожди приводят к закислению почв. В начальной стадии этого процесса значительно, в среднем на 20–30%, падает урожайность некоторых сельскохозяйственных культур (хлопчатник, томаты, виноград, цитрусовые и т.д.).

# Особенности и принципы нормирования антропогенных нагрузок на почвенный покров.

Человеческое общество и окружающая природная среда находятся в постоянном взаимодействии. Воздействие человека на природу можно классифицировать различным образом. Например, разделить по **критериям воздействия** на:

- разрушительное, стабилизирующее и конструктивное;
- прямое и косвенное;
- преднамеренное и непреднамеренное;
- длительное и кратковременное;
- статическое и динамическое;
- площадное и точечное;
- глубинное и приповерхностное;
- глобальное, региональное и локальное;
- механическое, физическое, химическое и биологическое и т.д.

Глубина экологических последствий воздействия человека на природу зависит от нескольких переменных: численности населения, стиля жизни и экологического сознания. Эту связь можно описать формулой:

$$\text{Экологические последствия} = \frac{\text{Численность населения} \times \text{Стиль жизни}}{\text{Уровень экологического сознания}}$$

Чем больше численность населения и выше стиль жизни, тем сильнее истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. И, наоборот, чем выше экологическое сознание населения, тем менее выражены эти негативные процессы.

Одним из важнейших путей оптимизации взаимоотношений человека и природы является **нормирование антропогенной нагрузки** на окружающую среду.

Под **качеством окружающей среды** понимают степень соответствия среды жизни человека его потребностям. Окружающей человека средой являются природные условия, условия на рабочем месте и жилищные условия. От ее качества зависит продолжительность жизни, здоровье, уровень заболеваемости населения и т.д.

**Нормирование качества окружающей среды** — установление показателей и пределов, в которых допускается изменение этих показателей (для воздуха, воды, почвы и т.д.).

**Цель нормирования** — установление предельно допустимых норм (***экологических нормативов***) воздействия человека на окружающую среду. Соблюдение экологических нормативов должно обеспечить экологическую безопасность населения, сохранение генетического фонда человека, растений и животных, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов.

**Нормативы** предельно допустимых вредных воздействий, а также методы их определения, **носят временный** характер и могут совершенствоваться по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов.

Основные экологические нормативы качества окружающей среды и воздействия на нее следующие:

### **Нормативы качества (санитарно-гигиенические):**

- предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ;
- предельно допустимый уровень (ПДУ) вредных физических воздействий: радиации, шума, вибрации, магнитных полей и др.

### **Нормативы воздействия (производственно-хозяйственные):**

- предельно допустимый выброс (ПДВ) вредных веществ;
- предельно допустимый сброс (ПДС) вредных веществ.

### **Комплексные нормативы:**

- предельно допустимая экологическая (антропогенная) нагрузка на окружающую среду.

## Санитарно-гигиеническое нормирование

**Предельно допустимая концентрация (количество) (ПДК)** — *количество* загрязняющего **вещества в окружающей среде** (почве, воздухе, воде, продуктах питания), которое при постоянном или временном воздействии на человека **не влияет** на его **здоровье** и не вызывает неблагоприятных последствий у его **потомства**.

ПДК рассчитывают на единицу объема (для воздуха, воды), массы (для почвы, пищевых продуктов) или поверхности (для кожи работающих). ПДК устанавливают на основании комплексных исследований. При ее определении учитывают степень влияния загрязняющих веществ не только на здоровье человека, но и на животных, растения, микроорганизмы, а также на природные сообщества в целом.

В настоящее время в России действуют более 1900 ПДК вредных химических веществ для водоемов, более 500 для атмосферного воздуха и более 130 для почв.

При содержании в природном объекте нескольких загрязняющих веществ учитывают их совместное воздействие. **Сумма их концентраций не должна превышать при расчете единицы:**

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n < 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — фактические концентрации вредных веществ в воздухе, воде, почве, продуктах питания;  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые установлены для их изолированного присутствия.

При нормировании качества **атмосферного воздуха** используют такие показатели как ПДК вредного вещества в воздухе рабочей зоны, ПДК максимально разовую и ПДК среднесуточную.

***Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКрз)***— это максимальная концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

***Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДКмр)*** — это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

***Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДКсс)*** — это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании.

При нормировании качества **воды** используют такие показатели, как ПДК вредных веществ для питьевых вод и рыбохозяйственных водоемов. Также нормируют запах, вкус, цветность, мутность, температуру, жесткость, коли-индекс и другие показатели качества воды.

***Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКв)*** — это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

***Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей (ПДКвр)*** — это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

При нормировании качества **почвы** используют такой показатель, как ПДК вредного вещества в пахотном слое почвы. ***Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы (ПДКп)***— это максимальная концентрация вредного вещества в верхнем слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, плодородие почвы, ее самоочищающую способность, соприкасающиеся с ней среды и не приводящая к накоплению вредных веществ в сельскохозяйственных культурах.

При нормировании качества **продуктов питания** используют такой показатель, как ПДК вредного вещества в продуктах питания. **Предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вредного вещества в продуктах питания (ПДКпр)** — это максимальная концентрация вредного вещества в продуктах питания, которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека.

**Предельно допустимый уровень (ПДУ)** — это максимальный уровень воздействия радиации, шума, вибрации, магнитных полей и иных вредных физических воздействий, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда. ПДУ — это то же, что ПДК, но для физических воздействий.

В тех случаях, когда ПДК или ПДУ не определены и находятся только на стадии разработки, используют такие показатели, как **ОДК** — *ориентировочно допустимая концентрация*, или **ОДУ** — *ориентировочно допустимый уровень*, соответственно.

Необходимо отметить, что существует два подхода к нормированию загрязнения окружающей среды. С одной стороны, можно нормировать содержание загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, с другой стороны, — степень трансформации окружающей среды в результате ее загрязнения. В последнее время все чаще обращают внимание на недостатки первого подхода, в частности, применения ПДК для почв. Однако подход к нормированию качества среды по показателям ее трансформации (например, состояния биоты) практически не развит. По-видимому, лучше использовать оба подхода в сочетании друг с другом.

**Предельно допустимый выброс (ПДВ) или сброс (ПДС)** — это максимальное количество загрязняющих веществ, которое в единицу времени разрешается данному конкретному предприятию выбрасывать в атмосферу или сбрасывать в водоем, не вызывая при этом превышения в них предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и неблагоприятных экологических последствий.

Если в воздухе или воде населенных пунктов, где расположены предприятия, концентрации вредных веществ превышают ПДК, то по объективным причинам значения ПДВ и ПДС не могут быть достигнуты. Для таких предприятий устанавливаются значения *временно согласованных выбросов вредных веществ (ВСВ)* и *временно согласованных сбросов вредных веществ (ВСС)* соответственно и вводится поэтапное снижение показателей выбросов и сбросов вредных веществ до значений, которые обеспечивают соблюдение ПДВ и ПДС.

В настоящее время в **России** на нормативах ПДВ работают лишь 15-20% загрязняющих производств, на ВСВ — 40-50%, а остальные загрязняют среду на основе лимитных выбросов и сбросов, которые определяют по фактическому выбросу на определенном отрезке времени.

Необходимо особо отметить, что нормирование, основанное на ПДК и других нормах и нормативах воздействия на природу, часто бывает неэффективно.

Это связано с рядом объективных и субъективных трудностей в разработке таких норм. Многие развитые зарубежные страны, уже переболели болезнью ПДК, ПДВ и ПДС.

Примеры **субъективных трудностей** разработки и использования ПДК. Некоторые из отечественных ПДК для почвы уже при самом поверхностном анализе оказываются несостоятельными. Так, например, ПДК валового содержания свинца в почве — 32 мг/кг почвы, что меньше его среднего содержания в почве — 35 мг/кг почвы.

Следует отметить, что очень часто проявляющаяся несостоятельность ПДК, заключается не столько в конкретных значениях, сколько в самом подходе к нормированию.

Можно выделить ряд **объективных причин**, создающих непреодолимые препятствия разработки единой ПДК, например, тяжелых металлов (ТМ) в почве:

1. **Полифункциональность почвы.** Почву можно рассматривать как природное тело, компонент экосистемы, среду обитания патогенных микроорганизмов, средство сельскохозяйственного производства и т.д. Во всех случаях ПДК ТМ в почве будет различна.
2. **Гетерогенность почвы.** В отличие от таких сред как вода и воздух, почва отличается значительной неоднородностью состава и свойств в пространстве. Загрязняющие вещества распределяются в почвенном объеме неравномерно, т.е. их концентрация в разных участках почвы неодинакова.

3. **Разнообразие почв.** Разные почвы обладают различной устойчивостью (буферностью) к загрязнению ТМ и, следовательно, изменение свойств в одинаковой степени в разных почвах будет происходить при разной концентрации металла в почве.
4. **Разнообразие химических форм соединений загрязняющих веществ.** ТМ поступают в почву в форме различных соединений, обладающих различной степенью токсичности.
5. **Явления синергизма и антагонизма.** Токсичная концентрация металла зависит от присутствия в почве атомов других элементов, находящихся с этим металлом в синергетическом или антагонистическом отношении.
6. **Способность живых организмов к адаптации, а почвы к самовосстановлению.** Живые организмы и их сообщества способны приспособиться к возросшему содержанию ТМ в среде их обитания, в результате чего почва способна восстанавливать нарушенные в результате загрязнения свойства. Следовательно, одно и то же содержание в почве ТМ будет вызывать различные последствия сразу после загрязнения и через какое-то время после него. Сюда же следует отнести пример геохимических аномалий, где организмы приспособились к аномально высоким или, наоборот, низким концентрациям того или иного элемента.

