Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Курганский государственный университет
Кафедра ботаники и генетики

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ЭКОЛОГИЯ» (020801)

Курган 2009

Кафедра ботаники и генетики

Дисциплина: «Экологический мониторинг» (020801)

Составитель: канд. с. – х. наук, доц. Евсеев В.В.

Утверждено на заседании кафедры «10» декабря 2007 г.

Рекомендованы методическим советом университета
«28» ноября 2008 г.

Введение

Во второй половине 20 века объемы и темпы техногенного загрязнения окружающей среды настолько возросли, что это потребовало принятия специальных мер на международном уровне. В 1972 г. была разработана программа ООН по охране окружающей среды, включающая проблемы мониторинга природной среды в целях раннего предупреждения наступающих изменений, которые могут причинить вред здоровью или благополучию людей. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов невозможны без информации об их состоянии и изменении под воздействием антропогенных нагрузок. Такую информацию призван дать мониторинг, который представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза состояния природной среды.

Профессиональная подготовка эколога обязательно должна предусматривать владение принципами мониторинга, методами наблюдений и анализа состояния экосистем, поэтому курс «Экологический мониторинг» занимает важное место в учебном плане подготовки экологов, являясь одной из дисциплин, формирующих специалиста

Цель курса – обучение студентов научным основам мониторинга, методике организации наблюдений и контроля природной среды.

Рабочей программой предусмотрено проведение со студентами 8 лабораторно-практических занятий. Технические возможности позволяют провести ряд лабораторных работ по методам биоиндикации водных экосистем (оценка жизнедеятельности активного ила), определению свойств почвы по азотобактеру и методом двухслойного почвенного агара, а также с использованием высших растений. Ряд практических занятий – расчетные. При их проведении используются компьютеры с соответствующим программным обеспечением. Для контроля знаний студентов в приложении к настоящим методическим указаниям дан перечень контрольных работ.

Занятие 1

Планирование исследований природной среды

Цель занятия. Ознакомиться с основными этапами планирования исследований окружающей среды.

План работы: 1. Изучить основные принципы планирования исследований.

2. Разработать на конкретном примере тему, цель и задачи исследования, выдвинуть рабочую гипотезу.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Цветные карандаши. 3. Таблица «Основные этапы исследований».

Методические указания

Исследования реакции экосистем на те или иные воздействия со стороны человека проводятся в определенной последовательности. Исследование включает в себя: 1) выбор темы и обоснование ее актуальности; 2) постановку цели и задач, выбор объекта исследования; 3) формулирование рабочей гипотезы; 4) составление программы исследования; 5) сбор данных и их анализ.

Этим вопросам необходимо уделять особое внимание, поскольку недостаточная обоснованность выбора темы, нечеткая разработанность программы и неполное извлечение информации из полученных результатов бывают причиной низкой результативности исследований. Ошибки, допущенные при планировании, нельзя исправить в будущем ни тщательным проведением опытной работы, ни применением дорогостоящих инструментальных методов исследования.

На стадии планирования обычно выделяют два уровня, подразделяющихся на ряд этапов. **Первый уровень** планирования включает в себя: выбор темы, определение актуальности исследования, формулирование цели и задач исследования, выбор объекта эксперимента, построение рабочей гипотезы. **Второй уровень** планирования предусматривает составление программы исследования. Для этого необходимо определить название разделов и вопросов экспериментальной работы, установить место и сроки их проведения, составить схемы опытов конкретно по каждому разделу или вопросу эксперимента, разработать календарный план, то есть перечень выполнения всех видов работ, и, если необходимо, план фенологических наблюдений с указанием сроков и частоты проведения учетов.

Успешное проведение наблюдений и экспериментов во многом зависит от правильного выбора **темы – научной задачи в определенной области исследования**. Грамотная формулировка темы должна отвечать определенным требованиям: 1) название темы должно достаточно полно отражать смысл исследовательской работы; 2) охватывать основные разделы исследований; 3) быть лаконичным, без вводных слов и уточняющих определений; 4) формулировка должна иметь активную форму, при этом желательно избегать таких

слов, как «влияние», «действие»; 5) название не должно обещать больше информации, чем предусмотрено программой исследований.

Важное требование к теме – ее **актуальность**, под которой понимают **ценность темы на данном этапе развития науки и техники**. Определяют значимость темы в процессе ознакомления с литературными источниками по изучаемому вопросу. Обычно анализируют литературу за последние 5-10 лет, стараясь выяснить степень изученности темы.

Параллельно с формулированием темы определяют цель и задачи исследования. **Цель – это то, ради чего выполняется работа**, ради чего изучается предмет исследования. **Задачи – это конкретизация цели исследования с учетом особенностей предмета исследования**.

Цель и задачи исследования нередко формулируются в слишком общей форме, что затрудняет их выполнение в пределах одного опыта. Поэтому **цель должна быть сформулирована кратко, ясно, одним предложением независимо от объема и сложности исследований**.

Когда сформулирована тема, цель и задачи исследований, отмечена актуальность, то есть определены основные вехи будущей работы, необходимо обосновать **рабочую гипотезу – научное предположение о развитии явления, на котором основывается объяснение ожидаемых в опыте результатов**. Чтобы выдвинуть рабочую гипотезу, прежде всего, необходимо знать результаты ранее проведенных исследований с тем же объектом или в подобных условиях. Кроме того, должны учитываться биологические или иные особенности объекта исследования. Выдвигая рабочую гипотезу, исследователь предполагает возможность ее доказательства. Для этого рабочая гипотеза должна удовлетворять определенным требованиям: 1) проверяемость - требование, которое позволяет выдвинуть (но не принять) гипотезу; 2) предсказательность – побудительный мотив к постановке и проведению исследования; 3) логическая непротиворечивость – гипотеза не должна противоречить накопленным ранее фактам.

Задание. Разработать тему, цель, задачи исследования, выдвинуть рабочую гипотезу. Направление исследований каждый студент получает у своего научного руководителя.

Занятие 2
Определение необходимого количества наблюдений и учетов

Цель занятия. Изучить методику определения оптимального количества наблюдений и учетов в опытах.

План работы: 1. Ознакомиться с порядком определения необходимого объема выборочной совокупности.

2. Приобрести навыки по анализу объема выборки при количественной и качественной изменчивости признаков.

3. Уяснить зависимость точности и достоверности наблюдений от числа повторностей и величины ошибки опыта.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Программа «Инженерный калькулятор» на ПЭВМ.

Методические указания

В практике экологических исследований часто возникает вопрос о том, сколько особей конкретного вида надо отобрать, чтобы получить правильное представление о популяции вида по изучаемому признаку, или сколько образцов объектов окружающей среды (почва, вода и т.п.) следует отобрать, чтобы выполнить на них необходимые измерения.

Чтобы точнее охарактеризовать объект, следует стремиться выполнить как можно больше наблюдений, однако очевидно, что число наблюдений не может возрастать бесконечно. Элементарная логика и практический опыт подсказывают, что неразумно стремиться к неоправданно большому числу испытаний, если убедительный результат можно получить при минимально допустимом объеме выборки (под выборкой понимается часть объектов генеральной совокупности, попавшая в исследование). Иными словами, выборочная совокупность должна иметь какие-то рациональные границы, которые будут зависеть, прежде всего, от желаемой **точности наблюдения** – допустимого расхождения между средней арифметической (по данному признаку) выборки и средней арифметической генеральной совокупности, а также от **заданного уровня вероятности,** то есть вероятности появления значения признака в пределах доверительного интервала, построенного для средней арифметической генеральной совокупности, и **степени изменчивости** изучаемых признаков и свойств. Степень изменчивости изучаемых признаков обычно характеризуется такими показателями, как дисперсия или стандартное отклонение, коэффициент вариации.

Итак, желаемая точность наблюдений (обозначим ее символом Δ) – это возможное при принятой вероятности отклонение выборочной средней арифметической от генеральной средней - $\Delta = t \cdot S_x$. Из приведенного выражения следует, что объем выборки тесно связан с ошибкой опыта (S_x) и заданным уровнем вероятности (t). Поскольку ошибка опыта равна $S_x = S/\sqrt{n}$, то с учетом желаемой точности формулу можно записать так: $S_x = t \cdot S/\sqrt{n}$ – формула для случая количественной изменчивости признака, а для качественной изменчивости – $Sp = t\sqrt{pq}/\sqrt{n}$, где n- объем выборки, p и q – доли признака.

Из этих формул может быть легко найден необходимый объем выборки:

$$n = t^2 \cdot S^2 / S_x^2; \; n = t^2 \cdot p \cdot q / S_p^2$$

Значение t определяется ожидаемой вероятностью результата выборочного обследования: t = 2 для 95%-го и t = 3 для 99%-го уровня вероятности. Величина желаемой точности (S_x или S_p) выбирается исследователем заранее.

Несколько сложнее установить величину стандартного отклонения (S), которое является основной мерой варьирования изучаемого признака ($S = \sqrt{S^2}$; $S = \sqrt{p \cdot q}$). Существует способ ускоренного вычисления S, при котором используется определенная зависимость между числом наблюдений (n) и размахом варьирования признака (R): $R = X_{max} - X_{min}$, $S = K \cdot R$, где К – коэффициент Пирсона, который находят по специальной таблице (приводится в справочниках и учебниках по статистике). Для качественной изменчивости показатель варьирования может быть найден по формуле: $S^2 = p \cdot (1 - p)$, где p (или q) – доля признака, которая характеризует частоту встречаемости отдельной варианты в данной совокупности, другими словами, доля признака показывает вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности. Выражается доля признака в частях единицы или в процентах. При альтернативной изменчивости признака (признак есть, признак отсутствует) вероятность двух противоположных явлений может быть выражена равенством - $p + q = 1$ или 100%.

В связи с этим формулу для определения оптимального объема выборки при качественной изменчивости признака можно записать так:

$$n = t^2 \cdot p \cdot (1 - p) / S_p^2 \text{ или } n = t^2 \cdot p \cdot (100 - p) / S_p^2$$

Следует иметь в виду, что существуют приемы, повышающие точность наблюдений и эксперимента в целом, особенно если опыт проводится в природной (полевой) обстановке. К приемам, повышающим точность опыта, относятся: правильный **выбор участка** под опыт, установление оптимального **числа повторностей** (то есть учетных площадок, на которых будут проводиться наблюдения за окружающей средой).

