

# **1. БИОИНДИКАЦИЯ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

## **1.1 Система экологического мониторинга окружающей среды**

Состояние окружающей среды в США характеризуется индексом качества природной среды. Его значение определяется по результатам балльной оценки состояния воды, воздуха, природных ресурсов и т.д., и для самых лучших условий окружающей среды достигает 700 баллов.

В России характеристикой нормальных условий функционирования и устойчивости экосистем и биосферы является предельно допустимая экологическая нагрузка (ПДЭН).

Для её определения необходимы:

- а) текущий учет изменений в окружающей среде и предотвращение ухудшения качества среды;
- б) прогноз изменений в окружающей среде и связанных с ними экологических последствий.

Эти мероприятия входят в систему экологического мониторинга.

Экологический мониторинг предусматривает следующие процедуры:

- выделение объекта наблюдений;
- обследование выделенного объекта;
- составление информационной модели объекта наблюдений;
- планирование наблюдений и измерений за состоянием окружающей среды и выделенным объектом;
- оценивание состояния объекта;
- прогнозирование эволюции объекта наблюдений;
- представление информации в удобной для использования форме;
- корректировка используемых процедур мониторинга.

Основная цель мониторинга – обеспечение потребителей своевременной и необходимой информацией для выработки долгосрочных и оперативных управляющих решений.

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- об источниках и факторах воздействия;
- о допустимости изменений и нагрузок на среду в целом;
- о существующих резервах биосферы.

В соответствии с этим определяются основные объекты мониторинга:

- источники загрязнения и воздействия на окружающую среду;
- факторы воздействия;
- техногенные экосистемы;
- биосфера в целом;
- основные элементы антропоэкосистемы (население, демографические факторы, здоровье, социально-экономические и социально-гигиенические факторы);

- атмосфера;
- гидросфера;
- почвы;
- флора и фауна.

**По масштабам обобщения информации** экологический мониторинг подразделяется на:

1. Глобальный мониторинг, который основан на международном сотрудничестве.
2. Национальный мониторинг - общегосударственная система наблюдений.
3. Региональный мониторинг - система наблюдений в регионах.
4. Локальный (импактный) мониторинг - наблюдения в зоне влияния предприятий.
5. Фоновый мониторинг - наблюдения в районах, где исключена или максимально ограничена всякая хозяйственная деятельность.

**Основными направлениями экологического мониторинга являются:**

- мониторинг атмосферного воздуха;
- мониторинг водных объектов;
- мониторинг земель;
- мониторинг флоры и фауны;
- социально-гигиенический мониторинг;
- медико-географический мониторинг;
- мониторинг источников антропогенного воздействия и зон их влияния;
- мониторинг природных ресурсов;
- мониторинг промышленной безопасности.

При реализации мониторинга для выявления антропогенных факторов, их интенсивности, оценки уровня их влияния необходимо знать фоновое состояние природной среды в районах, удаленных от центров интенсивной хозяйственной деятельности. Необходимо также учитывать и прошлое состояние природной среды (исторический мониторинг), дающее возможность определить уровень загрязнения среды в различные периоды развития природы и общества. Исторический мониторинг позволяет на основании наблюдений получить представление об уровнях естественного фона основных загрязняющих элементов и изменение этих уровней в зависимости от антропогенных факторов.

Экологический мониторинг подразделяется также на геофизический, химический, геолого-геоморфологический, биологический, почвенный и гео(эко)системный.

**Геофизический мониторинг** включает в себя наблюдения за солнечной активностью и солнечно-земными эффектами, ионосферой, гравиметрические наблюдения, магнитометрические наблюдения, метеорологические, гидрологические, океанологические, сейсмологические, радиометрические наблюдения.

**Химический мониторинг** включает в себя гидрохимический (наблюдение за химическим составом поверхностных и подземных вод), биогеохимический (биохимические наблюдения за верхним слоем почв) мониторинг.

**В геолого-геоморфологический** входят геодезический, склоновых

процессов, эрозионный и другие виды мониторинга.

**Биологический мониторинг** делится на ботанический, зоологический, микробиологический и другие виды мониторинга, связанные с живой природой.

**Почвенный мониторинг** предусматривает наблюдения за качеством почв и их загрязнением.

**Гео(эко)системный мониторинг** объединяет комплекс наблюдений за экосистемами.

#### **Методы контроля техногенного воздействия на окружающую среду**

Наблюдение за объектами окружающей среды предполагает выполнение ряда требований.

1. Наблюдения должны носить комплексный характер, т.е. охватывать всю совокупность природных и природно-антропогенных объектов (атмосферный воздух, воды, почвы, биоту, литосферу, геосистемы в целом) и воздействующие на них факторы (антропогенные и естественные).
2. Наблюдения должны учитывать различные процессы, происходящие в природе (физические, химические, биологические, физико-географические), использовать весь арсенал методов, которые дают возможность получить необходимую информацию о состоянии окружающей среды.
3. Наблюдения должны быть систематичными. Этому требованию в наибольшей степени отвечают режимные наблюдения - регулярная, с определенной периодичностью фиксация хода природных и природно-антропогенных процессов во времени.
4. Наблюдения должны быть репрезентативными, т.е. наиболее полно охватывать объекты (территории) мониторинговых наблюдений. При выборе объектов необходимо учитывать типичность физико-географических условий, направление и степень антропогенного воздействия как на региональном, так и на локальном уровнях.
5. Наблюдения должны проводиться по одной и той же программе на измененной человеком территории и на участках с ненарушенной природой. Такая синхронность необходима для сравнения изучаемых объектов и получения оценки антропогенных изменений природной среды.

С учетом этих требований должны выбираться методы слежения. Выделяют две основные группы методов слежения:

1. Контактные (как правило, наземные);
2. Неконтактные (дистанционные).

С помощью контактных методов в настоящее время получают большую часть информации, которая используется для оценки и прогноза состояния окружающей среды. Слежение и контроль за состоянием среды ведется на постоянных и временных пунктах наблюдения, расположенных на измененных человеком территориях и участках, не тронутых хозяйственной деятельностью. Последние необходимы для фиксации фоновых показателей функционирования природных объектов.

При проведении контактных (наземных) мониторинговых наблюдений широко используются геохимические, геофизические и индикационные

методы.

**Геохимические методы.** Сущность этих методов состоит в изучении распределения, миграции и концентрации химических элементов и их соединений в различных геологических средах. Геохимические методы позволяют проследить поступление химических элементов в экосистему естественным путем и в результате хозяйственной деятельности человека, выявить интенсивность их водной и воздушной миграции.

Геохимические методы дают возможность определить закономерности изменения химического состава природных компонентов и комплексов, их устойчивость к различным веществам и способность к самоочищению, выявить вероятность формирования техногенных аномалий, скорости распространения и пространственные масштабы загрязнения.

Геохимические методы включают в себя отбор проб воздуха, воды, почв, горных пород, растений с целью определения химического состава этих компонентов. Для определения химического состава компонентов используются различные методы аналитической химии.

При выборе метода анализа учитываются следующие характеристики:

- селективность метода, т.е. возможность обнаружения искомого элемента в присутствии других;
- чувствительность метода (наименьшее количество искомого элемента, которое может быть обнаружено);
- величина относительной ошибки метода – точность определения искомого элемента.

Современные аналитические методы определения состава компонентов окружающей среды, подразделяются на физические, физико-химические и химические. Из физических методов чаще всего используют рентгенофлюоресцентную спектрометрию, атомноабсорбционную спектрометрию, газовую и жидкостную хроматографию, потенциометрию, спектрофотометрию, иммунно-флюоресцентный анализ.

Сущность **геофизических методов** заключается в изучении процессов поступления и превращения веществ и энергии в экосистемах на основе использования балансового подхода. Наблюдения проводят в стационарных условиях на постоянных участках с применением специальных измерительных приборов по определенной программе и методике. Программа включает инструментальное измерение элементов радиационного, теплового и водного балансов, исследование тепло- и влагообмена между компонентами окружающей среды, водно-теплового режима.

**Индикационные методы** основаны на определении состояния одного объекта по состоянию другого, связанного с первым и более доступного для изучения. В последние 5-10 лет особое внимание уделяется методам биологического мониторинга, которые основаны на использовании живых организмов, особенно чувствительных к конкретным химическим веществам. Использование методов биомониторинга не требует больших экономических затрат (дорогостоящей аппаратуры, больших лабораторий и т.д.), а также позволяет оценить качество среды в случаях, когда количественное содержание

загрязнителя может быть определено каким-либо методом, но отсутствуют сведения о биологической активности загрязнителя.