**Перечисленные факторы** определяют необходимость создания бесконечного множества ПДК **ТМ в почве** для каждого конкретного случая, что является **нереальным**. Поэтому все когда-либо разработанные ПДК ТМ в почве, будут в большой степени условными.

В связи с этим в последние годы (в первую очередь в развитых зарубежных странах, «переболевших болезнью ПДК, ПДВ и ПДС») в природоохранной политике все чаще приоритет отдают оценке экологического риска.

**Экологический риск** — это вероятность появления негативных изменений в окружающей природной среде, вызванных негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера, с учетом величины возможных ущербов.

Мера экологической опасности рассматривается в двух основных аспектах:

- 1) вероятность **нарушения** природного **равновесия**;
- 2) вероятность **негативного** воздействия на **человека**.

Экологический риск может быть оценен количественно по формуле:

$$R = p \cdot y,$$

где  $R$  — экологический риск;  $p$  — вероятность негативного воздействия источника опасности на население, экосистемы или иные объекты;  $y$  — предполагаемая величина ущерба от воздействия.

**Нормирование** с использованием **ПДК, ПДВ, ПДС, ПДУ** и других нормативов основано на определении **количества** загрязняющего вещества или иного агента в **окружающей среде**.

**Нормирование** на основе определения **экологического риска** базируется на **оценке** источников **опасности** и **устойчивости экосистем** и человеческого организма.

При оценке допустимости антропогенного воздействия на окружающую природную среду следует руководствоваться принципами допустимого экологического риска:

- неизбежность потерь в природной среде;
- минимальность потерь в природной среде;
- реальная возможность восстановления потерь в природной среде;
- отсутствие вреда здоровью человека и необратимость изменений в природной среде;
- соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Любое **превышение пределов** допустимого экологического риска должно пресекаться по закону. С этой целью ограничивают или приостанавливают деятельность экологически опасных производств, а на стадиях принятия решений допустимый экологический риск оценивают с помощью **государственной экологической экспертизы** и в случае его превышения представленные для согласования материалы отклоняют.

Выделяют следующие зоны повышенного экологического риска:

- хронического загрязнения окружающей среды;
- повышенной экологической опасности;
- чрезвычайной экологической ситуации
- экологического бедствия.

***Зона чрезвычайной экологической ситуации*** — территория, на которой в результате воздействия негативных антропогенных факторов происходят устойчивые отрицательные изменения окружающей природной среды, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экосистем, генофондам растений и животных.

***Зона экологического бедствия*** — территория, на которой произошли необратимые изменения окружающей среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, разрушение естественных экосистем, деградацию флоры и фауны.

# Оценка токсичности тяжёлых металлов в блоке «почва-растение».

Токсическое действие тяжёлых металлов на растения, которое проявляется:

- в изменении проницаемости клеточных мембран (Ag, Au, Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb);
- в реакции тиольных групп с катионами (Ag, Hg, Pb);
- в конкуренции с жизненно важными метаболитами (As, Sb, Se, Te, W, F);
- в сродстве к фосфатным группам и активным центрам в адентозиндифосфатах и аденозинтрифосфатах (Al, Be, Se, Y, Zr);
- в замещении жизненно важных ионов (преимущественно макроэлементов Cs, Li, Rb, Se, Sr);
- в захвате в молекулах позиций, занимаемых жизненно важными функциональными группами типа фосфата и нитрата (арсенат, фторид, борат, селенат, теллулат, вольфрамат) (Кабата-Пендиас, 1989).

Тяжёлые металлы являются протоплазматическими ядами, токсичность которых возрастает по мере увеличения атомной массы.

Тяжёлые металлы подразделяют на группы:

- очень токсичные – оказывают вредное воздействие на тест-организмы при концентрации в растворе менее 1 мг/л:  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ;
- умеренно токсичные – оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях 1 – 100 мг/л: As, Se, Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, арсенаты, бораты, броматы, хлораты, перманганаты, молибдаты, селенаты;
- слаботоксичные – редко оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях значительно выше 100 мг/л:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , хлориды, бромиды, иодиды, нитраты, сульфаты.

Опасными являются высокие концентрации в почве тяжелых металлов: Hg, Pb, Cl, I, Cu, Cr, Ni и As, их фитотоксичность и избыточное накопление в растениеводческой. Кроме того, постоянное потребление растительной продукции, выращенной на почвах с низким уровнем загрязнения тяжелыми металлами, может приводить к кумулятивному эффекту, т.е. постепенному увеличению содержания тяжелых металлов в живом организме.

К факторам, загрязняющим окружающую среду, часто относят химизацию земледелия, в частности, применение в первую очередь минеральных, а также **известковых** и органических удобрений. Современное земледелие без применения удобрений, обеспечивающих около 50 % урожая, немыслимо. Альтернативы их применению нет и, в обозримой перспективе, не будет. Хотя удобрения, как источник питания растений и фактор урожайности, изучаются много десятков лет, значение их, как фактора, влияющего на содержание тяжелых металлов в почве и растениях, изучено совершенно недостаточно и является противоречивым.

**С одной стороны**, в составе удобрений имеются тяжелые металлы, которые потенциально могут загрязнять почву, растения и грунтовые воды.

С **другой стороны**, удобрения, активно изменяя агрохимические свойства почвы (реакцию среды, содержание гумуса, концентрацию и ионный состав почвенного раствора, соотношение катионов и содержание питательных элементов), влияют на подвижность тяжелых металлов в почве и потенциальную опасность загрязнения ими растительной продукции и грунтовых вод, т.е. могут способствовать детоксикации почв от тяжелых металлов.

Для контроля за состоянием объектов окружающей среды в настоящее время как отечественной, так и зарубежной промышленностью создается большое количество **аналитических приборов**, позволяющих с достаточной точностью определять химический состав исследуемых сред, но в силу ряда причин (высокая стоимость, большие сроки, необходимые для проведения исследований) они недоступны для широкого применения. К тому же в настоящее время еще недостаточно освещен вопрос биологического воздействия многих химических элементов. Поэтому вопрос **надежного экспрессного контроля остается открытым.**

В результате хозяйственной деятельности человека во внешнюю среду наряду со многими загрязнителями, поступает все возрастающее количество тяжелых металлов, что ведет к увеличению его поступления и длительному воздействию на организм животных.

Последствия данного процесса в настоящее время невозможно прогнозировать, так как биологическое действие малых количеств тяжелых металлов на организм сельскохозяйственных животных изучено недостаточно.

Решение вопросов **индикации тяжелых металлов** в биосубстратах, их миграция в биологических цепях и взаимодействие в организме сельскохозяйственных животных является **актуальной проблемой**. Имеется несколько **основных источников** поступления **тяжелых металлов (ТМ)** в почву:

- металлургические предприятия,
- электростанции, сжигающие уголь,
- автотранспорт,
- химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей,
- осадки городских сточных вод.

Загрязненные почвы приводят к обогащению растений тяжелыми металлами. Избыточное содержание ТМ в растениях отрицательно сказывается на их росте и развитии, уменьшает выход продукции, ухудшает ее качество. В вегетативной массе кормовых культур накопление ТМ может достичь опасного уровня для здоровья сельскохозяйственных животных без достаточно заметных внешних проявлений угнетения растений и может быть причиной контаминации продуктов животного происхождения.

Одной из актуальных проблем для многих стран стала проблема утилизации осадков городских сточных вод, объединяющих, как правило, бытовые и промышленные воды. **Осадки сточных вод (ОСВ)**, прошедшие предварительно обеззараживание, могли бы стать очень ценным органическим удобрением, богатым всеми элементами питания, особенно такими дефицитными, как азот, фосфор, калий. Однако во многих случаях **ОСВ** содержат столь значительные **количества ТМ**, что делает их широкое использование в сельском хозяйстве проблематичным.

С целью реабилитации загрязненных почв не рекомендуется использовать осадки сточных вод в качестве удобрения, так как это приводит к дальнейшему повышению содержания тяжелых металлов в этих почвах.

Для снижения миграции тяжелых металлов из почвы в растения предложено использовать **цеолит** в дозе 5 % от массы осадков сточных вод. Установлено, что **цеолит трепел** снижает концентрации кадмия и цинка в растениях на 25 %, свинца - в 10 раз.

При однократном опрыскивании столовой свеклы и моркови в фазу кущения 0,01 % раствором **меднооксиэтилидендифосфонового комплекса** в корнеплодах происходит снижение содержания меди до 67 %, кадмия - до 20 %, цинка - до 5 %, а количество железа увеличивается до 3 раз. В листьях содержание меди увеличивается до 4,4 раза, цинка - до 2 раз, кадмия - до 38 %, а концентрация железа уменьшается до 53 %.

Рисунок 1. Пути поступления химических элементов в организм человека.



*Схема 1. Пути поступления химических элементов в организм человека [2].*

Из рисунка 1 видно, что тяжелые металлы поступают в организм человека в основном с растительной пищей, куда попадают главным образом из почвы. Почва – открытая подсистема в геохимическом ландшафте, потоки вещества и энергии в которой связаны с приземной атмосферой, растительностью, с поверхностными и почвенно-грунтовыми водами.

Состав и количество удерживаемых элементов зависят от:

- содержания и состава гумуса,
- кислотности и окислительно-восстановительных условий,
- сорбционной способности,
- интенсивности биологического поглощения.

В почве тяжелые металлы могут находиться в твердой и жидкой (почвенный раствор) фазах. В **твердой фазе** тяжелые металлы находятся в обменном и фиксированном состоянии: входят в состав гумусового вещества, в кристаллическую решетку глинистых материалов, являются составной частью нерастворимых солей. В **почвенном растворе** тяжелые металлы находятся в растворенном состоянии, как правило, в виде хлоридов, нитратов, сульфатов, органических комплексных соединений, которые могут составлять до 99% от общего количества растворимых форм.