Территориальное варьирование пестроты почвенного плодородия оказывает существенное влияние на структуру эксперимента. Поэтому участок, отводимый для наблюдений в природной обстановке, должен соответствовать определенным требованиям. Их два: **отвечать принципу типичности по отношению к почвенно-климатическим условиям района исследований**; **иметь однородный почвенный покров** для обеспечения достаточной точности опыта.

Чтобы правильно выбрать участок, необходимо тщательно изучить его, провести почвенные исследования, выявить особенности рельефа и микрорельефа.

Точность наблюдений и экспериментов, проводимых в природной обстановке, в значительной степени зависит от повторности опыта на территории и во времени. **Повторностью опыта на территории называют число учетных площадок** каждого варианта, а **повторностью опыта во времени – число лет испытаний**.

Повторность опыта определяется изменчивостью плодородия почвы опытного участка и заданной величиной ошибки опыта. Ошибка опыта должна быть втрое меньше предполагаемых в вариантах минимальных эффектов. В противном случае действие того или иного фактора окажется недоказуемым. Например, если от внесения в почву удобрений продуктивность фитоценоза увеличится на 2 ц/га, то для признания такой прибавки существенной необходимо ошибку опыта планировать на уровне не более 0,7 ц/га (2:3). Если ошибка

опыта будет выше 0,7 ц/га, то принято считать, что данная прибавка фитомассы растений находится в пределах случайных отклонений (в пределах ошибки), то есть внесение удобрений никак не отразилось на продуктивности фитоценоза.

Часто при методически правильном проведении исследований из полученных экспериментальных данных нельзя сделать определенных выводов ввиду того, что ошибка опыта превышает желаемый количественный уровень. Поэтому при планировании исследований требуемую ошибку опыта стремятся определить заранее, используя в качестве критерия изменчивости изучаемого признака стандартное отклонение.

Отношение стандартного отклонения, выраженное в процентах, к среднему значению признака в опыте, называют коэффициентом вариации и обозначают буквой V. Определив коэффициент вариации и требуемую ошибку опыта, можно вычислить заранее необходимое число повторностей, используя формулу:

$n = (V/S_x)^2$, где n – число повторностей для требуемой ошибки опыта; S_x – требуемая ошибка; V – коэффициент вариации (может быть заменен на стандартное отклонение S).

Задание. Определить необходимое количество наблюдений и повторностей в опытах согласно условиям предлагаемого варианта (варианты заданий студенты получают у преподавателя).

Занятие 3
Организация мониторинга почв агроценозов

Цель занятия. Изучить особенности организации почвенного мониторинга.

План работы: 1. Ознакомиться с основными принципами организации мониторинга почв агроценозов.

2. На конкретном примере научиться выбирать объекты и контролируемые показатели почвенного мониторинга, решить проблемные ситуации, связанные с организацией мониторинга антропогенно нарушенных почв.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Цветные карандаши. 3. Таблицы и схемы к теме занятия.

Методические указания

Мониторинг – система длительных и регулярных наблюдений в пространстве и времени, дающая информацию об окружающей среде с целью оценки настоящего ее состояния и прогноза изменений в будущем.

Почвы сельскохозяйственных угодий должны стать обязательным объектом комплексного мониторинга. Это обусловлено их местом и функциями в биосфере. Почвенный покров служит приемником большинства техногенных химических веществ, является главным сорбентом, аккумулятором и разрушителем токсикантов. Представляя собой геохимический барьер на пути миграции загрязняющих веществ, почва предохраняет сопредельные среды от техноген-

ного воздействия. Однако возможности почвы как буферной системы не безграничны.

Основными целями почвенного мониторинга является своевременное обнаружение неблагоприятных изменений в почвах, контроль за состоянием почв по сезонам года для выдачи рекомендаций по предотвращению негативных ситуаций.

Особенности мониторинга почв агроценозов заключаются в том, что наблюдения должны проводиться на участках территориально целостных и единообразных по использованию, видам сельскохозяйственной деятельности, применяемым технологиям, уровням продуктивности сельскохозяйственного производства. Система контрольных пунктов наблюдения должна охватывать все земли, которые достаточно интенсивно используются, в том числе выпасы, сенокосы, земельные участки под огородами.

В качестве обязательных объектов почвенного мониторинга должны быть выделены фоновые территории, в число которых включаются используемые в хозяйствах земли с минимальным техногенным воздействием. Участок для почвенного мониторинга должен репрезентативно характеризовать почвенный покров.

Водосборный бассейн является идеальным объектом оценки и контроля состояния экосистем, поскольку имеет ясные природные границы, замыкающие единонаправленный поток вещества и энергии и обеспечивающие относительную автономию исследуемой территории. Внутри зоны водосбора должны быть достаточно широко представлены доминирующие типы почв региона и фитоценозы.

Если мониторинг проводится на полях севооборота, то предпочтительно его начинать на площадях, занятых под травами или культурами сплошного сева. В малопольных севооборотах наблюдения за состоянием полей необходимо выполнять с интервалом в 1 – 2 ротации, в многопольных 2 – 3 раза за ротацию под одинаковыми или сходными культурами. В рамках одного севооборота мониторинг на всех полях осуществляют путем пробоотбора под одной и той же культурой в разные годы на разных полях согласно ротационной таблице.

Система пробоотбора должна обеспечивать возможность многоцелевого анализа данных широким набором статистических методов при максимальном исключении факторов, затрудняющих решение задач мониторинга. Это достигается выделением элементарных площадок размером 0,25 м^2, каждой из которых соответствует один элемент опробования в виде смешанного образца, составленного из 5 – 9 индивидуальных. Площадки должны равномерно размещаться по полю, иметь нумерацию и топографическую привязку на местности. Независимо от размеров объекта исследования в каждый срок наблюдения целесообразно отбирать не менее 16 элементов опробования (рис. 1).

Перечень контролируемых показателей при организации почвенного мониторинга должен обеспечивать реальность исполнения, но в то же время не

должен вызывать потерю информации. Например, современные станции мониторинга почв ограничиваются определением в почвах тяжелых металлов, органических веществ (гумуса) и пестицидов, однако этого явно недостаточно.

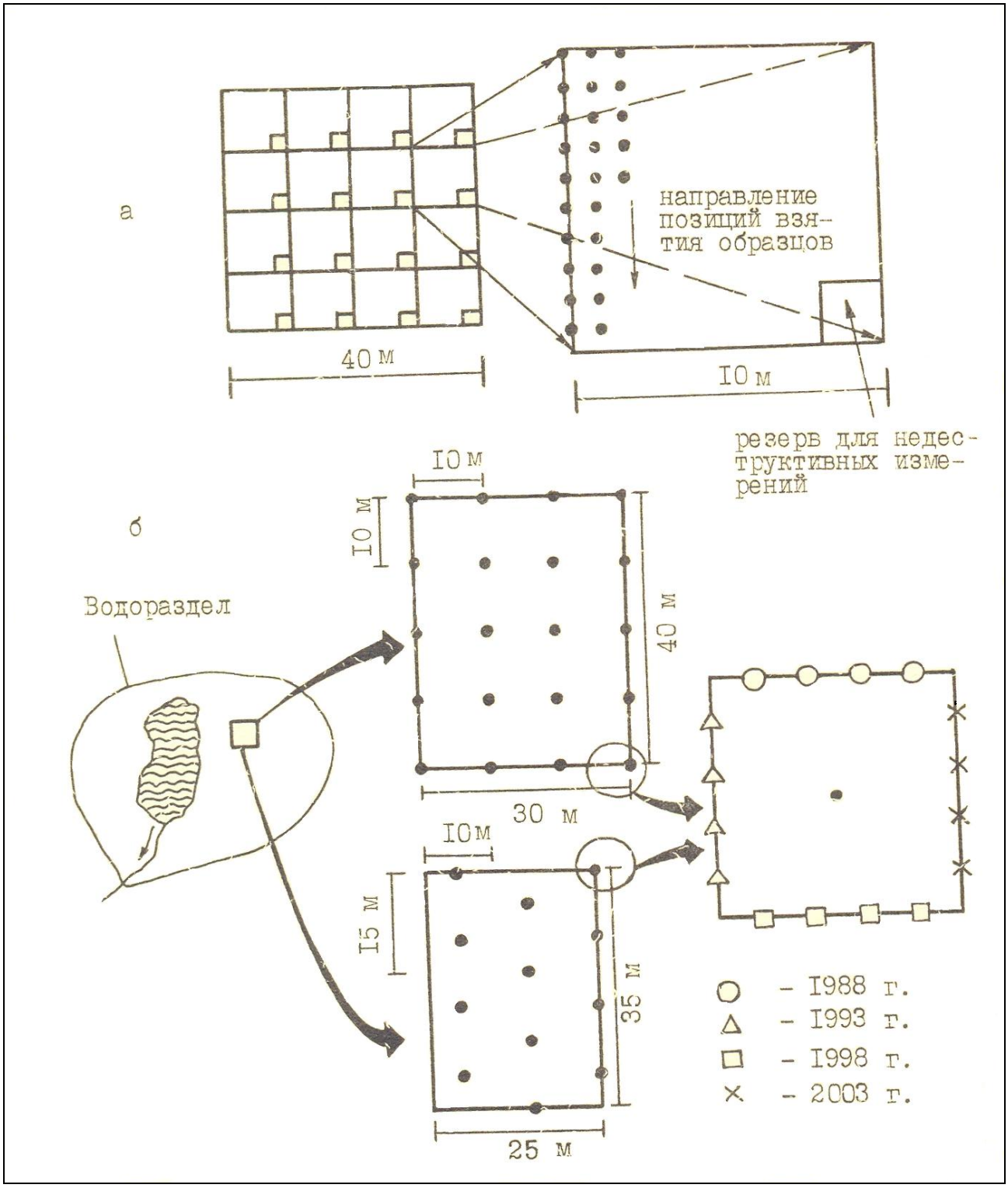

Рис. 1. Схема почвенных участков с подразделением на площадки для взятия образцов (Из: Гришина Л.А. и др., 1991)

При организации почвенного мониторинга следует проводить контроль за состоянием почвы по трем группам показателей: ранней, краткосрочной и долгосрочной диагностики.