Биомониторинг является составной частью экологического мониторинга и включает в себя следующие подсистемы: биотестирование, биоиндикацию и биоаккумуляцию. Биотестирование и биоиндикация - это два схожих исследовательских приема, в которых о качестве среды, о факторах, воздействующих на эту среду, судят по выживаемости, продуктивности, поведению, а также по различным физико-биологическим параметрам живых организмов. Биотестирование подразумевает использование живых организмов, специально помещаемых в данную среду (тест-объекты), а биоиндикация - живых организмов, естественным образом обитающих в данной среде.

Биоаккумуляция – частный случай биотестирования или биоиндикации, в котором о качестве среды, о факторах, воздействующих на эту среду, судят по степени накопления вредных веществ в живых организмах.

Методы биотестирования широко применяются во всем мире. Например, в Голландии на больших площадях страны используются гладиолусы и тюльпаны, которые являются тест-объектами на накопление фторидов, а итальянская ржаная трава – тест-объект на накопление ионов тяжелых металлов.

Биотестирование осуществляется также с помощью гидробионтов (подводных существ) и таких высокочувствительных тест-объектов, как дафнии, мидии, пиявки, инфузории, хлорелла и другие. Они используются для оценки загрязнения водных объектов ионами тяжелых металлов, нефтепродуктами, для оценки УФ-излучения и т.п. Так, для анализа качества воды на водозаборах Санкт-Петербургского Водоканала используют раков. Их содержат в специальных клетках, а к панцирям приклеивается миниатюрный датчик, с помощью которого осуществляется наблюдение за сердечным ритмом (кардиоактивностью) биодатчика. В рыбных хозяйствах качество воды тестируют по состоянию печени рыб.

Одним из методов биоиндикации является метод лишеноиндикации (от латинского «лихенос» - лишайник), который основан на учете количества лишайников в городских насаждениях, районах крупных предприятий и т.д. Установлена четкая связь между «полями загрязнения воздуха» в городах и встречаемостью лишайников на стволах деревьев.

Биоаккумуляция примесей наблюдается у некоторых живых организмов. Например, ртуть, мышьяк и другие тяжелые металлы интенсивно накапливаются в рыбах, в волосах человека. В Японии весьма успешно разводят асцидии - морские организмы, которые концентрируют ванадий. После их сжигания из золы получают соединения ванадия.

В последние годы большое внимание уделяется мониторингу биологического разнообразия. **Биоразнообразие** – это разнообразие видов в конкретной экосистеме. Биоразнообразие – самый важный биологический индикатор состояния биосферы и входящих в ее состав биомов, который чутко реагирует на воздействие человека. **Биом** – это экосистема с преобладанием растений одной жизненной формы (например, альпийские луга, тайга).

В современном мире ежедневно исчезает от 1 до 10 видов животных и

еженедельно – 1 вид растений. Гибель одного вида растений ведет к уничтожению примерно 30 видов мелких животных (прежде всего, насекомых и червей).

Мониторинг биоразнообразия включает слежение и контроль за многообразием видов, флористическим и фаунистическим разнообразием территорий и акваторий, разнообразием биоценозов. Его задача состоит в том, чтобы регулярно составлять информацию о том, где и с какой скоростью изменяется биоразнообразие. В связи с этим разрабатываются стандартные методы мониторинга и определяются приоритеты, которые должны обеспечить накопление данных, необходимых для понимания современного и будущего статуса биоразнообразия. В настоящее время создаются системы мониторинга изменений биоразнообразия в различных регионах нашей страны и планеты в целом.

Средствами реализации экологического мониторинга являются: стационарные станции; передвижные посты; дистанционные методы (аэрокосмический мониторинг); автоматизированные системы.

**Стационарные станции** позволяют в ручном или автоматизированном режиме замерять отдельные параметры окружающей среды (например, концентрацию веществ в атмосферном воздухе, метеорологические параметры) и передавать их на центральный сервер для обработки и составления прогноза. В последнее время передача сигналов на центральный сервер осуществляется с использованием сети GSM. Сигналы с GSM-контроллера системы передаются SMS (Short Message Service – передача коротких сообщений)-сообщениями или в диалоговом режиме на центральный пульт экологического мониторинга.

**Передвижные посты** оборудуются на шасси автомобилей различных марок. Они содержат измерительные приборы, позволяющие контролировать содержание токсичных веществ в воздушной, водной среде или в почве.

**Дистанционные методы** мониторинга основаны на бесконтактной регистрации с летательных аппаратов отраженного солнечного излучения и собственного излучения поверхности Земли. Преимущество дистанционного зондирования (прежде всего, из космоса) заключается в возможности достаточной регулярности наблюдений, оперативности, обзорности территорий и акваторий в различных диапазонах спектра.

Аэрокосмические системы позволяют реализовывать задачи глобального мониторинга. Для этого создается постоянная орбитальная система, включающая спутники со специальным комплектом аппаратуры. Мониторинг с помощью аэрокосмических систем позволяет понять функционирование Земли как природного комплекса.

Для определения уровня загрязнения воздуха используются автоматизированные системы наблюдений и контроля окружающей среды, которые являются стационарными. Они оснащены устройствами непрерывного контроля и анализа проб воздуха и передачи информации по каналам связи в центр управления состоянием воздушной среды в заданном режиме. Временные (экспедиционные, периодические, сезонные) наблюдения позволяют уточнить данные постоянных станций, обсерваторий, пунктов,

постов наблюдений.

Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ) Российской Федерации состоит из стационарных и подвижных постов ежедневного наблюдения за состоянием ОС (атмосферного воздуха, поверхностных вод и почвы). Данные о концентрации ЗВ в окружающей среде добываются методами дифференциальной диагностики (выборочный по месту, времени, перечню ЗВ отбор и физико-химический анализ проб ОС). Полученные данные сопоставляются с нормами ПДК.

Комплексная оценка экологической обстановки основывается на данных всех видов мониторинга, в том числе и на данных о состоянии здоровья населения, получаемых системой медико-экологического мониторинга. По степени превышения реальных концентраций ЗВ норм ПДК судят о степени загрязнения ОС.

## **1.2 Основные характеристики обитания биоиндикаторов**

### **1.2.1 Влияние местной циркуляции на загрязнение воздуха**

В воздухе обитают растительные биоиндикаторы качества воздуха – фитоцены. Важнейшим параметром атмосферы, влияющим на загрязнение воздуха, является ветер, орографические особенности и характер местной циркуляции. Хорошо «проветриваемая» территория даже при большом атмосферном загрязнении может сохранять сравнительно благоприятные санитарные условия.

Местная система циркуляции воздуха формируется под влиянием разности температур и барических градиентов атмосферы давлений. На местную систему ветров оказывает влияние характер растительности и местоположение поселения. Растительный покров оказывает влияние на степень охлаждения воздуха. Так, лесополоса может приостановить или отклонить воздушный поток. Лесные (лесопарковые) массивы, могут служить зонами застоя загрязнённого воздуха.

Водоёмы (реки, озера, пруды) способствуют образованию отрицательных днём и положительных в ночное время градиентов температуры воздуха. Тип растительного покрова оказывает влияние на степень влажности воздуха. От этого также зависит степень и характер загрязнения. Высокая влажность атмосферы способствует превращению газообразных отходов в токсичные соединения и в тоже время газообмену в растениях, а значит и образованию кислорода.

Под влиянием неровностей местности изменяется характер движения и турбулентный режим воздушных потоков, что вызывает существенное изменение концентрации веществ, распространяющихся от источников загрязнения. Установлено, что наибольшие концентрации вредных веществ наблюдаются на подветренном склоне холма (препятствия), если высота источника загрязнения ( $H$ ) меньше высоты холма ( $h$ ). С увеличением  $H$  влияние холма (препятствия) снижается, а при  $H/h > 0,5$  оно сравнительно мало. При  $H > h$

максимальные концентрации для криволинейной поверхности рассчитываются так же, как для плоскости.

В результате взаимодействия воздушных потоков с различными препятствиями образуются вихревые зоны, влияющие на поле концентрации загрязняющих веществ в воздухе. Размер вихревой зоны зависит от высоты и пространственного расположения препятствия, от скорости и направления ветра. При средней скорости ветра (5...10 м/сек) размер вихревой зоны за зданием (препятствием) может составлять от 6 до 8 высот здания. Внутри этих зон градиенты скорости воздушных потоков резко падают, что должно приводить не только к повышению концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе вихревой зоны, но к интенсивному осаждению вредных веществ на местности.