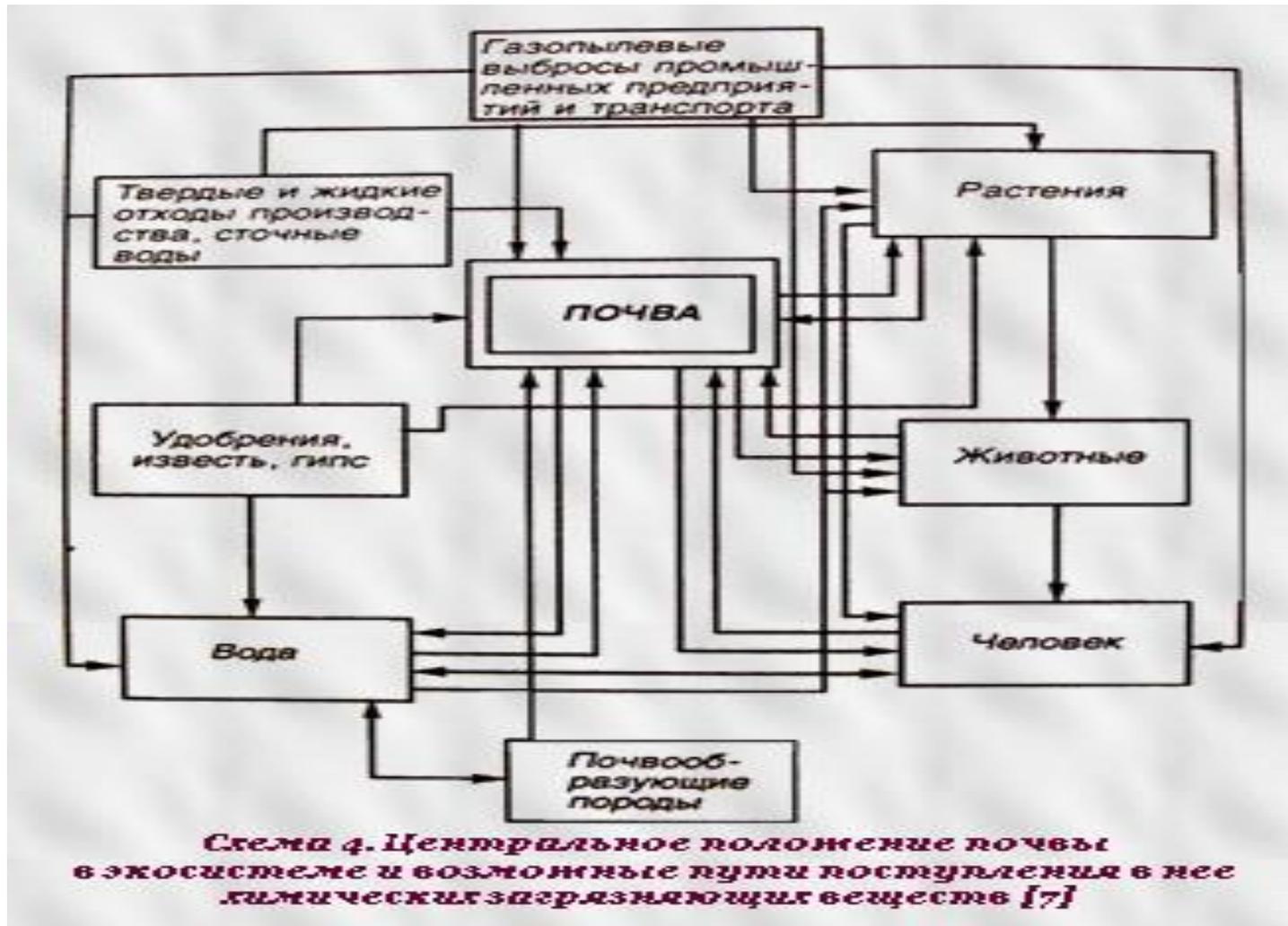
Форма существования металлов, попавших в почвенный раствор, зависит, прежде всего, от его химического состава и реакции среды. В почвенном растворе **кислых почв** присутствует очень небольшое количество анионов минеральных кислот и много органического вещества. В связи с этим можно предположить, что тяжелые металлы, оказавшись в почвенном растворе кислых почв, образуют в основном растворимые **органоминеральные** комплексы.

В почвах же с **нейтральной реакцией** среды, например в черноземах, в составе легкорастворимых солей преобладает сульфат и бикарбонат кальция. Наличие в почвенном растворе значительного количества кальция приводит к резкому сокращению доли растворимой фракции гумуса. Поэтому Pb, Zn, Hg, Co , попадая в почвенный раствор, взаимодействуют в основном с минеральной частью, образуя **нерастворимые и слабо растворимые карбонаты и сульфаты**. Являясь промежуточным звеном в цепи «почва – растение – животное – человек», **растения накапливают** микроэлементы, в том числе **тяжелые металлы**.

Часть техногенных выбросов тяжелых металлов, поступающих в атмосферу в виде тонких аэрозолей, переносится на значительное расстояние и вызывает глобальное загрязнение. Определенную опасность для окружающей среды представляют атмосферные выбросы тепловых электростанций, особенно работающих на высокосолевых углях. Основное их количество выпадает на расстоянии 25-40 км от источника загрязнения. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоемы, где накапливается в водах и донных отложениях и может стать источником вторичного загрязнения. Основная масса выбросов осаждается в непосредственной близости от источника загрязнения, и переходит в почву. **Центральное положение почвы** в экосистеме и возможные пути поступления в нее химических загрязняющих веществ иллюстрирует рисунок 2.

-

Рисунок 2. Роль почвы в экосистеме и возможные пути поступления в нее химических загрязняющих веществ.

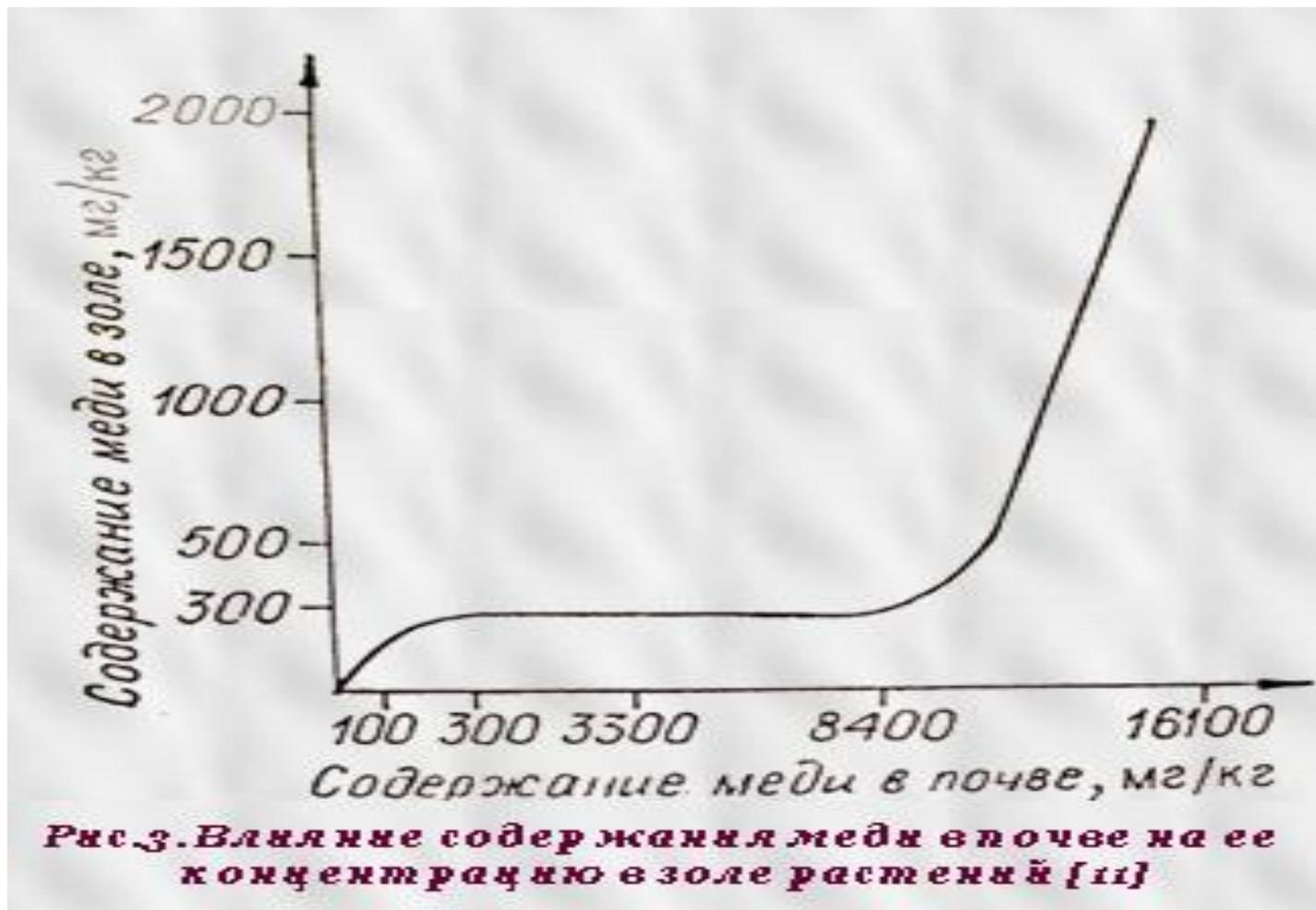


Почвенный покров служит мощным аккумулятором тяжелых металлов и практически не теряет их со временем. Первый период полуудаления (т.е. удаления половины от начальной концентрации) тяжелых металлов значительно варьирует для разных элементов, но составляет весьма продолжительные периоды времени, например: для Zn – от 70 до 510 лет; для Cd – от 13 до 110 лет; для Cu – от 310 до 1500 лет; для Pb – от 740 до 5900 лет. Верхние гумуссодержащие горизонты прочно фиксируют тяжелые металлы и многие неметаллы.