В показатели ранней диагностики входят биологическая активность почв – численность и видовой состав микроорганизмов и беспозвоночных, их биомасса, ферментативная активность почв, интенсивность дыхания (CO_2), активность процессов азотфиксации и денитрификации, нитрификационная способность почвы. При оценке воздействия загрязняющих веществ на биологическую активность почв ориентировочно можно принять градации, представленные в таблице 1 (табл. 1).

Таблица 1

Оценка воздействия загрязняющих веществ на биогенность почв
(Гапонюк Э.И., Малахов С.Г., 1985)

Период восстановления контролируемого параметра, дни		Оценка последствий
Лабораторные условия	Полевые условия	
< 15	< 30	Не оказывает влияния
15 – 30	30 – 60	Слабое влияние, но возможны отрицательные последствия
> 30	> 60	Существенное влияние, возможны серьезные экологические последствия

Дополнительно привлекают характеристики кислотно-основного, ионно-солевого, окислительно-восстановительного режима почвы. Для этого анализируют почвенные растворы, лизиметрические воды, водные вытяжки. В них определяют pH, активность ионов, содержание N, P, S, Ca, Mg, тяжелые металлы, органические вещества. Такие измерения выполняют несколько раз за сезон (минимум три раза).

Показатели краткосрочной диагностики определяют с интервалом в 2 – 5 лет. В них входят: фракционный состав гумуса, катионно-обменные свойства почв, содержание N, P, K, кислоторастворимые формы Ca, Mg, Fe, Al, подвижные формы соединений тяжелых металлов, скорость деструкционных процессов.

В показатели долгосрочной диагностики входят: валовой состав почв, включая валовое содержание тяжелых металлов, состав почвенных минералов, содержание и запасы гумуса, морфологические и физические свойства почвы (плотность, структурное состояние, водопроницаемость, гранулометрический состав). Измерение этих показателей ведут 10 лет и более.

Комплексная система показателей мониторинга состояния почв при загрязнении представлена в таблице 2 (табл. 2).

Таблица 2

Система показателей мониторинга почв (по Л.А. Гришиной и др., 1991)

Свойства почвы	Необходимые показатели	Дополнительные показатели
Степень загрязнения	Общее содержание загрязняющих веществ, мг/кг	
Физико-химические	pH; гидролитическая кислотность, мг.экв/100 г; ОВП	Титруемая щелочность, мг.экв/100 г; содержание карбонатов (бикарбонатов); содержание окисленных и восстановлен- ных форм элементов с переменной валентностью
Общие	Сумма поглощенных оснований, мг.экв/100 г; микроагрегатный и механический состав; удельная электропроводность, мВ	Емкость катионного обмена, мг.экв/100 г; степень засоления, %; степень эродированности, %
Миграционные	Содержание экстрагируемых форм химических элементов, мг/л; транслокация в растения; испарение; миграция по профилю	Подвижность органно-минеральных компонентов, мг/л
Буферность к загрязнению и изменению свойств	Устойчивость гумуса; устойчивость ППК; устойчивость кислотно-основных свойств; устойчивость ферментативной активности	
Агрохимические	Общее содержание гумуса, %; общее содержание азота, фосфора, калия, %	Групповой состав гумуса; содержание водорастворимых органических веществ, мг/ 100 г; содержание подвижных форм азота, фосфора и калия, мг/кг
Биологические (токсические)	Активность дегидрогеназ, мкл H_2 /г сутки; дыхание (по выделению CO_2 или поглощению O_2), %; фитотоксичность (по изменению энергии прорастания), %	Общая каталитическая активность (разложение перекиси); активность ферментов в циклах углерода, азота, фосфора; влажность завядания; содержание токсичных форм элементов

Задание. На схеме земельного участка выбрать объекты для организации почвенного мониторинга, наметить контролируемые показатели, продумать расположение точек для отбора проб (схему участка студенты получают у преподавателя). Решить проблемные ситуации по организации мониторинга за состоянием почв, подверженных воздействию кислых атмосферных осадков, выбросов комбината по производству минеральных удобрений (предприятия по утилизации химического оружия), почв, загрязняемых тяжелыми металлами, пестицидами.

Занятие 4

Биоиндикация и микробиологический мониторинг наземных экосистем

Цель занятия. Ознакомиться с принципами микробиологического мониторинга, изучить методику биоиндикации неблагоприятных свойств почвы с помощью растений и микроорганизмов-индикаторов.

План работы: 1. Освоить методику определения токсичных свойств почвы по азотобактеру.

2. Определить интенсивность антропогенной нагрузки на почву методом двухслойного почвенного агара (ДПА) по З.И. Никитиной.

3. Изучить методику определения фитотоксичных свойств почвы с помощью растений-индикаторов.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Пинцеты. 3. Фарфоровые чашки 3. Шпатели металлические. 4. Весы аптечные. 5. Стаканчики с водой. 6. Семена тест-растений (редис, пшеница, горох). 7. Диски фильтровальной бумаги и чашки Петри. 8. Термостат. 9. Питательные среды в колбах: МПА, ГА (голодный агар), МПА, разведенный в 10 раз, среда Эшби. 10. Стерильные диски целлофана по диаметру чашек Петри. 11. Пипетки на 25 и 10 $см^3$. 12. Карандаши по стеклу. 13. Шпатели Дригальского. 14. Спиртовки и спички к ним. 15. Водяная баня. 16. Пробирки с чистой культурой азотобактера. 17. Образцы почв (с добавками токсикантов и без них). 18. Таблицы и схемы к теме занятия.

Методические указания

Применение химических и физико-химических методов в контроле объектов окружающей среды нередко теряет экологический смысл, поскольку они не дают информацию о воздействии тех или иных веществ на живые организмы и не отвечают на вопрос о пригодности среды для их обитания.

Существенно упрощает задачу контроля физиологически активных веществ применение биологических методов, основанных на биотестировании и дающих интегральную оценку состояния объектов природной среды. Биотестирование природной среды по микробиологическим показателям находит все более широкое применение в прикладной экологии. Микроорганизмы - наибо-

лее быстро реагирующие биоиндикаторы, что имеет значение для повышения экспрессности биотестирования. Они лучше всего подходят для экотоксикологических экспериментов благодаря биологической стандартности, способности расти на простых по химическому составу питательных средах, на их примере проще понять, какие именно биохимические реакции и механизмы нарушают токсиканты в живом организме.

Сегодня микроорганизмы для индикации состояния окружающей среды используют в основном в двух направлениях. В первом случае проводят анализ изменений в природных микробных ассоциациях непосредственно в полевых условиях (пассивный мониторинг). Во втором случае микроорганизмы применяют в качестве тест-культур для определения содержания химических веществ в объектах окружающей среды в контролируемых условиях лабораторных опытов (активный мониторинг).

Определение токсичных свойств почвы по азотобактеру: азотобактер является микроорганизмом, предъявляющим высокие требования к качеству среды обитания. Поэтому его используют для индикации экологической обстановки в почве.

Выращивают азотобактер на среде Эшби, не содержащей источников азота. Свежую среду Эшби разливают в чашки, и после уплотнения агара покрывают стерильными пластинками целлофана, вырезанными по размеру чашки Петри. Целлофан тщательно расправляют на поверхности агара металлическим шпателем. На поверхность целлофана в центр чашки накладывают комочек испытуемой почвы диаметром 2см, увлажненной до пастообразного состояния (можно в одну чашку поместить до 5 комочков меньшего диаметра). Снизу на стекле отмечают карандашом размеры и место почвенных комочков. Чашки выдерживают при 28^0С в течение суток. Через сутки целлофан снимают с агара, а среду засевают суточной культурой азотобактера. При наличии токсических веществ в почве на газоне азотобактера образуются стерильные зоны там, где размещались почвенные комочки.

В целях индикации могут использоваться и другие специально подобранные микроорганизмы, при этом среду Эшби заменяют на соответствующую питательную среду. Учет проводят после проявления роста тест-микроорганизма.

Метод ДПА для определения антропогенных нагрузок на почву: этот метод разработан для экспресс-контроля за состоянием экосистем по комплексу микроорганизмов. В основу метода положен принцип инициированного микробного сообщества (ИМС). Отличие этого метода от метода ИМС заключается в том, что почва вначале заливается слоем голодного агара (агар и водопроводная вода), а когда он застынет, его заливают сверху тонким слоем разбавленной питательной среды (МПА), содержащей органический азот.

В результате структуру инициированного микробного сообщества регистрируют путем подсчета проросших колоний бактерий и грибов на таких двухслойных агаровых пластинках. Метод пригоден для обнаружения значительных

изменений в экосистеме (высокие дозы техногенных веществ и другие аномалии). Изменение состава микробного сообщества можно наблюдать уже на третьи сутки после постановки наблюдений. Структура микробного сообщества в ненарушенной почве преимущественно представлена бактериями. По мере увеличения концентрации загрязнителя численность бактериальных популяций уменьшается, а грибных увеличивается. Вначале доминируют грибы рода Mucor, а когда техногенная нагрузка еще возрастает, начинают преобладать грибы родов Trichoderma, Penicillium, Fusarium.

Определение фитотоксичности почвы биометодом: некоторые почвы могут приобрести токсичные свойства, которые проявляются в подавлении развития растений. Для определения фитотоксичности почв применяют метод почвенных пластинок.

Испытуемую почву с помощью пинцета освобождают от крупных корневых остатков и тщательно перемешивают металлическим шпателем. Берут навеску образца почвы в количестве 60 г и помещают в чашку Петри. Почву увлажняют водой до состояния густой пасты и тщательно размазывают по чашке Петри шпателем до получения ровной поверхности. На такую почвенную пластинку раскладывают от 10 до 50 семян испытуемого растения (в зависимости от размера семян), предварительно замоченных в водопроводной воде в течение суток. Можно брать семена различных растений, но лучшие результаты дают мелкие семена пшеницы, вики, горчицы. Большой чувствительностью обладает также горох, несмотря на относительно крупные семена. Желательно также использовать семена тех культур, которые возделываются на изучаемых почвах.