В городских условиях образованию вихревой циркуляции способствует также неодинаковый прогрев стен зданий. Например, на Невском проспекте в Санкт-Петербурге утром прогревается западная сторона, а во второй половине дня – восточная. Это учитывается при выборе пешеходных экскурсионных маршрутов, чтобы туристы меньше дышали выносимым с проезжей части загрязненным воздухом, поступающим на освещенную часть прогретых стен зданий. Хотя ветра с Финского залива активно продувают Невский проспект.

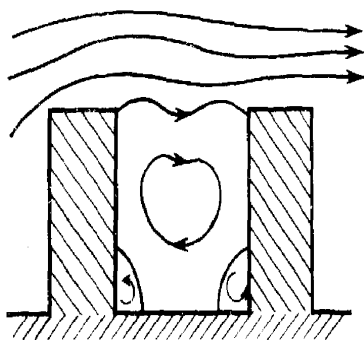


Рис. 1.4 Образование вихрей на плотно застроенной улице.

Плохо продуваемая ветрами местность особенно сильно страдает от температурной инверсии, когда температура растет, а не понижается с высотой. В этом случае слой теплого воздуха лежит на слое холодного воздуха, блокирует его, препятствуя смешению с более высокими слоями воздуха. В результате этого приземный слой воздуха за короткий промежуток времени быстро насыщается пылью и газообразными отходами.

Возникновение температурной инверсии и ее продолжительность зависят от времени года. Летом наблюдаются более слабые инверсии, тогда как зимой может образовываться более устойчивая температурная инверсия, которая может удерживаться много дней подряд, способствуя возникновению смога.

Территория мегаполисов заметно перегрета относительно окрестностей. Следствием этого являются городские бризы. Городские бризы движутся (со скоростью до 3 м/с) к центру города днем (с 10 до 16 часов) и в ночное время. В результате этого над городской территорией, в зависимости от размера города, образуется куполообразная мгла, высота которой достигает 1,5...2,5 км.

Концентрация загрязняющих веществ в городе целиком зависит от термической стратификации атмосферы. Днем, когда атмосфера стратифицирована неустойчиво, концентрация вредных примесей принимает минимальные значения. В ночное время концентрация вредных веществ возрастает, достигая максимума перед восходом солнца.

В гористой местности характер циркуляции усложняется.

Загрязняющие вещества в виде аэрозольных частиц размером менее 1 мкм могут находиться в атмосфере до 1000 и более часов, что способствует их дальнейшему переносу.

Ветер является решающим фактором в миграции саранчи, тлей, перелетных птиц, в распространении эпифитотий, пожаров.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность, котельные и автотранспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается, в зависимости от экономического благополучия страны и климатических условий.

Продукты сгорания автомобильного транспорта, как показали зарубежные исследования, содержат вредные для растительных и живых организмов вещества, в том числе тяжелые металлы и чрезвычайно токсичный тетрахлордифенилдиоксин (ТХДД).

На автомагистралях с интенсивным движением автотранспорта допустимые нормы загрязнения атмосферного воздуха диоксином превышают в 3,5 раза, а содержание диоксинов и диоксиноподобных токсикантов в почве на расстоянии до 20 м от автомагистралей может в 18 раз превышать допустимый уровень.

При наличии высоких заводских труб большая часть промышленных выбросов пробивается через инверсионную «блокаду» в верхние слои и переносится на большие расстояния. Коммунальные котельные и автотранспорт загрязняют нижние приземные слои атмосферы и поэтому способствуют накоплению вредных веществ в атмосферном воздухе.

## 1.2 Условия обитания биоценозов в водной среде

Граница между сушей и морем, где обитают животные-биоиндикаторы, отмечена приливами и отливами, изменяющимся уровнем воды. Под влиянием Солнца и Луны вода с периодичностью около 12,5 часа отступает, обнажая часть берега, потом вновь прибывает и заливают поверхность отмели. Условия приливо-отливной зоны часто, быстро и резко меняются.

Водоросли и отмершие животные, экскременты накапливались бы в иле на дне, если бы их не разрушали бактерии. После разложения на составные элементы, растворимые в воде, они вновь попадают в толщу воды и используются свободноплавающими и прикрепленными одноклеточными и многоклеточными водорослями, за счет которых, в свою очередь, существуют животные.

На подводных склонах океанических островов водоросли встречаются на глубине до 100 м, тогда как в менее прозрачной воде прибрежной зоны материков граница их распространения лежит на глубине от 30 до 40 м.

Процессы обмена, типичные для морского мелководья, характерны и для других участков моря. Однако их значение уменьшается по мере удаления от берега или с возрастанием глубины.

Воды открытого океана отличаются от прибрежных значительно меньшим содержанием минеральных веществ, необходимых для развития растений. Вследствие этого сокращается количество микроскопических водорослей и животных. Мореплаватели судят об этом уже по синему цвету прозрачной воды открытого океана, более бедной водорослями и животными, чем зеленая, мутноватая прибрежная вода.

Рис. 1.5 Вертикальная и горизонтальная зональность моря

Лишь малая доля мирового запаса воды приходится на пресную воду. Но именно внутренние пресноводные водоемы составляют основу всякой органической жизни на материках.

Характер, вид и содержание вод суши определяется рядом обстоятельств. Гидрографические особенности связаны с разломной структурой земной коры. По характеру коренных пород, слагающих озерное ложе, можно судить разрушают ли воды свои берега.

Климат также оказывает свое воздействие на температуру и водный режим озера. Наличие живых существ, которые могут развиваться только при соответствующих им свойствах водах, определяется характером грунта: состоит ли он из рыхлых отложений, богатых питательными веществами, или песка и коренных пород, бедных известью и пищей или из болотного ила, богатого гумусом. В стоячих водах это легко распознать по прозрачности воды.

В течение длительного периода времени вода не остается совершенно одинаковой. Изменения могут быть различного характера.

В озерах источником энергии служит солнечный свет. Часть его поглощается планктоном и используется в процессе фотосинтеза. Часть света поглощает вода. Поэтому с увеличением глубины освещенность уменьшается. В глубоких озерах существует некий компенсационный уровень, ниже которого зеленые растения не могут поддерживать свой фотосинтез.

Глубина, на которой находится компенсационный уровень, зависит от прозрачности воды. Выше этой глубины растения выделяют больше кислорода, чем потребляют. Избыточный кислород могут использовать другие организмы. Ниже этой глубины фотосинтез не может обеспечить дыхание, поэтому организмам доступен лишь кислород, поступающий с водой из более поверхностных слоев.

Укореняющиеся водные растения, такие, как водяные лилии и камыши, растут на мелководных участках озера. Среди этих растений находят себе убежище и пищу рыбы, головастики, насекомые и другие членистоногие, моллюски и черви. На открытой поверхности озера обитают свободно плавающие растения, которым необходим свет, и животные, которым необходимо обилие кислорода.

На большей глубине, где меньше кислорода и недостаточно света для протекания фотосинтеза, главным источником энергии служат мертвые растения и животные, опускающиеся сверху. Организмы – редуценты, рыбы и

беспозвоночные, способные переносить низкое содержание кислорода, питаются этими остатками, а также поедают друг друга.

Сильное влияние на жизнь озера оказывает температура. Вода характеризуется одной уникальной особенностью: при 4°C она обладает наибольшей плотностью. Поэтому слои воды, имеющие температуру 4°C, опускаются ниже слоев, имеющих более высокую или более низкую температуру. В результате этого зимой вода с температурой ниже 4°C поднимается вверх и, охлаждаясь до 0°C, замерзает, покрывая озеро слоем льда. Этот слой служит изоляцией, предохраняя лежащую под ним воду от полного замерзания, так что обитатели озера выживают под слоем льда в воде, которая в течение всей зимы сохраняет температуру от 0 до 4°C.

Весной солнце растапливает лед и нагревает поверхностные слои воды, которые с приближением их температуры к 4°C погружаются вниз, заставляя лежащую под ними более холодную воду подниматься вверх. Этому весеннему перемешиванию способствуют ветер и волны. Такое перемешивание имеет важное значение, потому что вода, поднимающаяся вверх, приносит с собой питательные вещества, содержащиеся в донных отложениях, и обитающие у поверхности фотосинтезирующие организмы могут использовать их. В свою очередь вода, перемещающаяся из поверхностных слоев озера в придонные, приносит кислород редуцентам и другим обитателям дна озера. При этом, как и в атмосфере в водоемах выделяют слой с суточными и сезонными вариациями температуры.