Накопление в почве тяжелых металлов, отрицательно сказывается на росте и развитии растений. Возможны случаи вынужденного поступления вредных для жизнедеятельности растений элементов или необходимых им элементов, но в количествах, токсичных для их развития, вследствие чего возникают своеобразные патологические формы, нарушается цикл развития растения, а в ряде случаев наблюдается и его гибель. Поступление избыточных ионов в растения на загрязненной территории усиливается, они могут накапливаться в количествах, значительно превосходящих их нормальное содержание (рис.3).

Таким образом, увеличение концентрации тяжелых металлов в почве вследствие загрязнения окружающей среды влечет за собой увеличение их содержания в тканях растений. Растения являются основным звеном в пищевой цепи «почва-растение-человек», по которой тяжелые металлы поступают в организм человека и накапливаются в нем.

Рис. 3. Влияние содержания меди в почве на ее концентрацию в золе растений.



# Комплексные показатели загрязнения почв.

Важнейшее значение почв состоит в **аккумуляции** органического **вещества**, различных химических элементов, а также **энергии**. Почвенный покров выполняет **функции** биологического **поглотителя**, **разрушителя** и **нейтрализатора** различных загрязнений, **источника продовольствия**. Оценку способностей почвы выполнять функции, обеспечивающие стабильность отдельных биоценозов и биосферы в целом, получают при помощи **специальных методов** исследования загрязненных почв.

Принцип **нормирования** химических **веществ в почве** **значительно отличается** от принципов, положенных в основу нормирования их в водоемах, атмосферном воздухе, пищевых продуктах. Попавшие в почву химические вещества поступают в организм человека главным образом через контактирующие с почвой среды: воду, воздух и растения (в последнем случае по биологической цепи почва – человек). Поэтому при нормировании химических веществ в почве учитывается не только та опасность, которую представляет почва при непосредственном контакте с ней, но и последствия **вторичного загрязнения** контактирующих с почвой сред.

В связи с тем, что вредные вещества поступают в организм человека по пищевым цепям, установлены допустимые остаточные количества (ДОК) пестицидов в почве, пищевых и кормовых продуктах (таблица 1).

Таблица 1. ПДК и ДОК некоторых веществ в почве.

<b>Вещество</b>	<b>ПДК, МГ/КГ</b>	<b>ДОК, МГ/КГ</b>
<b>Хлорофос</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>
<b>Карбофос</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Прометрин</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
<b>Полихлоркамфер</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
<b>Гексахлорциклогексан</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Результаты гигиенических исследований загрязненных почв позволяют оценивать степень опасности загрязнения вредными веществами по уровню их возможного воздействия на системы «почва – растение», «почвы – микроорганизмы, биологическая активность», «почвы – грунтовые воды», «почва – атмосферный воздух» и опосредованно – на здоровье человека. С гигиенической позиций опасность загрязнения почвы определяется уровнем возможного ее отрицательного влияния на контактирующие среды, пищевые продукты и непосредственно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения. Именно ПДК химических веществ в почве является основным **критерием гигиенической оценки** опасности загрязнения почв вредными веществами.

Для оценки загрязнения опасности почвы выбор химических веществ – показателей загрязнения – проводится с учетом:

- специфики источников загрязнения, определяющих комплекс химических элементов, участвующих в загрязнении почв изучаемого региона (таблица 1);
- приоритетности загрязнителей в соответствии со списком ПДК химических веществ в почве и их классов опасности;
- характер землепользования.

Если нет возможности учесть весь комплекс химических веществ, загрязняющих почву, оценку проводят по наиболее токсичным веществам, то есть относящиеся к наиболее высокому классу опасности.

При отсутствии в документации класса опасности химических веществ, приоритетных для почв исследуемого района, их класс опасности  $J$  может быть определен по следующей формуле:

$$J = \lg \frac{AS}{\alpha M(\text{ПДК})}$$

где  $A$  – атомный вес соответствующего элемента;  $S$  – растворимость в воде химического соединения, мг / л;  $M$  – молекулярная масса химического соединения, в которое входит данный элемент;  $\alpha$  - среднее арифметическое из шести ПДК химических веществ в разных пищевых продуктах (мясо, рыба, фрукты, хлеб, овощи).

При оценке опасности загрязнения почв химическими веществами следует учитывать следующее:

- опасность загрязнения тем больше, чем выше фактические уровни содержания контролируемых веществ в почве по сравнению с ПДК;
- опасность загрязнения тем больше, чем выше класс опасности контролируемых веществ;
- буферность почвы, влияющую на подвижность химических элементов, что определяет их воздействие на контактирующие среды.

Оценка уровня загрязнения почв как индикаторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по показателям, разработанных при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$  и **суммарный показатель загрязнения  $Z_c$** , равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов:

$$Z_c = \sum_i^n K_{ci} - (n - 1)$$

где  $n$  – число суммируемых элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю Zc, отражающую дифференциацию загрязнения воздушного бассейна городов, как металлами, так и другими наиболее распространенными ингредиентами (пыль, оксид углерода, оксиды азота), проводится по оценочной шкале, приведенных в **таблице 2**. Градации оценочной шкалы разработаны на основе изучения показателей состояния здоровья населения, проживающего на территории с различным уровнем загрязнения почв.

Не всегда удастся установить прямую зависимость между содержанием загрязнителя в среде и ее пригодностью для обитания живых организмов. Почва может быть сильнозагрязненной, но нетоксичной или слаботоксичной и, наоборот, слабозагрязненной, но сильнотоксичной. Токсичное действие одних компонентов может быть нейтрализовано или усилено присутствием других, поэтому токсичность почвы не определяется токсичностью отдельных соединений, содержащихся в ней. Необходимо оценивать интегральную токсичность почвы, отражающую влияние всего комплекса.

Наиболее целесообразным методом определения интегральной токсичности почвы является **биотестирование**. Показателем степени токсичности при биотестировании служит **изменение** выбранной тест-**функции** биоиндикаторного организма при его взаимодействии с пробой среды. Успешное применение биотестирования для диагностики состояния экосистемы во многом зависит от правильного подбора **тест-объекта**.

Таблица 2. Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения  $Z_c$ .

<b>Категория загрязнения почв</b>	<b>Значение <math>Z_c</math></b>	<b>Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения</b>
<b>Допустимая</b>	<b>Менее 16</b>	<b>Наиболее низкий уровень заболевания детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений</b>
<b>Умеренно опасная</b>	<b>16 ... 32</b>	<b>Увеличение уровня общей заболеваемости</b>
<b>Опасная</b>	<b>32 ... 128</b>	<b>Увеличения уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы</b>
<b>Чрезвычайно опасная</b>	<b>Более 128</b>	<b>Увеличения уровня общей заболеваемости детского населения, женщин с нарушением репродуктивной функции (увеличение числа преждевременных родов и др.).</b>

В качестве биоиндикаторов могут быть использованы животные, растения, микроорганизмы. Наиболее полный анализ интегральной токсичности достигается при применении набора биотестов с использованием **различных тест-организмов** при контроле их биологических параметров.

Наиболее очевидными критериями выбора тест-организмов являются простота работы и точность получаемых в результате тестирования данных. Под **простотой** понимается **легкость выделения тест-организма** из природных источников, его хранения, размножения, постановки пробы на токсичность, обработки и интерпритации полученных результатов. **Точность** в данном случае – это наличие **однозначных**, ярко выраженных **изменений** тестируемой **функции** индикаторного организма в результате воздействия интересующего загрязнителя.

Один из простых в исполнении и информативных способов оценки микроботоксичности загрязненных почв – это учет численности микроорганизмов, которая, как правило, достаточно легко отражает микробиологическую активность почвы, скорость разложения органических веществ и круговорота минеральных элементов.

Высокая чувствительность почвы к любым негативным и позитивным воздействиям позволяет использовать биологические показатели в качестве параметров **биомониторинга**.

Использование комплексной оценки биологической активности почв включает:

- одновременное изучение показателей биологической активности почвы;
- выявление наиболее информативных эколого-биологических показателей и возможного интегрального показателя экологического состояния почвы;
- учет пространственной и временной вариабельности биологических свойств почвы;
- использование сравнительно-географического и профильно-генетического подходов для оценки состояния почвы.

Исследование состояния **деградированных** почв будет **наиболее полным** в том случае, если будут определены:

- прямые показатели загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами (валовое содержание тяжелых металлов, содержание их подвижных форм, содержание нефтепродуктов, мощность загрязненного слоя);
- показатели устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами и нефтепродуктами (емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями, содержание гумуса, реакция среды);
- биологические показатели изменения свойств почвы под воздействием металлов-загрязнителей и нефтепродуктов (активность почвенных ферментов, например инвертазы, каталазы, интенсивность выделения углекислого газа, целлюлозоразлагающая способность, общая численность почвенных микроорганизмов, структура микробоценоза и др.).

Для практических целей определение всего комплекса показателей **весьма трудоемко** и требует дорогостоящего оборудования. **Более целесообразно** определять показатели, объективно отражающие уровень и **последствия** загрязнения.

В результате многолетних исследований установлены **наиболее информативные** показатели биологической активности почвы для биодиагностики и биомониторинга. К ним относятся, прежде всего, биохимические показатели, поскольку они лучше коррелируют с уровнем загрязнения и имеют меньшее варьирование в пространстве и во времени по сравнению с микробиологическими. Из изученных рекомендуется использовать ферментативную активность— **активность каталазы**, которая является одним из показателей стабилизации почвенных условий. Ее изменение связано с загрязненностью и буферной способностью почвы.