Контрольные семена замачивают в воде и раскладывают на увлажненной вате, покрытой фильтровальной бумагой. Семена проращивают в течение 5 дней при постоянной температуре, периодически увлажняя равным объемом водопроводной воды. Степень токсичности почвы определяют по разнице в количестве проросших семян и длине проростков и корней в опыте и контроле. Токсичными почвами считают такие, которые вызывают угнетение прорастания семян на 20 – 30% и более.

Определение токсичности почвы необходимо проводить на свежих образцах, так как после хранения образцов токсичность их значительно изменяется.

Задание. Выполнить анализ образцов почвы описанными выше методами. По окончании экспериментов результаты записать в тетрадь, сделать выводы.

Занятие 5
Мониторинг водных экосистем

Цель занятия. Изучить особенности организации мониторинга водных экосистем.

План работы: 1. Освоить методику определения состояния водоема по уровню жизнедеятельности активного ила.

2. Ознакомиться с организмами-индикаторами различных зон сапробности воды.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Цветные карандаши. 3. Микроскопы и сменные окуляры к ним (на 10^x и на 7^x). 4. Пластмассовые шпатели и препаровальные иглы. 5. Пинцеты. 6. Стаканы с илом (на 300 мл) и стаканы с водопроводной водой. 7. Микропипетки и пипетки на 1 $см^3$. 8. Фильтровальная бумага. 9. Предметные и покровные стекла (последние различного размера: 9 х 9 и 24 х 24). 10. Таблицы и подборки фотографий к теме занятия.

Методические указания

О том, насколько сильно загрязнен водоем и наблюдается ли в воде дефицит кислорода можно судить по организмам активного ила.

Для анализа отбирают пробу придонного ила (1,5 л) в полиэтиленовую флягу. При взятии проб определяют температуру воды. Для этого на месте взятия пробы 1 л воды наливают в склянку и нижнюю часть термометра погружают в воду. Через пять минут отсчитывают показания. Проба немедленно доставляется в лабораторию, где ее тщательно перемешивают, а затем отбирают 100 мл ила в стакан для гидробиологического анализа. Пробу ила, предназначенную для подсчета индикаторных организмов, встряхивают каждый час. Хранение пробы производится только в холодильнике не более 24 часов. К анализу приступают после того, как температура воды сравняется с температурой помещения.

Перед началом подсчета заполняют журнал учета микроорганизмов активного ила. В журнале указывают дату и место отбора иловой смеси, отмечают цвет ила и другие особенности. В первой вертикальной графе журнала перечисляют микроорганизмы, встречающиеся в активном иле, во второй графе указывают их численность.

Анализ ила состоит из трех операций:

1-я операция – на предметное стекло наносят микропипеткой каплю объемом 0,01 мл хорошо перемешанной иловой смеси и накрывают покровным стеклом 9 х 9 мм. Просматривают весь препарат, начиная с левого верхнего угла, осторожно перемещая его слева направо до конца, затем одно поле зрения вниз и справа налево. При этом учитывают организмы с плотностью более 100 экз./мл. Микроскопируют с окуляром 10^x и об. 10^x.

2-я операция – используют увеличение об. 10^x и ок. 7^x. На предметное стекло наносят каплю объемом 0,1 мл, накрывают покровным стеклом 24 х 24. В журнале регистрируют организмы, которые не встречались на первом этапе и число которых в 1 мл более 10.

3-я операция – используют увеличение об. 10^x и ок. 10^x. Со дна стакана пипеткой отбирают произвольное количество ила и зажимают между двумя предметными стеклами. Учитывают организмы, не отмеченные на двух предыдущих этапах.

При массовом развитии каких либо организмов (например, нитчатых бактерий) в первой калиброванной капле подсчитывают только эти организмы. В следующей капле подсчитывают другие организмы.

Интенсивность аэрации воды и ила оценивают путем сопоставления численности прикрепленных инфузорий (сувойки) и свободноплавающих ("бродяжки"). Если сувойки и оперкулярии сжались почти в шарики и передвигаются с большой скоростью, значит, либо в воде мало кислорода, либо в водоем попали токсичные вещества.

Важными индикаторными организмами являются нитчатые формы грибов, водорослей, бактерий, инфузории (в том числе свободноплавающие), коловратки, мелкие и крупные амебы, цисты. Ухудшение аэрации воды сопровождается увеличением числа мелких жгутиконосцев, мелких амеб и цист (рис. 2).

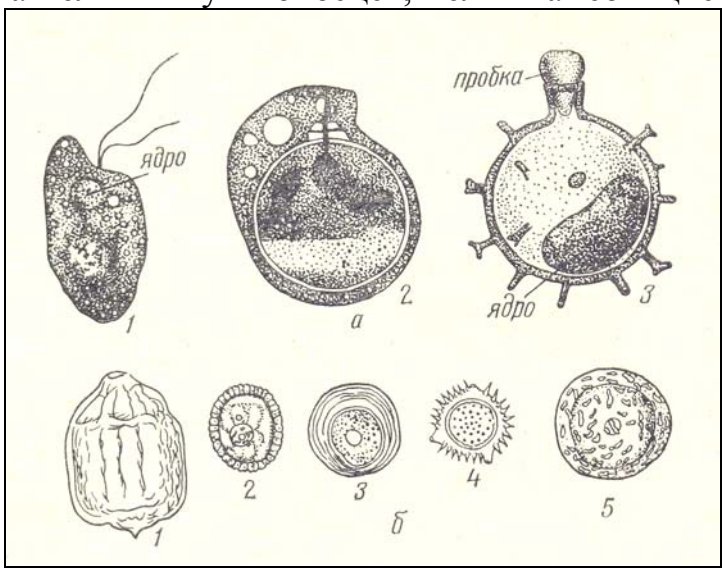

Рис. 2. Образование цист: а) жгутиконосцем охромонас (1 – нормальные условия; 2 – начало выращивания цисты; 3 – циста); б – цисты (1 – коловратка филодина; 2 – 4 – простейшие; 5 – зимующая почка губки) (По Симакову Ю.Г., 1982)

По сумме всех видов коловраток, найденных в активном иле, судят об интенсивности процесса нитрификации. При отсутствии нитрификации коловратки не обнаруживаются (рис. 3).

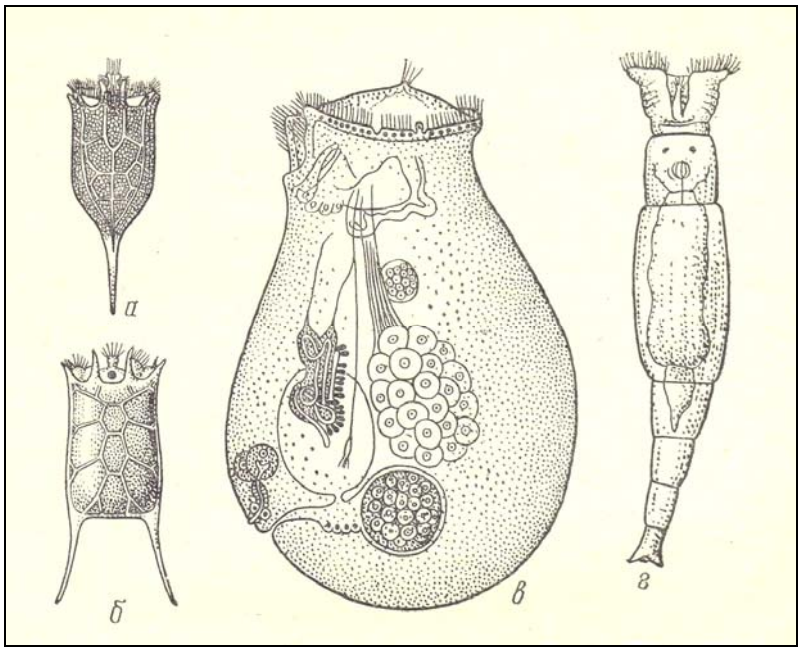

Рис. 3. Коловратки: а – кератела кохлеарис; б – кератела квадрата; в – аспланхна; г – филодина (По Симакову Ю.Г., 1982)

О неблагоприятных условиях могут подсказать бактерии придонного ила. Если в поле зрения видны мелкие полупрозрачные хлопья или шаровидные скопления – это прямое свидетельство сильного загрязнения водоема или хронического недостатка в воде кислорода. Под микроскопом можно также увидеть скопления прямых нитей, напоминающих вату. Это нитчатые бактерии рода Сферотилус. Их появление указывает на поступление в воду токсичных веществ. Обильно развиваются нитчатые бактерии на поверхности ила и при нехватке кислорода (рис. 4). На недостаток кислорода может указывать черный цвет ила.

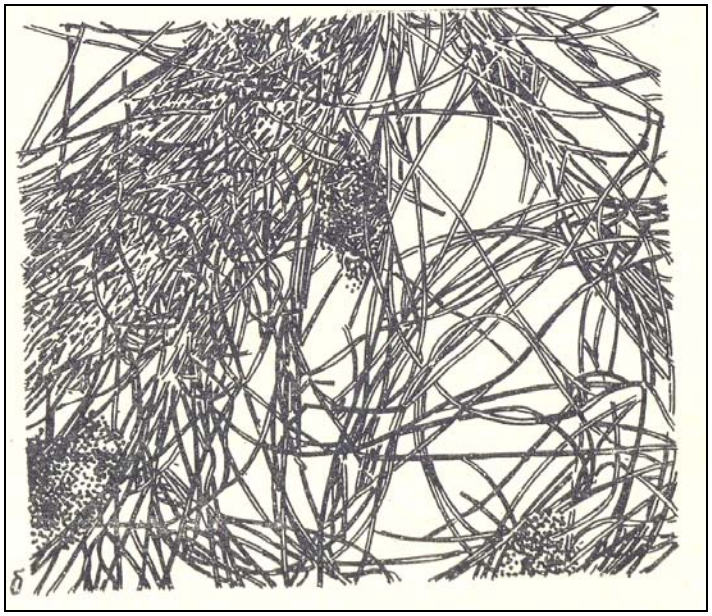

Рис. 4. Бактерия Сферотилус – живой индикатор (По Симакову Ю.Г., 1982)

Существует шкала загрязнения водоемов, которую называют системой сапробности. **Сапробность отражает способность организмов жить и развиваться в воде с той или иной степенью загрязнения органическими веществами**. Различают четыре зоны сапробности: самая грязная вода, пахнущая аммиаком и сероводородом, - **полисапробная**; вода, в которой появляются цианобактерии, - **α-мезосапробная**; вода с зелеными водорослями и множеством живых существ, характерных для рыбоводных прудов, - **β-мезосапробная**; практически чистая вода, в которой нет цветения, - **олигосапробная**.