Рисунок 2.7- Температура воды в равное время года на разной глубине в озере, находящемся в умеренной зоне [21]

По продуктивности озера можно разделить на две группы. Эвтрофные («многокормные») озера – относительно мелководные, богаты элементами питания и бедны кислородом. В отличие от них олиготрофные («малокормные») озера обычно более глубокие, с более крутыми берегами и менее богаты элементами питания; вода в них прозрачная и до самого дна может содержать много кислорода.

Обычно озеро медленно наполняется осадочным материалом и мертвым органическим веществом и постепенно эвтрофируется. В конце концов оно превращается в верховое или низинное болото, а затем и в сушу. В случае глубокого олиготрофного озера этот процесс может тянуться миллионы лет.

Проточные воды оказывают большое влияние на биоценозы. Дно ручьев с сильным течением обычно покрыто грубой галькой, а рек с более медленным течением – донными отложениями. Проточная вода переносит на большие расстояния тепло, кислород, азот, углекислый газ, соли, органические и неорганические соединения.

Если в стоячих водах эти вещества образуют своеобразные слои, то в проточных водах на больших расстояниях сохраняются относительно

одинаковые условия жизни. Изменение экологической ситуации здесь происходит очень медленно. Животные могут сноситься течением в места с аналогичными условиями существования.

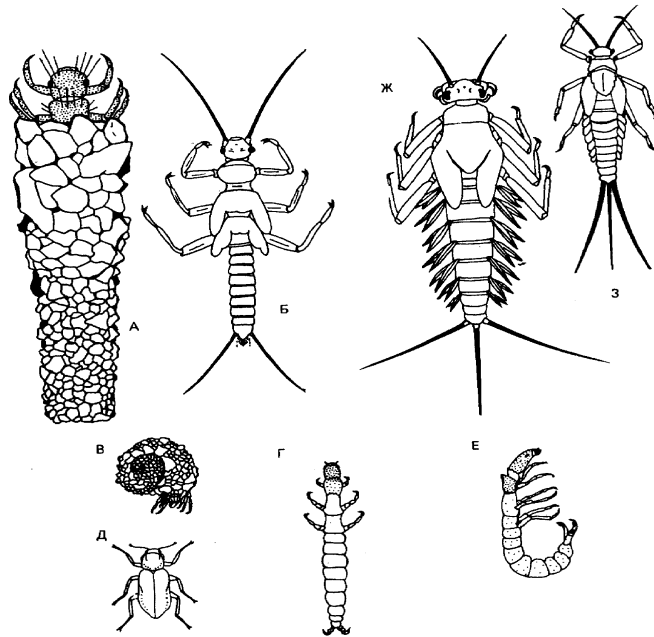


Рисунок 2.8 - Типичные насекомые, обитающие в ручьях. Удлиненное тело, слабое развитие или отсутствие жабр. Все эти насекомые живут в высокогорных притоках Амазонки, однако точно такой же тип жизненной формы встречается в горных ручьях всех континентов.

А, В - личинки ручейников в своих домиках; Б - личинка веснянки; Г, Е - хищные, свободно живущие личинки ручейников; Д - жук-прицепыш; Ж, Э - личинки поденок.

Реки и ручьи с быстрым течением отличаются свежей водой и достаточным количеством кислорода, так как в холодной воде растворяется больше кислорода, чем в теплой. Поэтому жабры ручьевых форм животных обычно небольшие. У многих личинок насекомых из горных ручьев вообще нет жабр, и они дышат через нежные покровы в промежутках между члениками их тела. Обитатели ручьев, как правило, чувствительны к наличию кислорода в окружающей среде. Если вода теплеет или замедляется течение – они быстро погибают.

В медленно текущих равнинных реках температура воды выше и как следствие кислорода меньше, поэтому у речных форм ихтиофауны сильнее развиты жабры. У многих видов даже имеются добавочные вспомогательные жабры на других участках тела.

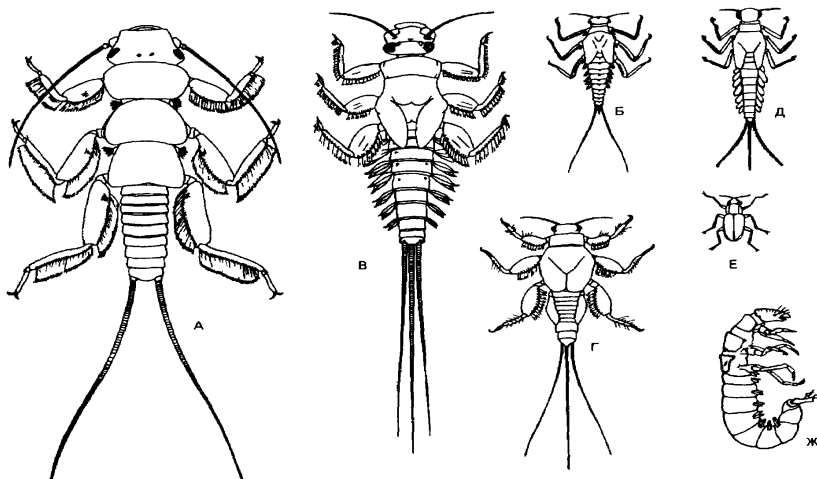


Рисунок 2.9-Типичные речные насекомые.

Тело и конечности уплощены. Жабры хорошо развиты, часто присутствуют добавочные жабры. Эти насекомые обитают в притоках Амазонки, Перу, такие же жизненные формы встречаются в реках любого континента.

А - личинка веснянки; Б, Д - личинки поденок; Е - жук-прицепыш; Ж - свободноживущая хищная

личинка ручейника.

Обтекаемая форма тела обеспечивает наименьшее сопротивление потоку. Не только многим донным беспозвоночным, но и рыбам присуща такая форма тела, как результат приспособления к жизни в текучей воде.

Для обитателей быстрых рек и ручьев характерно более или менее округлое в поперечном сечении тело и, следовательно, мощная мускулатура туловища. Форели, например, чтобы «застыть на месте», приходится плыть против течения порой со скоростью более метра в секунду. А ведь она может часами удерживать такое положение, поджидая добычу.

Рыбы, обитающие в спокойных реках или в стоячей воде, не нуждаются в столь мощных мускульных усилиях, а потому «узкогруды» - то есть их поперечное сечение сплющено. Даже рыбы, способные проплыть по реке вверх по течению от устья до верховий, все же оказываются узко приспособленными к определенным значениям температуры воды и скорости течения.

Ихтиологи давно отметили эту закономерность распространения рыб и соответственно подразделяют реку на определенные зоны. Например, в Европе различают в реках от истоков до устья следующие зоны: форели, хариуса, усача, леща, ерша и речной камбалы. Чаще, правда, сейчас говорят о двух зонах - лососевых и карповых рыб, так как форель и хариус относятся к семейству лососевых (*Salmonidae*), а усач и лещ - к семейству карповых (*Cyprinidae*) рыб.

Зоны, выделенные ихтиологами, пригодны и для описания особенностей распространения донных беспозвоночных (бентоса). Личинки насекомых, ракообразные, моллюски и водяные клещи, так же как и рыбы, распределяются в реке в соответствии с градиентом того или иного фактора и входят в состав определенных биоценозов. Эти зоны, так же как и более общие понятия «ритраль» для ручьев и «потамаль» для рек, представляют, таким образом, тип местообитания для сообществ, которые в лимнологии носят соответственно названия «ритрон» и «потамон».

Некоторые лимнологи считают, что соответствующие местообитания (биотопы) характеризуются внешне совершенно определенными признаками, так что специалист может их выделить даже просто по карте.

Особенно важную роль здесь играет рельеф местности и форма речной долины. Если русло горного ручья в верховьях обычно представляет почти прямую линию («зона форели»), то в «зоне хариуса» появляются петлеобразные извилины (меандры) и омуты. В «карповой зоне» река еще более извилистая, местами здесь образуются старицы.

К грунтовым водам относятся все воды, находящиеся под поверхностью земли в наружном слое земной коры. Осадки, стекая по щелям трещинам и пустотам, имеющимся в различных горных породах, образуя подземные потоки, и в конце концов в виде родников и ключей снова попадают в наземные водоемы. Когда дождевая вода просачивается сквозь почву, на поверхности почвенных частиц удерживается тонкая водная пленка; избыточная вода просачивается дальше и заполняет в глубине все пустоты.