Было установлено, что **наиболее информативным** показателем экологического состояния техногенно загрязненных почв является **интегральный показатель** биологического состояния (**ИПБС**). При расчете ИПБС максимальное значение каждого показателя в выборке принимается за 100 % и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в других пробах, то есть относительный показатель:

$$B_1 = B / B_{\max} \cdot 100\%,$$

где B – значение показателя в пробе; B<sub>max</sub> – максимальное значение показателя.

Затем определяется **среднее значение показателя**

$$B_{\text{ср}} = (B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n) / n,$$

где n – число показателей.

Интегральный показатель биологической активности рассчитывается по формуле

$$\text{ИПБС} = (B_{\text{ср}} / B_{\text{ср max}}) \cdot 100\%.$$

При диагностике за 100% принимается значение каждого показателя в незагрязненной почве.

Интегральный показатель биологического состояния почвы для всех уровней загрязнения находится в прямой зависимости от содержания в ней тяжелых металлов.

Влияние степени загрязнения на биологические процессы в почве целесообразно определять по **отклонению активности** внеклеточных биологических процессов **от контроля** согласно **экотоксикологическим нормативам**: <10% - мало опасный, 25 – 50 – опасный и > 50% - очень опасный уровень влияния.

Различные типы почв при одинаковом характере и степени загрязнения проявляют различную устойчивость. Для серой лесной почвы средний уровень загрязнения уже очень опасен, в этом случае восстановление биоценологических функций затруднено или практически невозможно. В черноземе выщелоченном снижение ИПБС на 50% происходит только при высоком уровне загрязнения.

Результаты биомониторинга техногенно загрязненных почв могут широко применяться при оценке воздействия на окружающую среду, экологическом нормировании загрязнения почв, прогнозировании экологических последствий какой-либо хозяйственной деятельности на данной территории, проведение экологической экспертизы, аудита и сертификации предприятий.

# Биогенное загрязнение вод в условиях интенсификации аграрного производства.

Значительное количество таких опасных загрязняющих веществ, как пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, калий и др., смывается с сельскохозяйственных территорий в водоемы и водостоки без какой-либо очистки, а поэтому содержат высокую концентрацию органических веществ, биогенных элементов и других загрязнителей.

Расширенное производство (без очистных сооружений) и применение ядохимикатов на полях приводят к сильному загрязнению водоемов вредными соединениями. Загрязнение водной среды происходит в результате прямого внесения ядохимикатов при обработке водоемов для борьбы с вредителями, поступления в водоемы воды, стекающей с поверхности обработанных сельскохозяйственных угодий, при сбросе в водоемы отходов предприятий — производителей, а также в результате потерь при транспортировке, хранении и частично с атмосферными осадками.

Наряду с ядохимикатами сельскохозяйственные стоки содержат значительное количество остатков удобрений (азота, фосфора, калия), вносимых на поля. Кроме того, большие количества органических соединений азота и фосфора попадают со стоками от животноводческих ферм, а также с канализационными стоками. Повышение концентрации питательных веществ в почве приводит к нарушению биологического равновесия в водоеме.

Загрязняющие вещества могут проникать и в подземные воды: при просачивании промышленных и сельскохозяйственных стоков из хранилищ, прудов-накопителей, отстойников и др. Загрязнения подземных вод не ограничиваются территориями промышленных предприятий, хранилищ отходов и пр., а распространяются вниз по течению потока на расстояния до 20 - 30 км и более от источника загрязнения. Всё это создает реальную угрозу для питьевого водоснабжения в этих районах.

Интенсификация сельскохозяйственного производства существенно меняет хозяйственно-биологический круговорот веществ, что нередко приводит к обострению экологических проблем, связанных с функционированием агро-экосистем, в том числе обусловленных состоянием поверхностных и подземных вод, которые не только загрязняются токсичными веществами, но и находятся под воздействием процессов усиленного **эвтрофирования** (от греч. eutrophe — тучность, жирность, усиленное питание). Являясь фактором участником в процессах эвтрофирования, сельское хозяйство может оказаться в крайне неблагоприятной ситуации при водообеспечении селитебных территорий, животноводческих комплексов и орошаемых массивов.

Под эвтрофированием нередко понимают обогащение вод питательными веществами, вызывающее массовое развитие водорослей. Однако это всего лишь видимая часть сложного естественно-антропогенного процесса, в котором преобладают природные процессы, а воздействие человека играет роль мощного катализатора. Таким образом, эвтрофирование, эвтрофикация, эвтрофия вод — это **увеличение биологической продуктивности водных объектов в результате повышения в воде концентрации биогенных элементов** воздействием **антропогенных** или **естественных** (природных) факторов (таблица 3).

Хозяйственная деятельность человека значительно **ускоряет процесс** эвтрофирования: за несколько десятилетий антропогенный фактор эвтрофирования привел к изменениям, которые в естественном ритме произошли бы в водоемах за десятки тысяч лет. Этому способствовало строительство каскадов ГЭС и водохранилищ, рекреационные мероприятия, судоходство, сбросы промышленных, коммунально-бытовых и животноводческих сточных вод, ливневые стоки селитебных территорий и т.д.

Таблица 3. Факторы эвтрофирования водоемов.

Происхождение фактора	Укрупненные группы факторов	Разновидность фактора
Естественные факторы	Климатические условия	Инсоляция
		Температура
		Атмосферные осадки
	Биологические	Фотосинтез
		Азотфиксация, осуществляемая микроорганизмами в воде
	Геологические	Эрозия берегов
Тип подстилающего грунта		
Антропогенные факторы	Химические (азот, фосфор и другие компоненты органических веществ)	Накопление в ложе водохранилищ
		Накопление в промышленных выбросах в атмосферу
		Минерализация атмосферных осадков
		Стоки промышленных предприятий и ЖКХ
		Стоки предприятий по производству минеральных удобрений
		Биологические
	Стоки:	
	поверхностные	
	сельхозугодий	
	ливневые	
	городские	
	животноводства	
	Отходы органических отраслей промышленности:	
	пищевой	
	оргсинтеза	
	микробиологической	
	Физические	Зарегулирование стока водоемов
		Слабый водообмен
		Окультуривание ландшафтов
		Прогревание воды стоками от электростанций (ТЭЦ, АЭС)
Судоходство		

Наиболее быстро процесс антропогенного эвтрофирования развивается в водоемах, площади водосборов которых осваиваются сельскохозяйственным производством. Факторы интенсификации растениеводства и животноводства (механизация, мелиорация и особенно химизация и промышленное производство) стали мощным ускорителем процесса эвтрофирования вод.

Биогены, участвуя в различных геохимических и биохимических циклах, поступают в водные объекты, причем наиболее значимые для биологической наземной продуктивности (фосфор, азот, калий) становятся в них лимитирующими, т. е. приобретают ограничивающие свойства, что особенно важно для водных ресурсов, используемых для водоснабжения населения, животноводческих ферм и рыбоводства и т. д.

Изменение состояния вод обусловлено не только **внешним поступлением** в них биогенных элементов, но и **внутренними процессами** изменения экологического **равновесия** в водоеме. Нарушение равновесия ведет к дисбалансу между уровнями первичной и вторичной биологической продуктивности. Происходит накопление **автотрофных гидробионтов**, в результате которого в водоеме продуцируется в десятки и сотни раз **больше органического** вещества. Таким образом, антропогенное поступление биогенов — это этап в развитии эвтрофирования водоемов, к которому в дальнейшем подключаются внутренние биологические процессы, ведущие к интенсивному накоплению органических веществ в воде, т. е. к **самозагрязнению**.

Для определения биогенной нагрузки на водные объекты зарубежными и отечественными исследователями предложены различные методы расчета, в том числе и на основе оценки выноса биогенных веществ с аграрных территорий.

При расчете поступления биогенных веществ от рассредоточенных источников рекомендуется рассматривать три основных комплекса:

- гидрологический,
- почвенно-эрозионный,
- почвенно-химический.

**Гидрологический** комплекс включает характеристики, отражающие зависимость выноса биогенов от поверхностного и почвенного стоков, инфильтрации, испарения, густоты гидрографической сети, особенностей гидрологического режима, интенсивности осадков, изменчивости снеготаяния, уклонов рельефа, водно-физических свойств почв, степени покрытия водосборов растительностью и множества других факторов.

**Почвенно-эрозионный комплекс** включает систему характеристик, отражающих изменчивость гранулометрического состава почв, их физических свойств и различных зон накопления биогенных веществ (поверхностной, верхней, нижней и зоны грунтовых вод).

**Почвенно-химический комплекс** включает характеристики, учитывающие трансформацию загрязняющих биогенных веществ в ходе их миграции.

По **трофности** водоемов различают **5 типов водоемов**, которые можно расположить по возрастанию этого показателя в следующем порядке:

- 1) **дистрофные** (dys — нарушение) — с плохо развитой растительностью и высоким содержанием гумусовых кислот;
- 2) **олиготрофные** (oligos — мало) — с низкой продуктивностью (глубокие озера);
- 3) **мезотрофные** (mesos — средний) — с оптимальным состоянием в теплый период года;
- 4) **эвтрофные** (eu — хорошо, усиленно) — с высоким поступлением биогенов;
- 5) **гипертрофные** (hyper — чрезмерное превышение нормы) — с катастрофически высоким поступлением биогенов.

Наиболее распространенным **проявлением эвтрофирования** водоемов является **цветение воды**. Оно свойственно всем гипертрофным водоемам и обусловлено массовым развитием синезеленых водорослей. Этот процесс как явное последствие эвтрофирования вод интенсивно изучается гидробиологами, гидрохимиками, токсикологами, альгологами. В таблице 4 приведена характеристика четырех стадий цветения воды.