Полисапробная вода не содержит свободного кислорода. В ней часто развивается сточный гриб (Leptomitus). Под микроскопом в полисапробной воде можно видеть бесцветные жгутиконосцы, грибы, некоторые виды инфузорий, нитчатые бактерии, серобактерии и скопления бактерий типа «оленьи рога».

В воде α-мезосапробной зоны развиваются организмы, устойчивые к недостатку кислорода: цианобактерии, сточный гриб, инфузории кольподы, коловратки-брахионусы. В иле можно встретить трубочников и личинок хирономид (рис. 5).

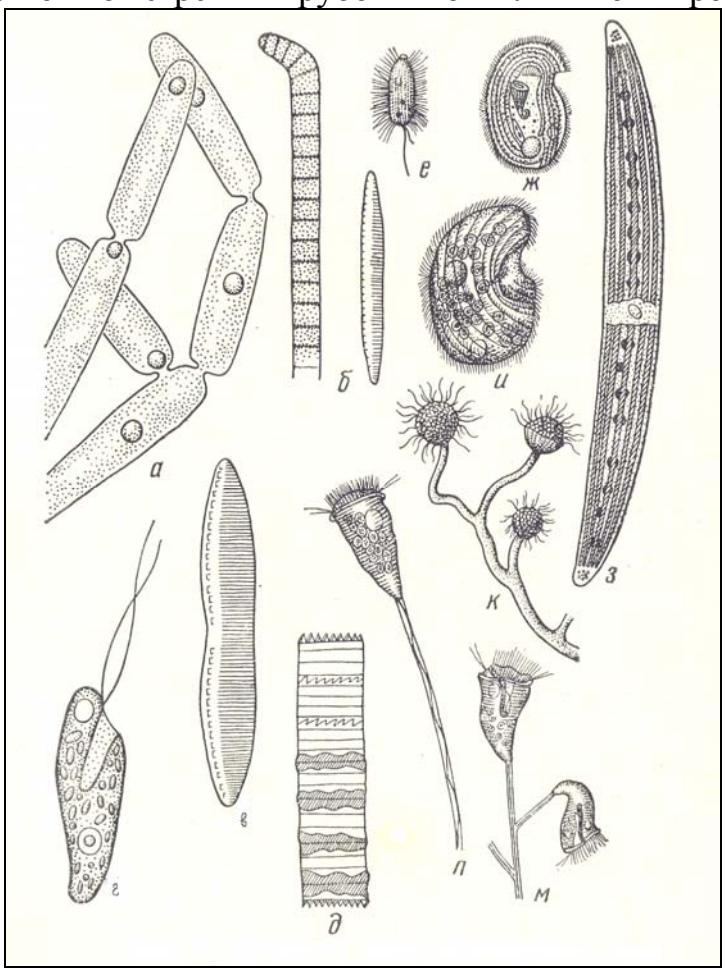

Рис. 5. Организмы α-мезосапробной зоны: а – сточный гриб; б - осциллатория; в – водоросль нитшия; г – жгутиконосец хиломонас; д – водоросль стефанодискус; е – инфузория уронема; ж – инфузория хилодонелла; з – водоросль клостериум; и – инфузория кольпода; к – антофиза; л – сувойка ландышевидная; м – кругоресничная инфузория каршезиум (По Симакову Ю.Г., 1982)

β-мезосапробная зона характерна для водоемов, где вода уже насыщена кислородом, и только в ночные часы наблюдается его дефицит. В планктоне и бентосе отмечается развитие зеленых и диатомовых водорослей, множества инфузорий, коловраток, дафний и циклопов, а в грунте находятся черви, личинки хирономид, моллюски. Большинство инфузорий – брюхоресничные. Часто встречаются сувойки. Среди водорослей много колониальных форм: синуры, уроглены, табеллярии (рис. 6).

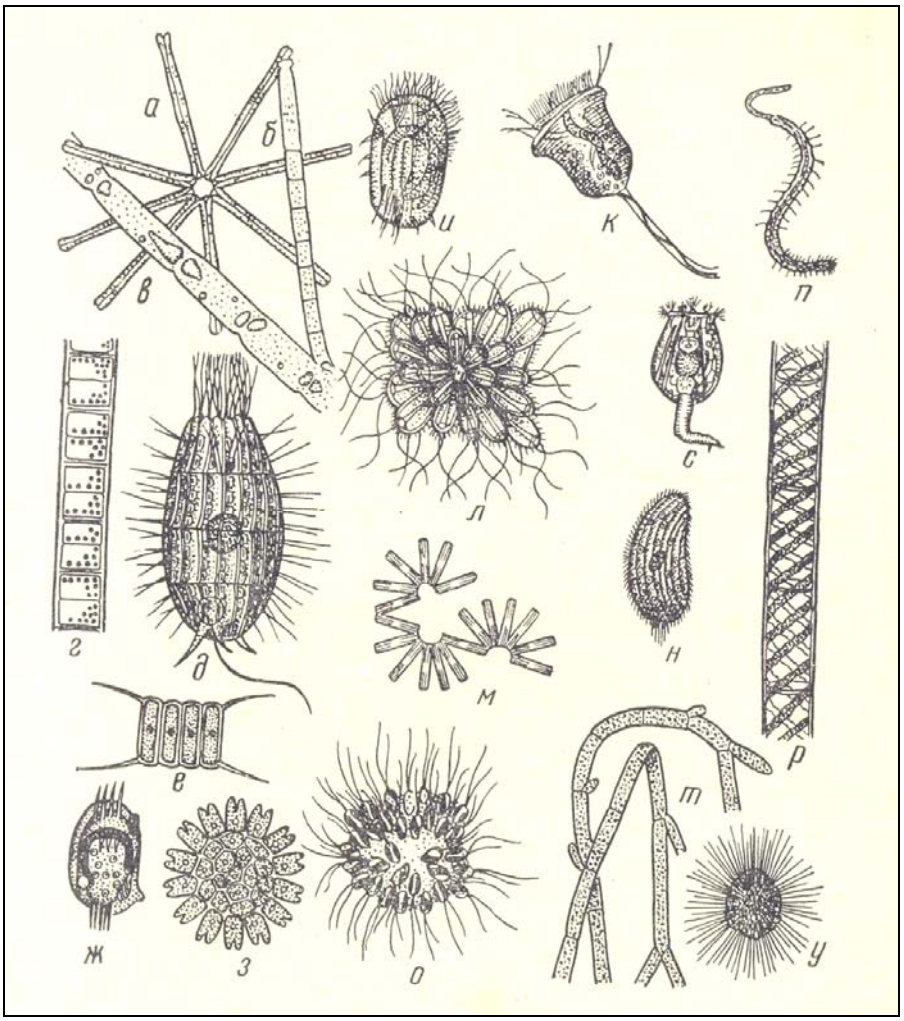

Рис. 6. Организмы β-мезосапробной зоны: а – астерионелла; б, в – виды осциллаторий; г – мелозира; д – колепс; е – сценедесмус; ж – инфузория аспидиска; з – педиаструм; и – эуплотес; к – сувойка; л – синура; м – табеллярия; н – парамеция; о – колониальный жгутиконосец уроглена; п – червь стилярия; р – спирогира; с – коловратка брахионус; т – кладофора; у – солнечник (По Симакову Ю.Г., 1982)

Организмами-индикаторами олигосапробной зоны могут быть как водоросли, так и микроскопические животные – сувойки-нубилиферы, дафнии-лонгиспины (рис. 7). На чистоту воды может указывать и высшая водная растительность: тростник, полушник озерный.