Рисунок 2.10 Различные формы речных долин и приуроченные к ним зоны

ихтиофауны (*слева*: поперечный разрез, *справа*: вид на долину сверху).

А - зона форели; Б - зона хариуса; В - зона усача; Г - зона леща.

Свободная поверхность (зеркало) грунтовых вод отделяет зону почвенного увлажнения от собственно грунтовых вод. Вода заполняет проницаемые для нее водоносные слои с пустотами, пока не достигает водонепроницаемых (водоупорных) горных пород, над которыми подземные потоки текут более или менее широким фронтом. Если в глубине водоносные слои чередуются с водоупорными, говорят о водоносных горизонтах. Там, где выше расположенный водоносный горизонт соединяется с более глубоким, давление верхнего передается на нижний – так образуются напорные грунтовые воды. Если пробурить скважину до их уровня, вода под давлением поднимается на поверхность.

Наиболее проницаемы для грунтовых вод рыхлые речные и ледниковые отложения. Естественно, что величина частиц грунта определяет объем пор, которые в песке, гальке, гравии или среди валунов будут различны. Там, где подземная вода заполняет трещины, расселины и полости скальных пород, она их расширяет.

В легкорастворимых горных породах из доломита, известняка и гипса в результате совместного действия просачивания поверхностных вод и растворения образуются соединенные между собой карстовые пустоты, порой весьма причудливой формы. В них текут подземные ручьи и реки, колебания уровня воды в которых в течение года могут достигать более десяти метров.

Грунтовые воды, заполняющие промежутки между песчинками и гравием, трещины, расселины и полости, порой населены бесцветными слепыми существами. Постоянный ток воды под землей создает условия для формирования специфических сообществ, так как необходимые для поддержания их жизни вещества могут поступать сюда только с водой. Постоянно обновляемые грунтовые воды должны содержать хотя бы минимальные количества растворенного кислорода и быть лишены вредных веществ, таких, например, как сероводород.

Возможность существования подземного мира животных зависит и от кормовой базы. Она может пополняться лишь благодаря постоянному обмену грунтовых вод: органические остатки попадают с поверхности земли в грунтовые воды и служат начальным звеном пищевой цепи, которая состоит из потребителей этих остатков и питающихся ими хищных обитателей подземных вод. Таким образом, подземные водоемы нуждаются в постоянной «подкормке» с поверхности земли, потому что в условиях вечной тьмы водоносных пластов не могут существовать фотосинтезирующие растения, производители первичных питательных веществ. Поэтому, если просачивающаяся вода не выполняет почему-либо функции «двигателя» жизни, грунтовые воды будут мертвы. Впрочем, многие подземные обитатели в состоянии пережить безводные периоды.

Степень насыщения воды кислородом зависит от давления воздуха, температуры и других условий. Под влиянием температуры концентрация

растворенного в воде кислорода может изменяться почти в два раза. Это особенно важно для небольших водоемов.

Наибольшее количество растительного планктона в озере наблюдается весной, когда степень насыщенности воды кислородом велика. Эти резервы используются при дыхании животных и бактерий в течение всего лета, во время высоких температур, вплоть до наступления осеннего кислородного минимума. Зимой при низких температурах и небольшом поглощении кислорода живыми организмами вода вновь насыщается атмосферным кислородом.

Кроме сезонных вариаций кислородной кривой определенное экологическое значение имеют и суточные колебания содержания кислорода в воде. Ночью за счет дыхания животных содержание кислорода в воде озера снижается, а днем благодаря фотосинтезу водорослей вновь повышается. Изменения содержания кислорода, вызванные жизнедеятельностью животных, могут сопровождаться также изменениями, которые связаны с температурными условиями.

Если верхние слои воды в озере хорошо освещаются солнечными лучами и, благодаря фотосинтезу растительного планктона, обильно насыщены кислородом, то в нижних слоях воды и на дне озера (гиполимнион) почти совсем темно. Но именно здесь в основном протекают процессы дыхания животных и бактерий и при окислении кислорода образуются органические вещества. В особенности это относится к водоемам, изобилующим питательными веществами (эутрофным).

Вода в озерах всегда находится в движении, циркулирует под влиянием ветра, приливов, атмосферных осадков и других факторов. Осенью охлажденные водные массы опускаются с поверхности на глубину, и нижние слои воды обогащаются кислородом. В некоторых озерах это происходит дважды в году.

Озера, в которых циркулирующая вода не достигает дна (меромиктические), имеют в нижних слоях обширную бескислородную зону (монималимнион). Здесь нет жизни, потому что нет кислорода. В глубине таких озер можно встретить воды, содержащие сернистые соединения. Но если до слоев воды, содержащих серу, доходит солнечный свет, то и в них могут обитать мельчайшие живые организмы, такие, как красные серные бактерии из рода *Chromatium*. Окисляя соединения серы, они осуществляют бескислородный фотосинтез. Эти бактерии обитают и в узких полосах верхних слоев областей моря, где есть сернистые соединения и где чуть выше расположена зона, содержащая кислород, а ниже очень мало света.

Таким образом, существуют виды животных, для жизнедеятельности которых кислород не только не обязателен, но и вреден. Некоторые обитатели стоячих вод реагируют на недостаток кислорода своими собственными перемещениями. Например, в прудах, когда при высоких дневных температурах содержание кислорода в воде может снизиться, дафнии поднимаются к поверхности воды, и от их скопления вода окрашивается в буро-красный цвет. Такое стремление к перемене места дафний вызывается

освещенностью (положительный фототаксис) и указывает, прежде всего, на недостаток кислорода.

В проточных водах нет слоев, различающихся по содержанию кислорода. Волны, проточная вода постоянно насыщаются кислородом, большей частью поступающим из атмосферы. В стоячих же водах ночью за счет дыхания всех обитателей количество содержащегося в воде кислорода резко уменьшается. Днем и мхи, которыми обрастают гальки, и высшие растения - все вырабатывают кислород. В проточной воде его содержание выше всего в полдень и постепенно снижается к раннему утру.

В грунтовых водах распространение представителей животного мира определяется преимущественно присутствием кислорода. В богатых кислородом их слоях развита обильная и разнообразная почвенная фауна. Около земной поверхности находится слой с небольшим содержанием кислорода, что сказывается на условиях для дыхания бактерий, особенно в том случае, если воды загрязнены.

Солоноватые воды на границе распространения пресной и морской воды, имеют сложное распределение содержания кислорода. Здесь количество кислорода зависит не только от температуры, но и от содержания растворенных солей. Если содержание солей увеличивается, количество растворенного кислорода уменьшается. Большие колебания численности обитающих здесь животных связаны для многих видов, обитающих в зоне солоноватых вод, с насыщенностью их солями, поскольку изменения их концентрации влекут за собой изменения в тканях живых организмов. Примером могут служить песчаные крабы *Carcinus maenas*, обитающие в зонах приливов и отливов. Многие сходные виды, обитающие в областях с различным содержанием солей, потребляют и существенно разные количества кислорода. Так, бокоплав *Gammarus marinas*, обитающему в морской воде, необходимо 562 см<sup>3</sup> кислорода в час, а *Gammarus chevreuxi*, живущему в солоноватой воде, - 648, обитателю же пресных вод *Gammarus pulex* - 1098. Виды, особенно требовательные к концентрации растворенных солей, реагируют на ее изменение изменением частоты дыхания, и этот процесс, в конечном счете, может быть причиной гибели организма.

В Черном море фауна распространена до глубины около 180 м толщиной. Приблизительно на этой отметке проходит граница между зонами, которые содержат кислород или насыщены сернистыми соединениями.

Кислотность (щелочность) воды измеряется показателем pH. Водоемы с очень кислыми водами необитаемы, и жизни в них нет. Некоторые виды животных появляются лишь в водоемах с менее кислыми водами. Так, в мочажинах верховьев болот обитают характерные для них корненожки (раковинные амебы). Насекомые представлены рядом специализированных видов, тогда как моллюски отсутствуют полностью, а позвоночных животных очень мало. В какой мере можно считать отдельные виды животных из числа обитающих в кислых водах ацидофильными или только выносливыми к кислой среде, в большинстве случаев еще не решено.