Таблица 4. Стадии цветения воды.

<b>Стадия цветения воды</b>	<b>Количество биомассы фитопланктона, г/м<sup>3</sup> воды</b>
<b>Отсутствие цветения</b>	<b>&lt; 2,5</b>
<b>Начальное цветение</b>	<b>2,5 - 10</b>
<b>Умеренное цветение</b>	<b>10 - 100</b>
<b>Интенсивное цветение</b>	<b>100 - 500</b>

Первая и вторая стадии благоприятны для экосистем водоема; третья допустима; четвертая опасна, так как цветение вызывает изменение свойств воды и приводит к замору рыб.

**Токсичное** действие вод эвтрофированного водоема может быть обусловлено накоплением нитратов и нитритов. В период активной жизненной деятельности и после отмирания водоемов пополняют водоем значительным количеством азотсодержащих веществ, в числе и биологически активных биогенов, которые, взаимодействуя с **нитратами и нитритами**, могут образовывать высококанцерогенные нитрозоамины.

В летние месяцы биопродуктивность фитопланктона в прибрежных зонах некоторых **водохранилищ** может достигать **5 кг/м<sup>3</sup>**. На участках сгона водорослевой массы создаются **анаэробные условия**, при которых в воду экстрагируется значительное количество различных аминов. Этот процесс усугубляется **нарушением самоочищения** из-за возникновения **резкого дефицита кислорода**, связанного с оседанием отмирающих колоний водорослей. При усилении анаэробного обмена в глубинной зоне водоема **образуются метан, аммиак, сероводород**.

Вследствие высокой **динамичности** процессов **эвтрофирования** усложняется процесс установления **эвтрофного статуса** водного объекта. Одним из простых **способов оценки** этого показателя является **соответствие фактической концентрации биогенных веществ** предельно допустимым (таблица 5).

Таблица 5. ПДК биогенных веществ в разных типах водоемов, мг/л, установленные в РФ.

Наименование вещества	Назначение водоема	
	хозяйственно- питьевой	рыбохозяйственный
Нитраты	10	9
Аммиачный азот (ион аммония)	2	0,05

В контексте воздействия на все ресурсы современный аграрный сектор - это богарное и орошаемое земледелие, осушительные мелиорации, пастбищное животноводство, агротехнические и химические приемы земледелия, технического и энергетического облучения сельскохозяйственного производства, агролесомелиоративные мероприятия и т. д. Многие исследования признают, что **интенсивно развивающееся сельское хозяйство** — это **наиболее активный** источник поступления **биогенных** элементов.

Международная комиссия по эвтрофированию водоемов установила, что рассредоточенные источники играют более важную роль в загрязнении водных объектов биогенными элементами, чем городские сточные воды, т.е. аграрное производство более значимо для эвтрофирования водоемов, чем другие антропогенные факторы. Особенно значимым является вклад сельского хозяйства в загрязнение водоемов азотом (до 70%) и фосфором (до 40%).

Основными источниками биогенной нагрузки в пределах аграрных территорий являются сельскохозяйственные угодья (пашни, сенокосы, пастбища), объекты животноводства (помещения для содержания скота, отстойники сточных вод, навозохранилища и жижеборники), склады минеральных удобрений, сельские населенные пункты и территории садово-огородных товариществ, а также естественный растительный покров (леса, луга, болота) и атмосферные осадки.

Эти источники подразделяются на:

- **рассеянные** (диффузные, или площадные),
- **точечные** (сконцентрированные в пределах ограниченного пространства).

Потери биогенных веществ в растениеводстве условно можно разделить на **естественные** и **технологические**. Первые в основном зависят от интенсивности распашки территории, приемов земледелия, количества вносимых минеральных удобрений и объема пожнивных и корневых остатков, образующихся после уборки урожая культурных растений, а вторые - от различных нарушений, происходящих во время доставки и внесения удобрений на сельскохозяйственные угодья.

Наряду с растениеводством **немаловажным источником** биогенного загрязнения вод является **животноводство**. **Степень его воздействия** на водные объекты в каждом конкретном регионе определяется **общим поголовьем** скота, особенностями **расположения животноводческих ферм** и комплексов **на водосборах**, а также принятой в хозяйствах **технологией содержания** животных.

При **стойловом** содержании скота накапливаются **большие массы навоза**. Из-за его несовершенной утилизации в водные системы выносятся немалые количества грубодисперсной малоразложившейся органики и биогенных веществ. По оценкам некоторых специалистов, потери органических отходов на фермах и комплексах составляют в среднем 20—40 % их объема.

При **выпасе** скота на **пастбищах** также происходит **вынос биогенных веществ** в водотоки, поскольку пастбищные угодья чаще всего размещают в **речных долинах**. Влияние животноводства на биогенное загрязнение вод обусловлено и тем, что фермы и комплексы располагаются преимущественно в непосредственной близости от рек и озер. Поскольку **продолжительность** миграционного **пути биогенов** от их источников до водных объектов **невелика**, они не успевают закрепиться в почве, и их концентрация остается высокой.

Кроме того, на всех стадиях производства растениеводческой и животноводческой продукции происходят потери биогенных веществ, обусловленные различными нарушениями используемых технологий (технологические потери), что существенно увеличивает вынос биогенов в водотоки.

В ряду факторов, способствующих увеличению потерь биогенов, уместно отметить следующие:

- отсутствие или недостаточная емкость специальных навозохранилищ и жижесборников при фермах и комплексах, что приводит к необходимости частого вывоза навоза на поля, однако из-за нехватки транспорта это, как правило, не осуществляется;
- размещение ферм и комплексов в непосредственной близости от уреза воды, что приводит к прямому выносу биогенных веществ в водотоки;
- вывоз навоза на поля в зимний период (по снегу), что в условиях снеготаяния способствует интенсивному смыву биогенных веществ талыми водами;
- несвоевременная перепашка вывезенных на поля удобрений, что вызывает миграцию биогенных веществ по водосбору и их смыв поверхностным стоком в ближайшие водотоки;
- несовершенная технология компостирования и хранения навоза, что вызывает миграцию биогенных веществ по рельефу местности;
- доставка удобрений на поля на необорудованной для этой цели технике, что приводит к их потерям по дороге от хранилищ к угодьям;
- отсутствие подготовленных складов для минеральных удобрений, что вызывает их потери во время хранения.

Большое влияние на процессы биогенного загрязнения вод оказывают **селитебные территории**. Хозяйственно-бытовые стоки сельских населенных пунктов могут выносить до 0,355 кг азота и 0,277 кг фосфора (на одного человека в год). Кроме того, с застроенных территорий дополнительно может смываться около 6,0 кг/га азота и 5,0 кг/га фосфора в год (таблица 6).

Сельские населенные пункты в основном не обеспечены очистными сооружениями. Кроме того, в последние годы естественные участки агроландшафтов (малопродуктивные, неудобные земли) интенсивно осваиваются городскими жителями. Во всех пригородных зонах больших и малых городов (в радиусе до 200 км и более) расширяются плотно застроенные дачные городки.

Таблица 6. Вероятностный вынос биогенных веществ в водоемы с селитебных территорий агроландшафта

<b>Источник выноса</b>	<b>Азот аммонийный</b>	<b>Фосфаты</b>
Хозяйственно-бытовые стоки, г на 1 человека	2,62	0,76
Застроенные территории, г/(га*сут)	16,44	8,22

# Оценка влияния природно-аграрных систем на миграцию биогенных веществ.

Анализ моделей, использующихся для оценки выноса биогенных веществ в водные объекты, показывает, что для этих целей необходимы подходящие данные об экологическом состоянии изучаемых систем, получаемых на основе укрупненных показателей как в пространстве, так и во времени (месяц, сезон, год). Расчеты основываются на **большом числе данных** (начальная концентрация вещества в стоке, интенсивность поверхностного стока, концентрация вещества в потоке, количество биогенных веществ в пахотном слое почвы, слой поверхностного стока за расчетный интервал времени, глубина пахотного слоя и его активной зоны, полная влагоемкость почвы и т. д.).

Для **ориентировочной** оценки поверхностного **сноса и выноса** биогенных веществ из почвы рекомендуется **агрохимический подход**, основанный на зависимости их потерь от процессов вымывания и выщелачивания, а также от выноса с урожаем.

Влияние сельского хозяйства как источника поступления биогенных веществ в водные ресурсы возрастает в связи с увеличением распаханности территорий, трансформации угодий мощной техникой и гидромелиорацией, развитием процессов химизации на основе как минеральных, так и органических удобрений. Эти факторы вызывают изменение величины и направленности потоков биогенных элементов в агроландшафте. Все процессы трансформации угодий, как целенаправленные, являющиеся основными производственными действиями (пахота, боронование, окультуривание сенокосов и пастбищ, планировка земель для обработки), так и сопутствующие (последствия движения по сельхозугодьям при посеве, выращивании и уборке урожая, химической обработки полей) способствуют механическому перераспределению вещества в агроландшафте.

В этом заключается принципиальное различие промышленно-урбанизированной и сельскохозяйственной ветвей биогенной нагрузки на водные ресурсы.

Промышленно-урбанизированная ветвь - новая, сугубо **антропогенная** цепочка поступления биогенов и соответственно требует **кардинальных мер по предупреждению сброса** сточных вод промышленности, энергетики, транспортных предприятий и коммунально-бытового хозяйства городов в водные объекты.

В сельскохозяйственной ветви **сектор** промышленного **животноводства** имеет **аналогичные** особенности в связи с нарастанием **концентрации поголовья и применением интенсивных технологий**, а земледельческая часть является отдельно рассматриваемой системой, поскольку в ней в основном **сохраняется механизм природной миграции биогенов**.