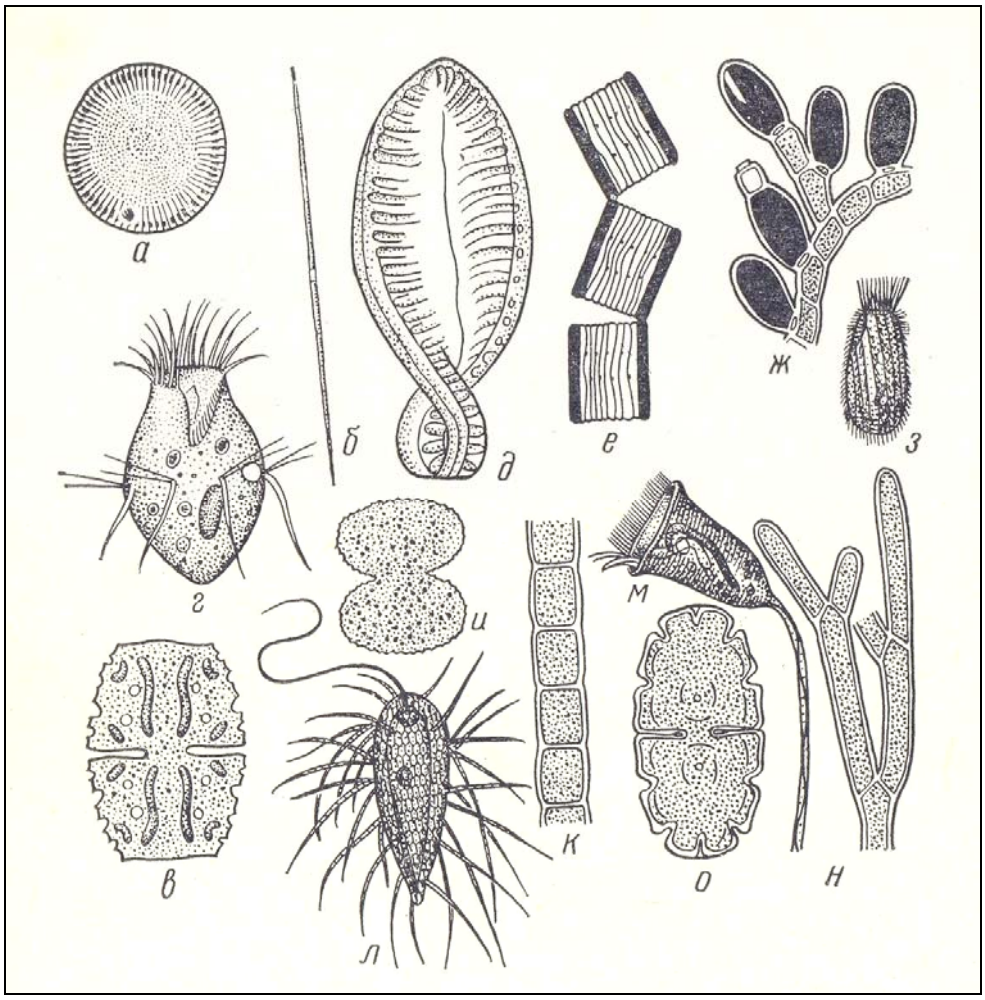

Рис. 7. Организмы олигосапробной зоны: а – циклотелла; б – синедра; в – микрастериас; г – инфузория хальтерия; д – диатомовая водоросль сурирелла; е – табеллярия флоккулоза; ж – бульбохета; з – инфузория стромбидинопсис; и – водоросль стауростурум; к – улотрикс; л – жгутиконосец малломонас; м - сувойка нубилифера; н – кладофора; о – десмидиевая водоросль эуаструм
(По Симакову Ю.Г., 1982)

Задание. Выполнить анализ проб донного ила и по организмам-индикаторам охарактеризовать состояние водоема.

Занятие 6

Мониторинг воздушной среды

Цель занятия. Изучить особенности организации мониторинга воздушного бассейна.

План работы: 1. Освоить метод хионоиндикации уровня загрязнения воздушной среды.

2. Ознакомиться с методикой лихеноиндикационных исследований атмосферного воздуха.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Цветные фотографии трансплантированных слоевищ. 3. Палетка 4.

Цифровой фотоаппарат. 5. Трансплантаты эпифитных лишайников и фанерные щитки. 6. Таблицы и подборки фотографий к теме занятия.

Методические указания

Загрязнение воздушной среды можно регистрировать картографическим и радиально-лучевым методом, когда сеть наблюдений строится по розе загрязнения. Интегральным показателем воздействия служит приход вещества по основным ингредиентам выбросов на 1 км^2 площади в год. По уровням прихода вещества в природный комплекс изолиниями могут быть выделены зоны с одинаковым уровнем воздействия и ограничена сфера влияния источника загрязнения.

Выявление уровня загрязнения и сферы воздействия возможно по содержанию выбросов как в атмосфере, так и в почвах, торфе, снеговом покрове. Снег является хорошим индикатором техногенного воздействия на геосистемы через атмосферу. Гидрохимическое опробование вертикальной толщи снега дает представление о составе растворимой и нерастворимой частей выпадений за срок от момента установления постоянного снегового покрова до времени опробования. В твердых атмосферных осадках (снег) можно определять химический состав, в том числе соотношение аммонийных и нитратных форм азота, степень минерализации и реакцию среды (pH) атмосферных осадков, содержание серы, кальция, магния, фосфора.

Среди других методов определения уровня техногенного воздействия заслуживает внимания метод отмывки листьев, позволяющий установить качественный и количественный состав выбросов.

Показателями состояния воздушной среды могут быть и представители органического мира – растения, животные, грибы, бактерии, комплексные симбиотические ассоциации, например, лишайники.

Определение свойств среды по особенностям ряда показателей лишайников называют **лихеноиндикацией** (лат. Lichenes – лишайники). В результате хозяйственной деятельности воздух загрязняется пылью, выбросами токсичных газов, других соединений различной природы, губительных для лишайников. Это приводит либо к полному исчезновению лишайников и образованию «лишайниковых пустынь» вокруг ряда промышленных предприятий и в городах, либо к значительному обеднению в таких местах видового состава этих организмов. Подобная реакция лишайников на загрязнение привела к использованию их в индикации и мониторинге загрязнения воздушной среды.

Лихеноиндикационные исследования и мониторинг качества воздуха с помощью лишайников можно представить в виде следующей схемы:

- сбор сведений о территории: источники загрязнения, топография, климат, наличие данных о динамике загрязнения;
- подготовка проекта исследований: обоснование предлагаемых видов лихеноиндикации, методов сбора материала и др.;

- характеристика учетной площадки: определение концентраций элементов в лишайнике (группировке), выявление видового состава лихенобиоты, характеристика лишайниковых группировок;
- активный мониторинг (трансплантация);
- сбор данных и их анализ, отчет и рекомендации.

Из схемы видно, что лихеноиндикационные исследования можно проводить разными способами в зависимости от специфики решаемых задач: наблюдения на учетных площадках с последующим составлением лихеноиндикационных карт (пассивный мониторинг), либо наблюдения за трансплантированными лишайниками (активный мониторинг). Здесь будет рассмотрен только метод трансплантации.

Для трансплантации чаще всего используют эпифитные лишайники (Hypogymnia physodes, Bryoria capillaries, Cladonia convoluta и др. виды), слоевища которых специальными бурами (диаметром 40 мм) вместе с субстратом отделяют от деревьев. Для сбора обычно используют упавшие старые деревья одной породы. Вырезанные шайбы должны быть на 2/3 покрыты хорошо развитыми экземплярами лишайника (по возможности одно слоевище на куске коры). Только в исключительных случаях могут отбираться лишайники с растущих деревьев; возникающие при этом раны должны быть залечены. Для экспонирования используются только безупречные, по возможности, местные индивиды. Они не должны иметь темных пигментированных поверхностей, вызванных паразитическими грибами. Для экспонирования выбирают неповрежденные экземпляры лишайников, по возможности, одинаковые по размерам и состоянию развития. Для контроля качества лишайников все имеющиеся в наличии слоевища располагают рядом и увлажняют, затем эти сырые слоевища внимательно просматривают и отбраковывают талломы с дефектами, т. е. такие, цвет которых в водонасыщенном состоянии не зеленый.

Чаще всего для экспонирования лишайников используют специальные деревянные щиты. Рекомендуют применять щиты 290 мм х 170 мм х 25 мм, в которых высверлены 10 цилиндрических отверстий глубиной от 15 до 20 мм и диаметром 42 мм. Кусочки коры с лишайниками закрепляют в углублениях так, чтобы кора субстрата находилась на одном уровне с древесиной щита; отверстия затем замазывают древесной замазкой или воском. Поэтому древесина и кора должны быть сухими. Каждое трансплантированное слоевище получает индивидуальный номер. Щиты прикрепляют к вертикальным стойкам высотой 1,5 м и размещают в намеченных точках обследуемой территории. Чтобы защитить экспонируемое устройство от птиц, на верхнюю сторону щита рекомендуется вбивать острые гвозди. Возможно экспонирование пересаженных слоевищ и с помощью специального устройства, называемого «лишайниковой каруселью» (рис. 8).

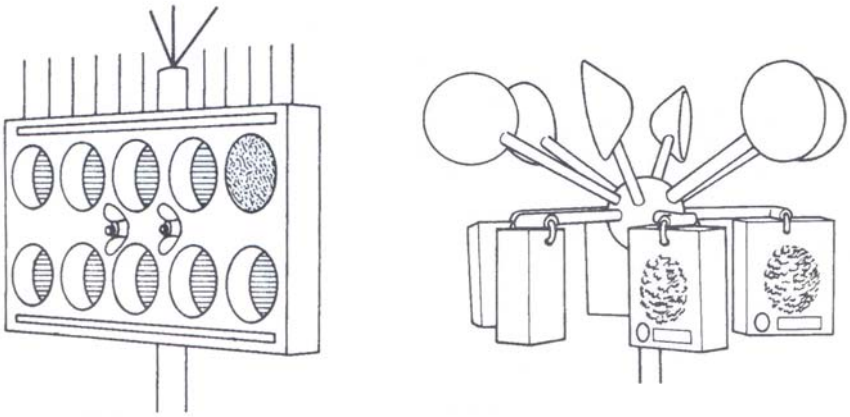

Рис. 8. Щит и «карусель» для экспонирования трансплантированных слоевищ (VDI, 1991: По Бязрову Л.Г., 2002)

В случае применения экспозиционных щитов весь период наблюдений они должны быть одинаково ориентированы относительно сторон горизонта, обычно на север.

Продолжительность экспонирования и частота наблюдений определяются решаемыми задачами исследования и свойствами фиксируемых признаков. Желательно трансплантированные слоевища измерять и фотографировать ежемесячно. Перед каждой фотосъемкой лишайники приводят в состояние максимального водонасыщения, равномерно опрыскивая около 5 мин. дистиллированной водой, и поджидают пока капли воды исчезнут со слоевища.

Простейшим способом оценки действия новых условий на пересаженные слоевища является определение смертности слоевищ, выражаемой как процент погибших за период наблюдения слоевищ от общего числа трансплантатов. К нему относятся и наблюдения за морфологическими изменениями талломов: цвета, толщины слоевища, внешнего вида апотециев, перитециев, толщины лопастей. Как критерий действия загрязнителя предлагается оценивать долю (%) поврежденной части экспонированного слоевища от его общей поверхности за период наблюдения. Отмершие части лишайника лишены зеленых и сине-зеленых пигментов; соответственно они отличаются характерной белой и серой окраской. Измерения проводят с помощью палетки на фотоснимках слоевищ, сделанных до и после экспонирования. Можно также визуально оценивать изменение внешних признаков в баллах по следующей шкале: 1 – обесцвечено 0% поверхности таллома; 2 – обесцвечено 10% поверхности; 2-4 – обесцвечено 25% поверхности; 5 – обесцвечено 50% и более поверхности таллома.

Задание. Выполнить анализ проб снега возле источника загрязнения и за пределами сферы его деятельности (на фоновой территории). Подготовить для лихеноиндикационного исследования щиты с трансплантированными слоевищами и разместить их в точках мониторинга. В лаборатории оценить степень

повреждения ранее экспонированных слоевищ, по результатам работы подготовить письменное заключение.