С дальнейшим понижением кислотности вод видовой состав населяющих их животных резко расширяется. Самый богатый животный мир присущ нейтральным или слабощелочным водам. При значениях  $pH > 10$  лишь немногие виды еще сохраняют способность к длительному существованию. Даже близкородственные виды животных предъявляют весьма различные требования к величине  $pH$ , окружающей их среды-воды или почвы, - как по абсолютному значению, так и по амплитуде колебаний  $pH$ . Инфузория *Colpidium campylum*, например, выносит  $pH$  в пределах от 4,5 до 9, тогда как родственная ей *Spirostomum ambiguum* вполне жизнеспособна лишь при  $pH = 7,4-7,6$ .

Почвенные организмы зачастую бывают хорошо приспособлены к пониженным значениям  $pH$  или по крайней мере выносят их. Дождевой червь может жить и в слабокислых почвах; в таких условиях он «нейтрализует» почвенные кислоты с помощью выделяемой им извести. Влияние лишь непосредственно величины  $pH$  на жизнь животных удается распознать редко, поскольку одновременно с изменением  $pH$  воды часто меняются и другие ее характеристики.

Это имеет место не только в случае равновесной системы углекислота-карбонат, в которой изменение содержания любого компонента вызывает смещение всех частных равновесий. Для формирования широкой шкалы значений  $pH$  природа использует различные вещества, и, стало быть, уже только в силу одного этого следует ожидать, даже при одинаковой величине  $pH$ , что они будут оказывать различное воздействие на животных.

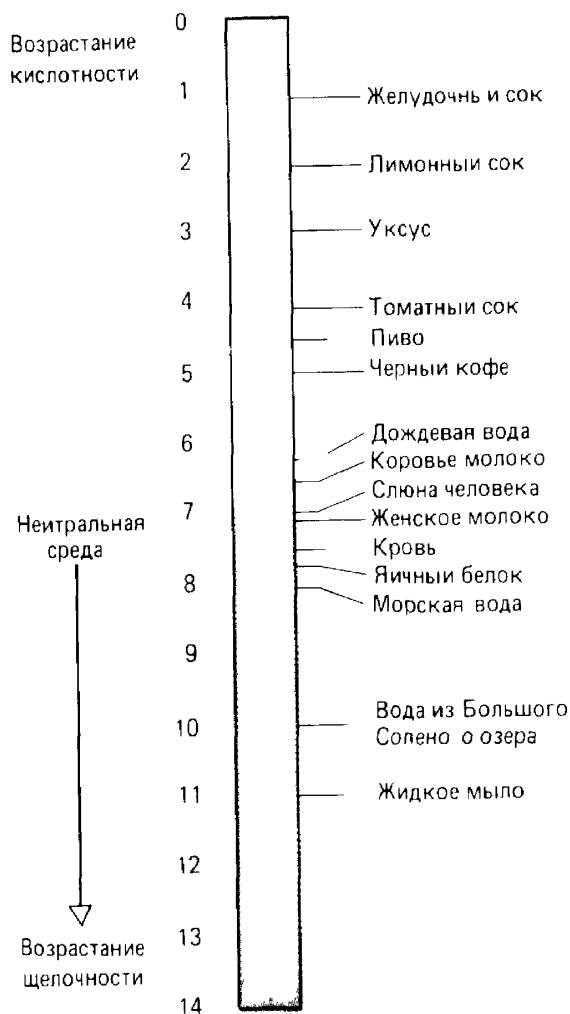


Рисунок 2.14 Логарифмическая шкала концентрации водородных ионов ( $pH$ ) на 1 л (кислотности или щелочности) жидкости.

Нейтральной реакции (не кислой и не щелочной) соответствует  $pH = 7$ . Для кислых сред  $pH < 7$ . Для щелочной среды  $pH > 7$ . Чистая вода нейтральна, потому что при ее диссоциации ионы  $H^+$  и  $OH^-$  образуются в равном количестве. Раствор с  $pH = 5$  содержит  $10^5$  моль  $H^+$  на 1 л (моль – число граммов химического вещества, равное его молекулярной массе).

Загрязнение водных объектов различными органическими и неорганическими веществами может принести большой вред. Поучительным примером служит история с фосфатным детергентом. В природные экосистемы весь фосфор изначально поступает из горных пород, а поскольку многие

экосистемы расположены на породах, содержащих мало фосфора, их продуктивность ограничивается недостатком этого элемента. Самым убедительным образом это было продемонстрировано в озерах. Люди непрерывно вносят в озера фосфор вместе со сточными водами, детергентами или удобрениями, стекающими с обрабатываемых земель. Это повышает продуктивность озера и ускоряет его эвтрофикацию, изменяя характер озера.

Многие глубокие олиготрофные озера, подобно озеру Тахо па границе между Невадой и Калифорнией, с начала пятидесятих годов стали заметно эвтрофизироваться вследствие загрязнения элементами питания. Самый явный симптом эвтрофикации помутнение воды, создаваемое усиленным размножением планктона. Другой признак уменьшение численности таких рыб, как форель, любящих чистую воду, богатую кислородом. Загрязняемое элементами питания озеро проходит через несколько стадий, прежде чем достигнет состояния с вонючей тиной на дне и берегами, усеянными погибшей рыбой.

Вначале загрязнение элементами питания способствует «цветению», или необычайно сильным взрывам численности популяции, водорослей. Некоторые водоросли выделяют токсины, отравляющие рыбу и делающие воду непригодной для питья. При отмирании водорослей бактерии разлагают их ткани и используют большую часть кислорода.

В иле, лишенном кислорода, разложение мертвых растений некоторыми бактериями сопровождается выделением сероводорода. В «здоровом» озере обитающие на дне фотосинтезирующие бактерии используют этот сероводород по мере его образования. Однако при большом содержании в озере удобрений или сточных вод у его поверхности появляется так много водорослей и бактерий, что до дна доходит очень мало света, и фотосинтезирующие серные бактерии растут плохо. Они не могут использовать весь образующийся сероводород, придающий загрязненному озеру его специфический запах.

Процесс эвтрофикации нельзя устранить, но его можно замедлить. Если прекратить сбрасывание в озеро сточных вод, то водоросли, питающиеся за счет этих вод, погибнут и опустятся на дно. Их замещения не будет. Вода станет более прозрачной, обогатится кислородом, и популяции рыб восстановятся.

Регулированием эвтрофикацией в семидесятих годах прошлого века было очищено несколько озер и рек. В Англии лососи стали подниматься по Темзе до Лондона. После очистки озера Вашингтон вблизи Сиэтла в нем стали купаться, кататься на лодках и ловить рыбу.

Другой вид загрязнения воды – тепловое загрязнение, возникающее в результате внесения в воду дополнительного тепла, например в тех случаях, когда электростанция использует озерную воду для охлаждения турбин. Поскольку при более высокой температуре рост растений ускоряется, при тепловом загрязнении продуктивность озера возрастает и, так же как и при загрязнении биогенными элементами, эвтрофикация ускоряется.

Помимо этого повышение температуры воды может задержать и даже подавить размножение, развитие или рост некоторых рыб и беспозвоночных.

При достаточно высокой температуре организмы просто гибнут. Неестественное подогревание воды может также увеличить промежуток между весенним и осенним перемешиваниями, нарушая нормальные сроки пополнения запасов элементов питания у поверхности воды и запасов кислорода – вблизи дна. Термического загрязнения озер можно избежать, если пропускать воду, использованную для охлаждения, через башенные охладители или градирни, где она теряет часть тепла, прежде чем вновь попадает в озеро или реку.

### 2.3 Характеристики обитания фитоценозов и биоценозов в почве

Условия жизни в почве совершенно особые. Здесь постоянно меняются количественные соотношения минеральных и органических веществ, состав воды и воздуха. Слои земли, населенные живыми существами, имеют зернистую структуру и содержат многочисленные пустоты (поры). В них, заполненных частично водой, частично воздухом, живут подземные обитатели.

Крупные поры служат для дыхания почвы, средние, представляющие собой трубочки толщиной с волосок, проводят воду, наконец, в мельчайших порах она сохраняется дольше всего и служит запасом на сухое время.

Особенности структуры и увлажнения почвы определяют ее микроклимат, так что говорят о «теплых» и «холодных» почвах. Комковатая структура почвы с множеством воздушных пор благоприятна для почвенных организмов и образования «теплых» почв. Весьма увлажненные почвы за счет большей теплопроводности более «холодны».