Однако трансформация, охватывая значительные по площади территории и разрушая естественную структуру почвенного покрова, способствует водной и ветровой эрозии, смыву и вымыванию, т. е. миграции биогенных веществ. Она становится усилителем нежелательных, экологически опасных естественных процессов, зависящих от природных факторов и особенностей: промывного режима почв, расчлененности рельефа, эрозионности, густоты гидрографической сети, скорости ветра, интенсивности снеготаяния, смываемости почв, промерзания почвенного слоя и интенсивности его оттаивания и др. Кроме того, в условиях интенсивного развития сельского хозяйства **изменяется естественный цикл** круговорота питательных веществ, **нарушается** сложившийся **механизм их потоков**, что особенно характерно для главных элементов, участвующих в эвтрофировании - **азота и фосфора**.

Дополнительный транспорт биогенов может быть связан и с агротехническими приемами. Так, **осенняя** подготовка почвы под яровые и пропашные культуры **вместо весенней** способствует **уменьшению поверхностного склонового стока** и в итоге приводит к **сокращению** выноса биогенных веществ. Однако вместе с тем **зяблевая** вспашка нарушает противоэрозионную устойчивость почвенного покрова и благоприятствует **увеличению выноса биогенов** с продуктами эрозии.

При длительном применении больших доз удобрений вынос биогенных веществ с поверхностным стоком возрастает вследствие их накопления в пахотном слое почвы. Аналогичная картина наблюдается при внесении удобрений по мерзлой почве и особенно весной по талому снегу. Это подтверждают данные по выносу биогенных веществ (мг/л) с сельскохозяйственных угодий с поверхностным стоком при внесении 1 кг действующего вещества на 1 га (таблица 7).

Таблица 7. Зависимость выноса биогенов от технологических агроприемов.

Агроприем (способ внесения удобрений)	Вынос биогенных веществ (мг/л) с поверхностным стоком при внесении 1 кг действующего вещества на 1 га	
	азот	фосфор
Осенью под вспашку	0,01	0,0013
Осенью поверхностно	0,085	0,031
Осенью поверхностно по мерзлой почве	0,216	0,051
Весной по талому снегу	0,866	0,594

Эрозия почв, стимулируя вынос биогенных веществ с водосбора, активно влияет на биогенное загрязнение вод, в первую очередь фосфором. Вспашка, **особенно зяблевая**, приводит к тому, что потери фосфора с твердым стоком становятся преобладающими и достигают более **90 %** его общих потерь. При этом характерно, что вынос фосфора со смытой почвой пропорционален смыву.

Территориальные особенности смыва биогенов хорошо прослеживаются при рассмотрении условий поверхностного смыва дождевыми водами. В этой связи выделяют три пояса:

- слабого смыва (характеризуется модулем смыва менее 0,1 т/га),
- умеренного (от 0,1 до 1,0 т/га),
- интенсивного (более 1,0 т/га).

Промывной тип водного режима, при котором количество выпадающих осадков превышает количество испаряемой из почвы влага, является важным фактором вымывания элементов из почвы. Чем больше воды просачивается через корнеобитаемый слой почвы, тем выше потери растениями элементов питания и тем большее их количество попадает в подземные воды.

Наибольшее количество инфильтрационных вод образуется в ранневесенний период, когда насыщенность почвы влагой превышает полную полевую влагоемкость. Аналогичная ситуация складывается в осенне-зимний период, когда почва свободна от растительности. В поздневесенний и летний периоды основная масса выпадающих осадков расходуется на транспирацию и образование фитомассы. Эта закономерность атмосферно-почвенно-водных процессов, как и использование противоэрозионной роли растений, является основополагающей при обосновании агрохимических приемов.

Четкая связь между устойчивостью агроэкосистем и состоянием водных ресурсов выявляется и при рассмотрении **инфильтрационных процессов**: количество просачивающейся воды меняется в зависимости от **гранулометрического** состава почвы, что обусловлено различиями во **влагоемкости** и **водоудерживающей** способности. Чем **выше плодородие** почвы и содержание в ней гумуса; тем **больше ее гигроскопичность**, а, следовательно, и такие показатели, как влагоемкость и водоудерживающая способность. В то же время обеспеченность растений биогенами и влагой в наиболее критические фазы развития способствует максимальному усвоению питательных веществ и снижению их вымывания, т. е. состояние растений играет достаточно важную роль в развитии этих процессов и играет так же совершенствование посевных площадей путем введения травосеяния, использования промежуточных и пожнивных культур и т. д. **Поживные** посевы в севообороте **уменьшают вымывание** азота на 50 %, фосфора — на 30 %; на площадях, занятых под многолетние травы, потери азота снижаются на 30—40 %.

В условиях использования интенсивных технологий в растениеводстве **снижение вымывания** достигается комплексом мероприятий, включающих:

- оптимальное внесение удобрений в периоды активного потребления биогенов растениями,
- применение слаборастворимых, медленнодействующих видов минеральных удобрений,
- пользование таких их форм, которые содержат несорбируемых почвой ионов,
- применение ингибиторов нитрификации,
- соблюдение нормативов по дозам и способам внесения удобрений, особенно жидких органических, и т. Д.

**Управление движением** биогенных веществ от источников их образования на основе рециклизации является экологически обоснованным и экономически оправданным, поскольку **способствует решению** проблемы повышения **продуктивности** агроэкосистем .

Особенностью миграции биогенов в пределах площади водосбора водного объекта является **сходимость потоков** от основных антропогенных источников биогенной нагрузки. В снижении процессов эвтрофирования **наряду с частными** отраслевыми мерами (в земледелии, животноводстве) **эффективны общие**, приуроченные к конкретному водному объекту, такие, как:

- создание защитных полос,
- водоохранных зон рек, водохранилищ и озер,
- санитарных зон водозаборов и т. д.

Комплексное изучение динамики биогенных веществ в природно-аграрных системах показывает, что наряду с антропогенными источниками биогенной нагрузки существенную роль играют такие факторы, как атмосферные осадки и естественный растительный покров.

Влияние естественной растительности на биогенное загрязнение вод зависит от содержания азота и фосфора в **лесном опаде**, которое определяется типом растительного покрова. **Основная часть** биогенных веществ после разложения опада поступает в почву и **усваивается растительностью**, а **оставшаяся** переносится **поверхностным** стоком по водосбору и **поступает в водоем**.

Для **атмосферных осадков** как источника поступления **биогенных** веществ в **природно-аграрные системы** характерны следующие особенности. **Выпадение** жидких и твердых **осадков** приводит к **возникновению поверхностного стока**, качественный состав которого определяется как самими осадками, так и интенсивностью хозяйственной деятельности в пределах площади водосборов. **Часть** атмосферных **осадков**, минуя водосбор, **выпадает непосредственно на поверхность** водоемов, загрязняя их.

Поступление **азота и фосфора** в водные объекты из **атмосферных осадков** **определяется** в первую очередь **степенью их насыщения** этими веществами, которая зависит от следующих факторов:

- ионизация атмосферы,
- испарение вод,
- дефляция почвенного покрова,
- вулканическая деятельность,
- лесные пожары,
- антропогенное загрязнение.

Формирование **биогенной нагрузки** претерпевает определенное корректирующее воздействие за счет **природных и антропогенных** факторов, активизирующих или **тормозящих миграционные** процессы. Наиболее **сильное** влияние оказывает **состояние почв**. Известно, что под естественной растительностью вынос биогенных веществ осуществляется как поверхностным, так и почвенным стоком. Однако, **после окультуривания почв поверхностный сток становится преобладающим**. Установлено, что при **переходе от тяжелых почв к более легким** относительное **влияние характера угодий на сток возрастает**. **Наименьший сток** с сельхозугодий наблюдается **на зяби**. С **увеличением стока возрастает и вынос** в водотоки биогенных веществ, причем **на малых водосборах** это проявляется более отчетливо, чем на водосборах площадью **более 2 км<sup>2</sup>** (таблица 8).

Пахотный и подпахотный горизонты почв способны поглощать практически неограниченное количество фосфора и предотвращать его последующее выщелачивание.

К **основным факторам**, определяющим масштабы вымывания биогенов из почв различных генетических типов, относят:

- **степень ее окультуренности и насыщенности основаниями;**
- наличие **динамического равновесия** между минеральным и органическим азотом, которое обусловлено противоположными процессами — аккумуляцией и минерализацией этого элемента;
- **уравновешенность** питательного режима почв благодаря поддержанию на постоянном уровне соотношения N : P : K;
- порозность, минералогический и гранулометрический составы;
- **степень микробиологической активности.**

Таблица 8. Коэффициенты поверхностного стока в зависимости от вида угодий и гранулометрического состава почв.

Угодья и агротехнический фон	Почвы		
	суглинистые	супесчаные	песчаные
Лес	0,19	0,03	0,01
Зябрь	0,39	0,23	0,1
Залежь	0,53	0,33	0,2
Многолетние травы	0,59	-	-
Стерня	0,77	0,39	-
Озимь	0,78	-	-

# Оценка эвтрофного уровня водоёмов.

Явным признаком эвтрофирования как процесса нарушения экологического равновесия водоема следует считать изменение соотношения между двумя жизненными формами водных растений: **бентосной и фитопланктонной**.

Бентосные (от греч. benthos — глубина) растения развиваются, прикрепившись или укоренившись на дне; это погруженная водная растительность, которая получает необходимые элементы из донных отложений и из воды, что способствует самоочищению водоема.

Фитопланктонная флора – это водоросли и фототрофные бактерии, обитающие в поверхностном слое воды.

Озера, подверженные эвтрофированию, иногда называют мертвыми, но с биологической точки зрения это неправильно, поскольку **общая биопродуктивность** фитопланктона **может значительно превышать** аналогичный показатель бентосной растительности. **Планктоном** иногда питаются крупные популяции **некоторых рыб**, избегающих глубоких, обедненных кислородом слоев воды.