Занятие 7
Методы представления и статистической обработки результатов наблюдений

Цель занятия. Изучить способы представления и группировки экспериментальных данных, методику статистической обработки результатов наблюдений.

План работы: 1. Изучить методику представления и группировки данных наблюдений.

2. Освоить статистические методы обработки результатов наблюдений.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Схемы табличного и графического представления результатов исследований. 3. Компьютерная программа «Инженерный калькулятор». 4. Карточки с вариантами заданий для самостоятельной работы.

Методические указания

При оценке результатов наблюдений и экспериментов неизбежно возникает целый ряд проблем: как все обилие полученных данных свести к ряду показателей, которых было бы немного, но чтобы они возможно более полно характеризовали изучаемое явление; каким различиям в полученных результатах можно придавать значение, а какими можно пренебречь. Поэтому в работе эколога всегда большое место занимают вопросы статистической обработки данных.

Приведение результатов экспериментов и наблюдений за окружающей средой в определенную систему представляет собой первую задачу, с которой сталкивается исследователь. Наведение порядка в огромном массиве полученных данных обычно сводится к группировке результатов наблюдений и представлению всего объема цифр и фактов в виде **таблицы** или **вариационного ряда**.

Таблицы служат инструментом анализа. **В таблицу вносятся данные, которые не поддаются воспроизведению другим способом** (с помощью схем, рисунков, графиков и диаграмм). Все таблицы в пределах одного материала строят однотипно. Рекомендуемые пропорции таблиц 3:2 или 3:1 (первая цифра характеризует заполнение листа по ширине). В таблице должно быть не более 10 столбцов или строчек. При большем числе их объединяют в четко различимые подгруппы. Диагональных разделительных линий в заголовках таблиц следует избегать. Таблицы, если их несколько, нумеруют. Заголовок из 7 – 9 слов строят так, чтобы раскрыть содержание таблицы.

При обработке результатов измерений широко применяются **методы графического изображения и анализа**. Графический метод дает наглядное представление о взаимной связи между изучаемыми величинами и позволяет

непосредственно осуществлять измерительные и вычислительные операции, причем сделать их, не прибегая к расчетам, которые могут оказаться сложными и трудоемкими.

При графической обработке экспериментальных данных обычно применяют прямоугольную систему координат. На график наносят совокупность значений **x** и **y**, причем по оси абсцисс – значения независимой переменной **x**, а по оси ординат – значения функции **y**. Через полученные таким образом точки проводят плавную кривую. Если на график наносят несколько кривых, то точки на каждой из них целесообразно пометить различными значками. Для получения наиболее надежных результатов график строят на миллиметровой бумаге.

Кривая должна занимать почти все поле чертежа. Для этого шкалы для **x** и **y** начинают с ближайшего к наименьшему округленному значению и заканчивают ближайшим к наибольшему округленному значению данной величины. Цену деления выбирают в зависимости от крайних значений **x** и **y**, однако целесообразно отдать предпочтение такому масштабу, в котором 1 см принят за 1, 2 или 5 единиц. Соотношение в масштабах по координатным осям выбирают так, чтобы кривая не была слишком сжатой или растянутой.

Обработка экспериментальных материалов путем построения графиков и таблиц не заканчивается. Часто в работе специалиста возникают вопросы, связанные с проверкой статистических гипотез.

Статистическая гипотеза, как и любая гипотеза, означает научное предположение, которое требует проверки, доказательства. Статистической гипотезой называют некоторое предположение относительно свойств статистической совокупности, которое может быть проверено на основе выборки.

Ситуация, когда фактическим наблюдениям противопоставляется некоторая гипотеза и приходится проверять, совместимы факты с гипотезой или несовместимы, встречается очень часто. Если выдвинутая гипотеза будет подтверждена, то разность между фактическими и гипотетическими показателями можно считать равной нулю. В связи с этим испытуемую гипотезу называют нулевой гипотезой и обозначают H_0.

Допустим, исследуемая величина X может принимать определенные значения: $a_1 < a_2 < \ldots < a_n$, которые расположены в порядке возрастания. Такое множество возможных выборочных значений a_i называют выборочным пространством и обозначают символом W. В конкретной выборке может быть получено любое из значений a_i. Конкретное значение a_k, полученное в данной выборке, называют выборочной точкой.

В результате проверки гипотезы мы должны либо принять ее, либо отвергнуть. Это решение опирается на определенные статистические критерии, которые устанавливают условия, при которых проверяемую гипотезу следует либо принять, либо отвергнуть. Решение принимается на основе выборки и зависит от положения выборочной точки в выборочном пространстве W, которое имеет две области: 1) критическую; 2) область допустимых значений. Критической

областью для данного критерия называют множество возможных положений выборочной точки в выборочном пространстве, которые приводят к отвержению нулевой гипотезы. Поэтому определение критической области равносильно заданию критерия проверки гипотезы. Например, область больших отрицательных отклонений и область больших положительных отклонений являются односторонними критическими областями.

Примером проверки нулевой гипотезы является задача сравнения средних арифметических. Конкретная схема проверки гипотезы о средних величинах зависит от ряда моментов, на которые следует обращать внимание: 1) равенство сравниваемых выборок по численности; 2) независимость выборок - схема проверки гипотезы видоизменяется в зависимости от того, являются ли отдельные варианты наблюдений двух выборок попарно зависимыми или нет; 3) однородность дисперсий – дисперсии выборок могут оказаться одинаковыми и не равными друг другу.

Справедливость нулевой гипотезы проверяется вычислением статистических критериев для определенного уровня значимости. Среди таких критериев особенно часто используется t-критерий и НСР.

Оценка разности средних арифметических независимых выборок по t-критерию и НСР.

Гарантией надежности вывода о существенности или несущественности различий между средними арифметическими (x_1 и x_2) служит отношение разности между средними к ее ошибке, которое получило название критерия существенности разности:

$$t = \frac{d}{Sd} = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{Sx_1^{\ 2} + Sx_2^{\ 2}}},$$

где d – разность между средними; S_d – ошибка разности средних; S_x – ошибка индивидуальной средней.

Теоретическое значение t-критерия находят по специальной таблице, зная число степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ и принятый уровень значимости. Фактическое значение t-критерия находят по приведенной выше формуле. Если $t_{факт.} > t_{теор.}$, нулевая гипотеза об отсутствии существенности различий между средними отвергается.

Проверить нулевую гипотезу можно и по величине НСР, которая представляет собой предельную ошибку разности выборочных средних при определенном числе степеней свободы ($\nu = n_1 + n_2 - 2$) и принятом уровне значимости:

$$НСР = t_{05} \cdot S_{d.}$$

Когда разность между средними попадает в критическую область (d > НСР), она признается значимой и нулевая гипотеза отвергается.

Оценка существенности средней разности (сопряженные выборки). Сущность заключается в том, что оценивается не разность средних (d), а существенность средней разности (d), хотя арифметически это одна и та же величина. Для нахождения S_d разностным методом вычисляют разность между

сопряженными парами наблюдений (d_1, d_2, … d_n), определяют значение средней разности $d = \sum d : n$, ошибку средней разности и t-критерий по формулам:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d-d)^2}{n(n-1)}}; \quad t = \frac{d}{S_d}.$$

Число степеней свободы для теоретического t-критерия находят по равенству $\nu = n-1$, где n – число сопряженных пар наблюдений.

Задание. Оценить существенность различий между средними арифметическими, полученными по независимым и сопряженным выборкам.

Занятие 8
Индексы биоразнообразия экосистем

Цель занятия. Познакомиться с индексами биоразнообразия и мерами сходства экосистем.

План работы: 1. Изучить методику оценки биоразнообразия местообитаний с помощью индексов видового богатства и относительного обилия видов.

2. Научиться рассчитывать основные индексы разнообразия и сходства местообитаний.

Оборудование и материалы: 1. Методические указания к практическим занятиям. 2. Компьютерная программа «Калькулятор». 3. Таблицы к теме занятия.

Методические указания

Существуют две причины интереса экологов к разнообразию биоты и способам его оценки. Во-первых, разнообразие лежит в основе некоторых наиболее фундаментальных проблем теоретической и прикладной экологии. Во-вторых, величина биоразнообразия часто считается показателем лучшего или худшего состояния экосистем.

Понятие «биоразнообразие» включает в себя два компонента: 1) число видов; 2) их относительное обилие. Разнообразие можно оценить путем подсчета числа видов, измерения их относительного обилия или использования меры, объединяющей эти два компонента.

Индексы биоразнообразия.

Различные сочетания числа выявленных в сообществе видов (S) и общего числа особей всех видов (N) лежат в основе нескольких простых индексов видового богатства. Среди них укажем индекс разнообразия Маргалефа, который находят по формуле: $D_{Mg} = (S - 1)/ \ln N$ (в формуле использован натуральный логарифм).

Другой показатель – индекс Менхиника: $D_{Mn} = S/\sqrt{N}$. Легкость расчетов – одно из больших преимуществ этих индексов.

Вторая группа мер разнообразия – **индексы относительного обилия видов**. Среди них наиболее известны индекс Шеннона, Симпсона, Макинтоша и Бергера-Паркера.

Индекс Шеннона рассчитывается по формуле: $H' = -\sum pi \cdot \ln pi$, где величина p_i – доля особей i-го вида. В выборке истинное значение p_i неизвестно, но оценивается как n_i/N. Величина индекса Шеннона обычно укладывается в интервале от 1,5 до 3,5. Два индекса Шеннона, найденные для разных сообществ организмов, можно сопоставить друг с другом, используя критерий Стьюдента (t-критерий):

$$t = \frac{H_1' - H_2'}{\left(Var\,H_1' + Var\,H_2'\right)^{1/2}},$$

где H_1 - разнообразие варианта; Var H_1 - дисперсия варианта. Дисперсию для индекса Шеннона оценивают по формуле:

$$\text{Var H'} = \frac{\sum pi(\ln pi)^2 - \left(\sum pi \ln pi\right)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2},$$

где S - число зарегистрированных видов;

N - общее число зарегистрированных в варианте форм (видов).