В различных почвенных зонах концентрации кислорода и углекислого газа могут быть различными. В перегное, где образуются многие органические вещества и происходят процессы дыхания многих организмов, содержание двуокиси углерода может достигать 5%. Эти условия определяют животный мир почвенного слоя. Так, ногохвостки (коллембола), обитающие в приповерхностных слоях (*Orchesella villosa* и *Tomocerus vulgaris*), переносят содержание углекислого газа в воздухе в количестве до 2%, в то время как обитающие на большой глубине *Onychiurus armatus* выживают при его концентрации, достигающей до 35%.

Дождевой червь *Lumbricus terrestris* при высоком содержании углекислого газа в воздухе может существовать довольно долго, но во время сильных дождей, когда вода преграждает газам доступ в почву, он перебирается в другие слои почвы или выползает на поверхность (из-за этого он и получил свое название). Потребность в кислороде обитающих в почве разнообразных животных различна. Соответственно также отчетливо и зональное распределение обитателей почвы, определяемое в первую очередь необходимыми условиями дыхания.

Особые условия жизни в почве не только налагают отпечаток на строение тела обитающих в ней животных, но и обуславливают специфику их поведения. У многих почвенных обитателей наблюдается редукция светочувствительных

органов. В более глубоких слоях почвы отсутствуют зеленые растения, то есть выпадает один из основных источников пищи почвенных животных.

У многих почвенных животных имеется способность сворачиваться в плотный шаровидный комочек, что может рассматриваться как защитное приспособление против хищников. Свертываться умеют панцирные клещи, мокрицы и многоножки-броненосцы (*Glomeris*).

Живущие в почве организмы можно распределить в соответствии с их образом жизни на группы: включенные в почву – бактерии и грибы; «плавающие» в почвенных порах - жгутиковые, инфузории и мелкие нематоды; ползающие - корненожки, коловратки, энхитреиды, некоторые дождевые черви, многоножки, мокрицы, клещи, ногохвостки и многие личинки насекомых. роющие - большинство многощетинковых и дождевых червей, многие насекомые и их личинки, а также временные обитатели почвы, такие, как крот и некоторые мышевидные млекопитающие.

Весьма часто облик наземных биоценозов определяется минимальным количеством влаги. Так как почва нередко высыхает, то некоторые ее обитатели, такие, как почвенные амебы, жгутиковые, инфузории, коловратки и тихоходки, способны образовывать цисты - капсулы с плотными оболочками, сохраняющиеся длительное время в неблагоприятных условиях. Другие же организмы, как некоторые нематоды, могут переживать засуху в состоянии оцепенения.

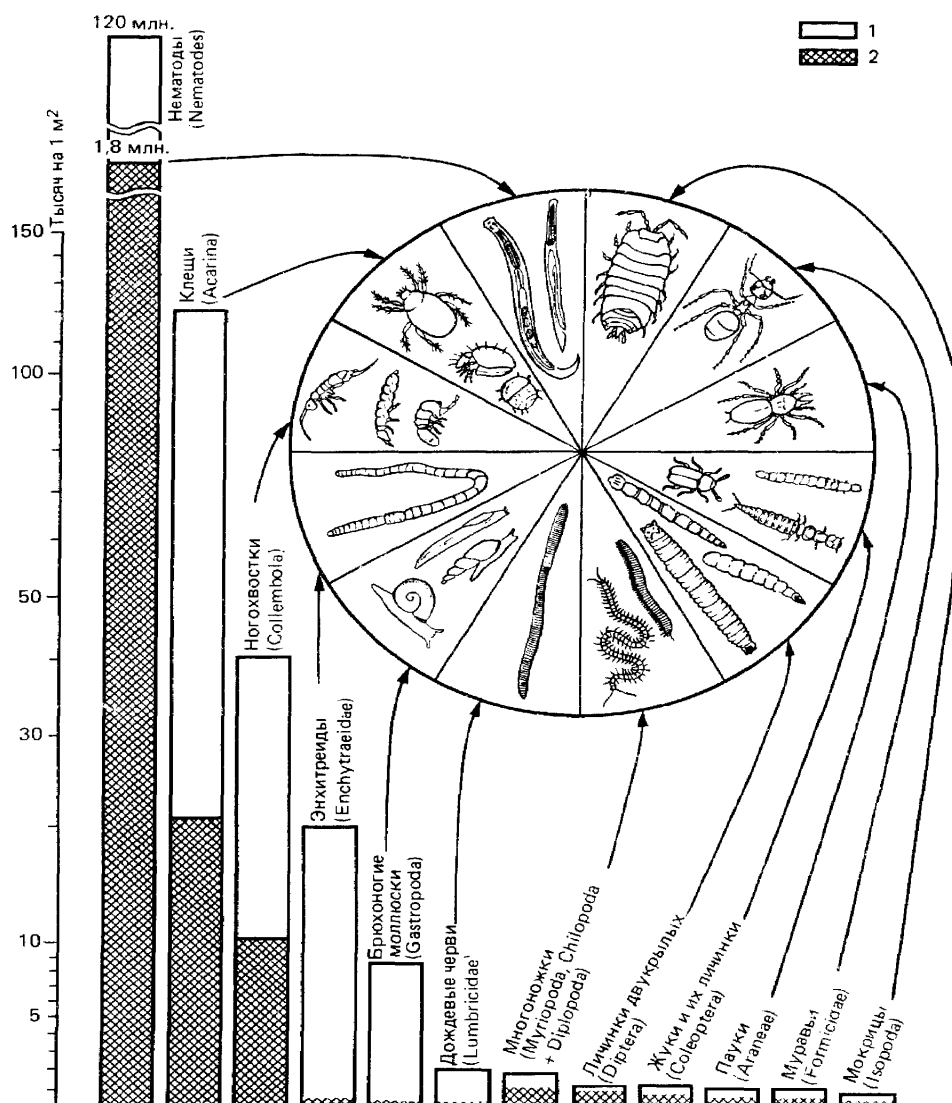


Рис. 1.15 - Плотность населения европейской луговой почвы (на 1 м<sup>2</sup>) до глубины около 30 см. 1-максимум; 2-минимум

Смена условий среды в почве вынуждает животных перемещаться из одного горизонта в другой - так возникают сезонные миграции. У дождевых червей амплитуда вертикальных миграций может превышать три и более метров.

Анализ обитаемости важнейших групп растений и почвенных животных в разных слоях почвы и различных систематических групп животных позволяет выявить количественные отличия между типами почв, их плодородность. Данные о численности групп растений и почвенных животных на квадратном метре почвы на глубине до 30 см приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики важнейших групп растений и животных, населяющих почвы Европы (в пересчете на блок с площадью 1 м<sup>2</sup> и глубиной 0,3 м)

| Группы  | Число организмов |             | Вес, в граммах |              |
|---|------------------|-------------|----------------|--------------|
|   | среднее          | оптимальное | средний        | максимальный |
| <i>Микрофлора (мельчайшие растительные организмы)</i> |                  |             | 50             | 500          |
| Бактерии  | 1 блн.           | 1000 блн.   | 50             | 500          |
| Актиномицеты  | 10 млрд.         | 10 блн.     | 50             | 500          |
| Грибы   | 1 млрд.          | 1 блн.      | 100            | 1000         |
| Водоросли   | 1 млн.           | 10 млрд.    | 1              | 15           |
| <i>Микрофауна (0,002-0,2 мм)</i>                      |                  |             |                |              |
| Жгутиковые ( <i>Flagellata</i> )                      | 0,5 блн.         | 1 блн.      |                |              |
| Корненожки ( <i>Rhizopoda</i> )                       | 0,1 блн.         | 0,5 блн.    | 10             | 100          |
| Инфузории ( <i>Ciliata</i> )                          | 1 млн.           | 100 млн.    |                |              |
| <i>Мезофауна (0,2-2,0 мм)</i>                         |                  |             |                |              |
| Коловратки ( <i>Rotatoria</i> )                       | 25 тыс.          | 600 тыс.    | 0,01           | 0,3          |
| Нематоды ( <i>Nematoda</i> )                          | 1 млн.           | 20 млн.     | 1              | 20           |
| Клещи ( <i>Acarina</i> )                              | 100 тыс.         | 400 тыс.    | 1              | 10           |
| Ногохвостки ( <i>Collembola</i> )                     | 50 тыс.          | 400 тыс.    | 0,6            | 10           |
| <i>Макрофауна (2-20 мм)</i>                           |                  |             |                |              |
| Энхитревды ( <i>Enchitraeidae</i> )                   | 10 тыс.          | 200 тыс.    | 2              | 26           |
| Моллюски ( <i>Gastropoda</i> )                        | 50               | 1000        | 1              | 30           |
| Пауки ( <i>Araneae</i> )                              | 50               | 200         | 0,2            | 1            |
| Мокрицы ( <i>Isopoda</i> )                            | 50               | 200         | 0,5            | 1,5          |
| Двупарногие ( <i>Diplopoda</i> )                      | 150              | 500         | 4              | 8            |
| Губоногие ( <i>Chilopoda</i> )                        | 50               | 300         | 0,4            | 2            |
| Прочие многоножки ( <i>Myriapoda</i> )                | 100              | 2000        | 0,05           | 1            |
| Жуки и их личинки ( <i>Coleoptera</i> )               | 100              | 600         | 1,5            | 20           |
| Двукрылые (личинки) ( <i>Diptera</i> )                | 100              | 1000        | 1              | 10           |
| Прочие насекомые                                      | 150              | 15000       | 1              | 15           |
| <i>Мегафауна (20-200 мм)</i>                          |                  |             |                |              |
| Дождевые черви ( <i>Lumbricidae</i> )                 | 80               | 800         | 40             | 400          |
| Позвоночные ( <i>Vertebrata</i> )                     | 0,001            | 0,1         | 0,1            | 10           |