Следующим процессом нарушения равновесия в водоеме **является отмирание** фитопланктона, ведущего к **накоплению** на глубине огромного количества **детрита**. Как наиболее легкоминерализуемая часть органического вещества, он служит источником питания и энергии для микроорганизмов. Питающиеся детритом **редуценты**, в основном бактерии, как и другие обитатели водоема, **потребляют** в процессе дыхания **кислород**, сокращая таким образом до критического его содержания в воде, что проявляется как **замор** обитающих **на глубине** рыб и других представителей животного мира водоема. Бактерии же в таких условиях выживают, **продолжая разложения детрита** на биогенные составляющие **за счет анаэробного брожения**. Конвекционные потоки возвращают биогены к поверхности, что обеспечивает постоянный внутренний источник питания фитопланктона.

**Ослабление** процесса нарастающего эвтрофирования происходит при **резком сокращении** поступления биогенов извне и снижении температуры до уровня, не достигающего оптимального для преобладающих видов водорослей. Так, установлено, что **при средней температуре воды ниже 11 °С** ее цветение маловероятно.

По **удельным показателям биогенной нагрузки** составляют территориальную **характеристику степени опасности** антропогенного **поступления биогенных** веществ в **водные** объекты. Основную **сложность** при этом представляет оценка суммарного поступления биогенных веществ ( $W_{ni}$ ). Для определения этого показателя предложено множество подходов, разработаны различные модели, описывающие поведение биогенных веществ в пределах водосборов с количественной оценкой их поступления от различных источников. Анализ удельных показателей биогенной нагрузки позволяет установить особенности сельскохозяйственного производства в бассейне и биогенного загрязнения как всего водотока, так и отдельных его частей.

Современный этап развития проблемы **классификации водоёмов** характеризуется междисциплинарными исследованиями. Появились **новые классификационные шкалы**, среди которых особое внимание заслуживают так называемые «нумерические». Достоинством этих шкал является то, что в условном численном выражении от 0 до 100 они могут отражать непрерывный ряд трофических состояний водоёма и давать дробные границы его положения в пределах каждого трофического типа.

Принципиальный момент при оценке процесса эвтрофирования - определение трофического состояния водоемов, которое фактически отражает метаболизм экосистемы (поступление, накопление и расходование энергии). Основы типологической классификации трофического состояния водоемов были заложены еще классиками современной лимнологии Науманом и Тинеманом. Предложенное Науманом разделение водоемов на **олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные** до сих пор остается основополагающим при оценке развития водных экосистем. В действительности процесс эвтрофирования водоемов представляется непрерывно **сглаженным** от состояния, когда водная среда бедна биогенными веществами и малопродуктивна (олиготрофный водоем) до состояния избытка биогенных веществ и высокой продукции. Поэтому **выделение дискретных состояний** весьма **условно** и позволяет предложить лишь наиболее общие градации трофического состояния водоема. Иногда **используют и дополнительные** промежуточные категории:

- ультраолиготрофный,
- олигомезотрофный,
- мезоэвтрофный,
- гиперэвтрофный.

Разделение водоемов по уровням трофии в настоящее время представляется одновременно и субъективным и относительным, поэтому в количественных оценках трофического состояния водоема немало сложностей и противоречий. В настоящее время при оценке трофического состояния водоема в лимнологии используется широкий набор **биологических, химических и физических** характеристик и показателей функционирования экосистемы.

Наиболее распространенный и простой способ оценки трофического состояния водоема – использование классификаций на основе градаций показателей, характеризующих экосистему.

### **Биологические и биохимические показатели.**

Поскольку сущность процесса эвтрофирования состоит в общем **увеличении продуктивности** экосистемы, в основе которого лежит **рост первичной** продукции, биологические показатели акцентированы на переменные, характеризующие процесс первичного продуцирования органического вещества.

### ***Первичная продукция водоемов. Содержание хлорофилла “а” в воде водоема.***

Впервые систему разделения водоемов на классы по величине первичной продукции применил Г.Г.Винберг, которая была разработана Г.Лайкенсом, привлечшим для классификации пресных вод данные по биомассе фитопланктона, содержанию хлорофилла “а” и общего органического углерода.

Для разработки трофической классификации, учитывающей особенности как “**планктонных**”, так и “**детритных**” озер, важно выбрать основополагающий критерий трофности. Следует подчеркнуть, что “планктонные” и “детритные” озера представляют собой два крайних типа экосистемы, различающихся по структуре трофической цепи. Для первого типа экосистем более вероятен поток энергии, направленный по пастбищной цепи, для второго типа - по детритной цепи с непременным участием гетеротрофных микроорганизмов. Однако, **большинство** экосистем относится к **смешанному типу**, так как пастбищная и детритная цепи в них тесно взаимосвязаны.

При **нерегулярных наблюдениях** содержание хлорофилла “а” в планктоне **точнее отражает трофический статус озер**, чем скорость фотосинтеза, легко реагирующая на изменения погодных условий. Иными словами, **содержание хлорофилла “а”** - более **консервативный показатель трофности** и поэтому при соблюдении определенных условий **полнее передает продукционный потенциал** фитопланктона.

Однако **использование лишь одного**, пусть даже самого значимого показателя, особенно учитывая его большую изменчивость, существенно обедняет оценку трофности и при недостаточно надежном исходном материале может привести к ошибочным оценкам. Поэтому, наряду с показателями первичной продуктивности водоемов, в практике оценки эвтрофирования широкое распространение получили и **другие показатели** состояния экосистемы водоема.

## ***Индикаторы трофического состояния по составу биологических сообществ.***

Впервые еще В.Пирселл указал на возможность **индикации** трофности озера по **видовому составу фитопланктона**. Из многочисленных биологических показателей трофического состояния водоемов наибольшее распространение получили индикаторные виды организмов фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Изменение видов, которое происходит при эвтрофировании, носит вполне закономерный характер и может использоваться как характеристика процесса. Обычно считается, что **начало доминирования синезеленых** водорослей свидетельствует о прогрессирующем **эвтрофировании** водоема.

Помимо видового состава **индикаторами трофии** могут быть и некоторые **физиологические характеристики фитопланктона**, например, **скорость роста**.

**Зообентос** считается одним из самых чувствительных компонентов экосистемы водоема к ее изменениям. Именно сообщества **донных животных**, в отличие от планктонных организмов, в **силу** присущей им **инертности** служат **индикаторами изменений**, происходящих в **экосистеме** водоема. В этом индексе находит отражение, как уменьшение разнообразия фауны, так и упрощение трофических связей по мере эвтрофирования.

Наиболее надежными и информативными показателями зообентоса и зоопланктона в процесса эвтрофирования, по мнению И.Н. Андронниковой, являются:

- **уменьшение** числа **доминирующих** видов и **снижение индекса видового разнообразия**,
- изменение процентного соотношения таксономических групп в сторону **увеличения доли коловраток и кладоцер** и уменьшения доли копепод,
- изменение размерной структуры сообщества в сторону **преобладания мелких форм** и, как следствие, **уменьшение среднего веса** особи,
- **увеличение** внутригодовой амплитуды **колебаний биомассы**,
- **снижение доли хищников** в общей биомассе зоопланктона,
- увеличение доли трат на обмен от биомассы зоопланктона, уменьшение соотношения биомасс зоопланктона и фитопланктона за вегетационный период.

Важно подчеркнуть, что значение имеет не столько величина этих показателей, сколько **направленность их изменений в многолетнем ряду**. Для выявления направленности многолетних изменений трофического статуса водоемов необходимы многолетние ряды наблюдений.

## **Гидрохимические показатели.**

### ***Поступление биогенных веществ в водоем.***

Величина нагрузки водоема биогенными веществами – один из главных параметров распространенных балансовых моделей эвтрофирования. Существует, однако, одна труднопреодолимая проблема при использовании этого показателя – необходимость разделения биогенной нагрузки на внешнюю (водосборную) и внутреннюю (водоемную). Это можно сделать только на основе специальных исследований роли внутриводоемных источников биогенных веществ в общем их круговороте в водоеме.

### ***Концентрация биогенных веществ.***

Содержание в воде водоемов биогенных веществ, в первую очередь **общего содержания фосфора и азота**, представляется очень эффективным показателем трофического состояния водоемов. Практически любое лимнологическое обследование водоема начинается с определения уровня содержания биогенных веществ в воде водоема.

### ***Скорость потребления кислорода в гипolimнионе (ПКГ).***

Этот индикатор применяется для оценки трофического состояния стратифицированных водоемов и основан на том, что при развитии эвтрофирования и увеличения количества органического вещества в водоеме, пропорционально увеличивается потребление кислорода на разложение этих веществ в **глубинных слоях водоема**.

### **Физические показатели.**

Из физических показателей при оценке эвтрофирования учитывается лишь **прозрачность воды**, определяемая по *глубине видимости диска Секки*. Это наиболее широко используемый из-за простоты метод приближенной оценки состояния водоема.

**Кислородный индекс** может быть рекомендован для экспрессной оценки состояния экосистемы, как в случае разовых обследований, так и при осреднении за отдельные периоды при систематических наблюдениях. В случае эпизодических обследований расчеты по индексу дают более адекватные оценки, т.к. **кислород**, как показатель экологического состояния **более инертен**, чем, например, **содержание хлорофилла "а"** и **не зависит** от минеральных взвесей, как прозрачность. Средне вегетационная величина индекса интегрально отражает уровень продукционно-деструкционных процессов в экосистеме и позволяет анализировать особенности развития цветения в отдельные годы. Непременным условием для получения надежной информации при расчете индекса является наличие приборов для инструментального зондирования содержания кислорода в воде водоемов.