Степени свободы для нахождения по таблицам теоретического t-критерия определяют по формуле:

$$5)\ df = \frac{\left(Var\,H_1' + Var\,H_2'\right)^2}{\left[\left(Var\,H_1'\right)^2 / N_1\right] + \left[\left(Var\,H_2'\right)^2 / N_2\right]},$$

где N_1 и N_2 - общее число форм, выделенных на данных вариантах.

Индекс Симпсона описывает вероятность принадлежности двух любых особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества, к разным видам: $D = \sum pi^2$, где p_i – доля особей i-го вида. Для расчета индекса используется формула, соответствующая конечному сообществу: $D = (n_i (n_i - 1) / N (N - 1))$, где n_i – число особей i-го вида, N – общее число особей. По мере увеличения D разнообразие уменьшается, поэтому индекс Симпсона обычно используют в форме 1 – D или 1 / D. Этот индекс очень чувствителен к присутствию в выборке наиболее обильных видов, но слабо зависит от видового богатства.

Индекс Макинтоша рассчитывается по формуле: $U = \sqrt{\sum ni^2}$. Этот индекс сам по себе не является индексом доминирования, однако, используя его, можно рассчитать меру разнообразия (D), которая независима от N: $D = \frac{N-U}{N-\sqrt{N}}$. В дальнейшем можно получить меру выравненности по формуле: $E = \frac{N-U}{N-\sqrt{S}}$.

Индекс Бергера-Паркера выражает относительную значимость наиболеее обильного вида: $d = N_{max}/ N$, где N_{max} – число особей самого обильного вида. Как

и в случае индекса Симпсона, обычно используют величину, обратную индексу, то есть его увеличение означает увеличение разнообразия и снижения степени доминирования одного вида.

Попытки экологов объяснить, почему одни территории богаче видами, а другие беднее, часто приводят к изучению разнообразия местообитаний. Разнообразие однородного местообитания называется α-разнообразием. Если разнообразие оценивается при переходе от одного местообитания к другому или вдоль какого-либо градиента, то это уже β-разнообразие. Дифференцирующее или β-разнообразие характеризует степень различий (или сходства) ряда местообитаний или выборок с точки зрения их видового состава, а иногда и обилия видов.

Один из общих подходов к измерению β-разнообразия – сравнение видового состава различных сообществ. Чем меньше общих видов в сообществах или в разных точках градиента, тем выше β-разнообразие. Самый простой способ измерения β-разнообразия двух участков – расчет коэффициентов сходства.

Коэффициенты сходства: коэффициент Жаккара – $C_i = i / (a + b - 1)$; коэффициент Съеренсена – $C_s = 2i / (a + b)$, где i – число общих видов на обоих участках, a – число видов на участке А, b – число видов на участке Б. Параллельно можно подсчитать показатель несходства: $1 - C_s$ (C_i). Коэффициенты равны 1 в случае полного сходства участков и 0 – если выборки совершенно различны и не включают общих видов. Эти индексы легко вычисляются, однако это может быть и недостатком, так как не принимается во внимание обилие видов. Поэтому экологи разработали меры сходства, основанные на количественных данных. Чаще других применяют модифицированный индекс Съеренсена (количественный): $C_N = 2iN / (aN + bN)$, где aN – общее число особей на участке А, bN – общее число особей на участке Б, iN – сумма наименьших из двух обилий видов, встреченных на обоих участках.

Еще один индекс сходства – индекс Мориситы-Хорна:

$$C_{МН} = \frac{2 \cdot (an_i \cdot bn_i)}{(da + db) \cdot aN \cdot bN},$$

где aN – общее число особей на участке А, bN – общее число особей на участке Б, an_i и bn_i – число особей i-го вида на соответствующих участках, $da = \frac{an_i^2}{aN^2}$.

Однако у индекса Мориситы-Хорна есть недостаток – высокая чувствительность к численности самых обильных видов.

Если оценка видовой структуры сообщества проводится в течение двух и более лет, то коэффициент общности рассчитывается по формуле:

$КО = \frac{2a}{2a + b + c}$ (%), где a – виды, присутствующие в год наблюдений и в год, взятый для сравнения; b – виды, присутствующие только в год наблюдений; c – виды, присутствующие только в год, взятый для сравнения. Основой для сравнения может служить как первый год в серии наблюдений, так и год, предшествующий последнему наблюдению.

Задание. По предложенным преподавателем экспериментальным данным провести вычисление индексов видового богатства и относительного обилия видов. По результатам вычислений сделать письменные выводы.

Вычислить меры сходства (C_i, C_s, C_N, C_{MH}) двух местообитаний: обустроенные и ненарушенные человеком участки вдоль реки, заселенные птицами (табл. 3). По результатам вычислений сделать письменные выводы.

Таблица 3

Обилие гнездовых территорий на заселенных птицами обустроенных и ненарушенных участках вдоль реки

Вид	Число территорий на 10 км		Вид	Число территорий на 10 км	
	Ненаруш. участков	Обустроен. участков		Ненаруш. участков	Обустроен. участков
1	1,4	0	14	14,3	8,6
2	4,3	0	15	8,6	5,7
3	2,9	0	16	7,1	2,9
4	8,6	2,9	17	10,0	0
5	4,2	0	18	1,4	0
6	15,7	0	19	2,9	2,9
7	2,0	0	20	5,7	0
8	50,0	10,0	21	1,4	0
9	1,0	0	22	11,4	5,7
10	11,4	0	23	2,9	0
11	11,4	5,7	24	4,3	2,9
12	4,3	2,5	25	1,4	0
13	13,0	5,7	26	2,9	2,9

Примечание: обилие в данном примере – число гнездовых территорий, где отмечен вид. Для удобства обилием можно считать число особей.

Список литературы

1. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. - Л., 1989.
2. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М., 2002.
3. Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв / Под ред. Л.А. Гришиной. – М., 1990.
4. Гапонюк Э.И., Малахов С.Г. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л., 1985.
5. Гришина Л.А., Копцик Г.Н., Моргун Л.В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1991.
6. Дончева А.В. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. - М., 1992.
7. Евсеев В.В. Методы экологических исследований. - Курган, 1998.
8. Евсеев В.В. Руководство к практическим занятиям по методам экологических исследований. - Курган, 1998.
9. Жучкова В.К., Раковская Э.М. Природная среда - методы исследования. - М., 1982.
10. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. - М., 1992.
11. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. - Новосибирск, 1991.
12. Практикум по методике опытного дела в защите растений / В.Ф. Пересыпкин, С.Н. Коваленко, В.С. Шелестова, М.К. Асатур. – М., 1989.
13. Симаков Ю.Г. Жизнь пруда. – М., 1982.
14. Теоретические основы и опыт экологического мониторинга. - М., 1983.
15. Штраус В., Мэйнуорринг С.Д. Контроль загрязнения воздушного бассейна. - М., 1989.

Приложение 1

Перечень тем контрольных работ
по дисциплине «Экологический мониторинг»
для самостоятельной работы студентов

Раздел курса «Планирование исследований»

1. Основные процессы получения информации в экологических исследованиях: наблюдение, мониторинг, эксперимент.
2. Этапы планирования научных исследований в экологии.
3. Принцип определения оптимального числа наблюдений.
4. Методика отбора проб объектов окружающей среды и подготовки их к анализу.
5. Текущая документация в опытах: требования и правила ведения.

Раздел курса «Принципы и методы экологического мониторинга»

1. Особенности организации почвенного мониторинга.
2. Организация мониторинга почв, загрязняемых пестицидами.
3. Биоиндикация и микробиологический мониторинг.
4. Физико-химические методы в экологическом мониторинге.
5. Метод лизиметров.
6. Дистанционные и картографические методы в экологическом мониторинге.
7. Мониторинг состояния ландшафтов.
8. Мониторинг водных экосистем.
9. Мониторинг воздушной среды.

Раздел курса «Анализ результатов наблюдений»

1. Роль статистических методов в экологии. Группировка и представление данных.
2. Статистические критерии в оценке достоверности разности между данными наблюдений.
3. Дисперсионный анализ и возможность его применения для обработки результатов наблюдений.
4. Видовое разнообразие экосистем как показатель состояния окружающей среды и способы его оценки.
5. Методы популяционной экологии в экологическом мониторинге экосистем.

Приложение 2

Значения критерия t на 5 и 1%-м уровне значимости

Число степеней свободы (ν)	Уровень значимости	
	0,05	0,01
1	12,71	63,66
2	4,30	9,93
3	3,18	5,84
4	2,78	4,60
5	2,57	4,03
6	2,45	3,71
7	2,37	3,50
8	2,31	3,36
9	2,26	3,25
10	2,23	3,17
11	2,20	3,11
12	2,18	3,06
13	2,16	3,01
14	2,15	2,98
15	2,13	2,95
16	2,12	2,92
17	2,11	2,90
18	2,10	2,88
19	2,09	2,86
20	2,09	2,85
21	2,08	2,83
22	2,07	2,82
23	2,07	2,81
24	2,06	2,80
25	2,06	2,79
26	2,06	2,78
27	2,05	2,77
28	2,05	2,76
29	2,05	2,76
30	2,04	2,75
50	2,01	2,68
100	1,98	2,63
∞	1,96	2,58

Содержание

Введение …….. 3

Занятие 1. Планирование исследований природной среды ……4

Занятие 2. Определение необходимого количества наблюдений и учетов …… 5

Занятие 3. Организация мониторинга почв агроценозов ……. 8

Занятие 4. Биоиндикация и микробиологический мониторинг наземных экосистем ……13

Занятие 5. Мониторинг водных экосистем …… 15

Занятие 6. Мониторинг воздушной среды ……..21

Занятие 7. Методы представления и статистической обработки результатов наблюдений ……25

Занятие 8. Индексы биоразнообразия экосистем …….. 28

Список литературы ……. 31

Приложение 1..... 33

Приложение 2 …… 34

Евсеев Вадим Валерьевич

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Методические указания к выполнению лабораторно-практических занятий для студентов специальности «Экология» (020801)

Редактор: Н.М. Устюгова

Подписано в печать Формат бумаги 60 x 84 $^{1}/_{16}$ Бумага тип. № 1
Печать трафаретная Усл. печ. л. 2,25 Уч.-изд. л. 2,25
Заказ Тираж 100 Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.