Почва является естественным фильтром для загрязненных вод, падающих на нее с небес и сточных труб. Поэтому она аккумулирует загрязняющие вещества, которые частично остаются в ней или разносятся в грунтовыми водами.

## 1.2 Методы биодиагностики качества окружающей среды

Решение проблемы повышения эффективности экологического мониторинга заключается в рациональном сочетании (комплексировании) дифференциальной диагностики загрязнения ОС с методами биологической диагностики качества ОС. Последние основанные на оценке состояния

сообществ и отдельных особей живых организмов и природных экосистем.

Оценка состояния экологических систем представляет собой серьезную проблему. При оценке качества природной среды рекомендуется классификатор, в соответствии с которым при проведении экологического мониторинга определяют обилие и видовой состав растительных и животных организмов, а состояние каждого из этих биотических идентификаторов оценивается путем расчета соответствующих индексов устойчивости в загрязненной среде обитания. Недостатком этих показателей является то, что они игнорируют отношения между популяциями в реальных сообществах, например, конкуренция, мутуализм и др.

Этот недостаток был устранен В.А. Абакумовым [5] на основе развитых им представлений об экологических модификациях биоценозов. Он предложил ввести градации состояния экосистем: фоновое состояние, состояние антропогенного экологического напряжения, состояние антропогенного экологического регресса и состояние антропогенного метаболического регресса.

Идея использования эталонных экосистем была в основе системы экологического мониторинга [6]. В дальнейшем она была практически осуществлена в виде программы фонового мониторинга, как одного из элементов государственного контроля состояния природной среды. Поиск интегральных показателей нормы и патологии для функционирования экосистем [6,8] подсказывал выбор в качестве функции отклика показатели продуктивности их высших трофических звеньев. Для диагностики состояния водных экосистем использовались величины уловов и урожайности промысловых рыб [9] на протяжении последних 50 лет. Для экосистем, включающих человеческие популяции, в качестве функции отклика предлагались различные медико-демографические данные, обусловленные негативным воздействием загрязненной ОС.

Реализация биотического подхода к экологическому нормированию требует осуществления следующих этапов:

- создание статистически представительного банка биологических данных об исследуемой экосистеме;
- диагностики состояния экосистемы на шкале «норма-патология» по биотическим идентификаторам для каждого из наблюдений;
- создания банка данных об абиотических факторах среды, потенциально влияющих на экологическое состояние биоты, и совпадающих по времени и месту отбора с биологическими наблюдениями.

Сдвиг границы между оценками, объявленными благополучными и неблагополучными, меняет границу области нормального функционирования действующих факторов, а вместе с нею – и нормативы экологически допустимого уровня (ЭДУ). С учетом этого появляется возможность вводить дифференцированные ЭДУ воздействий для различных природных объектов (например, заповедных зон, зон рекреаций, хозяйственных территорий и др.).

ЭДУ на основе оценок по различным биотическим идентификаторам, естественно, могут различаться. Для выбора истинного норматива следует, как

в случае отбора оценок состояния, или выбрать приоритетный идентификатор, или, применив принцип наибольшей жесткости [10], отобрать наиболее жесткий норматив.

Метод ЭДУ позволяет:

- выделить из всего набора действующих факторов те, что вносят наиболее значимый вклад в экологическое неблагополучие исследуемого природного объекта;
- ранжировать отдельные факторы и их различные наборы по вкладу по степени неблагополучия;
- рассчитать для значимых факторов их ЭДУ;
- указать для незначимых факторов экологически безопасные границы, внутри которых состояние экосистемы в ее предыстории было заведомо благополучно;
- рассчитать допустимые уровни средних, пиковых и др. значений абиотических факторов;
- строить хронограммы сезонного и многолетнего допустимого уровня воздействия ОС;
- обнаружить неполноту наблюдений в действующих программах мониторинга;
- генерировать оптимальные пути выхода экосистемы из неблагополучных состояний.

Особенности отличия нормативов ЭДУ от нормативов ПДК:

- выделенные границы не универсальны, а отражают специфику данного региона, его фоновые характеристики и адаптационный потенциал биоты конкретных экосистем;
- ЭДУ каждого фактора определено с учетом действия на экосистему всего полного комплекса абиотических факторов, включая все те, что не учтены в программах мониторинга;
- нормативы ЭДУ получены не для изолированных лабораторных популяций, а для всей реально взаимодействующей в экосистеме биоты;
- ЭДУ учитывает не только прямые, но и косвенные эффекты воздействий;
- метод ЭДУ позволяет нормировать несубстратные воздействия на экосистемы, для которых не определяются аналоги ПДК.

ЭДУ может использоваться в качестве критерия при прогнозе изменения состояние экосистем. В этом случае составление прогноза становится тривиальным – необходимо выяснить, по какую сторону от границы нормального функционирования, или по какую сторону ЭДУ лежит каждое из заданных параметров негативного воздействия на экосистему. Состояние исследуемого объекта считается неблагополучным, если значение хотя бы одного воздействующего фактора выходит за пределы ЭДУ, и наоборот, - состояние благополучно, если значение всех факторов находятся в пределах ЭДУ.

Совершенно очевидно, что оценка экологической обстановки на территории в ходе формирования эффективной системы государственного экологического мониторинга невозможна без использования методов

биоидиагностики качества ОС.

Проведение оценки и обеспечение постоянного контроля состояния ОС является узловой задачей на всех этапах организации разумного природопользования для обеспечения устойчивого развития человечества в гармонии с природой, при котором человечество органично вписывает свою все возрастающую активность в естественные возможности планеты Земля.

Реализация основных принципов обеспечения такого устойчивого развития предполагает наличие объективной информации о состоянии среды в ответ на каждый новый шаг человечества на всех этапах (от планирования до практической реализации) любой деятельности, связанной с природопользованием.

Оценивать качество ОС, степень ее благоприятности для человечества необходимо, прежде всего, в целях:

- определения состояния природных ресурсов;
- разработки стратегии рационального использования региона;
- определения предельно допустимых нагрузок для любого региона;
- решение судьбы районов интенсивного промышленного и сельскохозяйственного использования, загрязненных территорий и т.д.;
- решения вопроса о строительстве, пуске или остановке определенного предприятия;
- оценки эффективности природоохранных мероприятий, введения очистных сооружений, модернизации производства и т.д.;
- введения новых химикатов и оборудования;
- создания рекреационных и заповедных территорий.

Ни один из этих вопросов не может быть объективно решен лишь на уровне рассмотрения формальных показателей, а требует проведения специальной разносторонней оценки качества среды обитания. Поэтому оценка качества среды оказывается узловой задачей оценки экологической обстановки, обеспечения экологической безопасности народнохозяйственной и военной деятельности.

Для получения заключения о качестве среды необходима интегральная характеристика ее состояния. При всей важности проведения такой оценки на всех уровнях, с применением различных подходов (включая физические, химические, социальные и др. аспекты), приоритетной представляется именно биологическая оценка. Наиболее простым объяснением этому может быть то, что именно состояние, самочувствие различных видов живых существ и самого человека является ключевым моментом, который, в конечном счете, волнует всех нас в наибольшей степени.