

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ
(образован в 1953 году)

Кафедра неорганической и аналитической химии

*Дистанционное
обучение*

Н.Н.Роева

ЭКОЛОГИЯ

*Учебно-практическое пособие
для студентов 1 и 2 курсов всех специальностей
и всех форм обучения*



www.mgta.ru

Москва – 2005

УДК 574

© Роева Н.Н.

Экология. Учебно-практическое пособие. – М., МГУТУ, 2005

Рекомендовано Институтом информатизации образования РАО,
сертификат № _____

В учебно-практическом пособии доктора химических наук, профессора Роевой Н.Н. в кратком и систематическом виде изложено содержание курса «Экология». Особое внимание уделено рассмотрению элементов экологических систем и их характеристик; общей закономерностей действия экологических факторов среды; значимости биогеохимических циклов; анализу проблем загрязнения окружающей среды и определению количественных критериев, оценки его уровня загрязнения; описанию специфических биогеохимических свойств токсикантов и основных практических направлений мониторинга, обеспечивающих аналитический контроль их содержания в окружающей среде.

После каждой темы даны вопросы и тесты, позволяющие контролировать степень усвоения материала. Имеется словарь основных понятий.

Пособие предназначено для студентов заочной формы обучения 1(с) и 2-го курсов технологических, механических и экономических специальностей.

Автор: Роева Наталья Николаевна

Рецензенты: Саввин Сергей Борисович, доктор химических наук, профессор,
ГЕОХИ РАН;
Макаров Николай Васильевич, доктор химических наук,
профессор, МГУПБ.

Редактор: Свешникова Н.И.

ISBN

© Московский государственный университет технологий и управления, 2005
109004, Москва, Земляной вал, 73

Хим.анал.-5.22.0608 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2102 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.1706 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.0702 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2202 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.3511 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2701 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2703 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2704 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2705 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2708 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2710 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2712 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2713 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.0204 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.2202 очн.плн.
Хим.анал.-5.22.2102 очн.плн.
Хим.анал.-5.22.1706 очн.плн.
Хим.анал.-5.22.2712 зчн.плн.
Хим.анал.-5.22.0702 очн.плн.
Хим.анал.-5.22.0608 очн.пфо.
Хим.анал.-5.22.3511 очн.пфо.

Хим.анал.-5.22.0608 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2102 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.1706 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.0702 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2202 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.3511 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2701 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2703 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2704 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2705 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2708 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2710 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2712 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.2713 зчн.скр.
Хим.анал.-5.22.0204 зчн.скр.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	5
Глава 1. Введение в экологию	6
1.1. Структура экологии	7
1.2. Основные понятия общей экологии	9
<i>Вопросы</i>	10
<i>Тесты</i>	11
Глава 2. Экосистема как многокомпонентная составляющая биосферы	11
2.1. Типы экосистем	12
2.2. Основные характеристики экосистем	13
<i>Вопросы</i>	15
<i>Тесты</i>	15
Глава 3. Элементы экологических систем и их характеристики	16
3.1. Вид и основные его критерии	16
3.2. Популяция и характерные для нее взаимосвязи	17
3.3. Биоценоз и характерные для него взаимосвязи	19
<i>Вопросы</i>	22
<i>Тесты</i>	22
Глава 4. Биогеохимические циклы	22
<i>Вопросы</i>	26
<i>Тесты</i>	26
Глава 5. Экологические факторы окружающей среды	26
5.1. Классификация экологических факторов	27
5.2. Общие закономерности действия факторов среды	29
<i>Вопросы</i>	30
<i>Тесты</i>	30
Глава 6. Загрязнение окружающей среды и количественные критерии оценки его уровня	31
<i>Вопросы</i>	35
<i>Тесты</i>	36
Глава 7. Токсиканты и их специфические биогеохимические свойства	36
7.1. Специфические биогеохимические свойства токсикантов	37
7.2. Понятие токсичности и канцерогенности элементов и соединений	39
7.3. Химико-экологический анализ токсикантов	41
<i>Вопросы</i>	43
<i>Тесты</i>	44
Глава 8. Мониторинг окружающей среды	44
8.1. Понятие экологического мониторинга окружающей среды	45
8.2. Основные практические направления мониторинга	46
8.3. Классификация систем мониторинга	47
<i>Вопросы</i>	49
<i>Тесты</i>	49
Глава 9. Понятие, принципы и цели экологической экспертизы	50
<i>Вопросы</i>	54
<i>Тесты</i>	54
Тесты по дисциплине «Экология»	56
Словарь основных понятий	57
Литература	62

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экология – наука, изучающая условия существования живых организмов, их взаимосвязи между собой и окружающей средой, в которой они обитают.

В последние годы в нашей стране начата работа по развитию экологического образования. Издан ряд вузовских учебников по дисциплине «Экология». Однако, в основном, они рекомендованы для студентов биологических специальностей и включают в себя преимущественно экобиологические концепции преподавания этой дисциплины.

При разработке учебно-практического пособия по специальности «Экология» для студентов пищевых институтов остро встает проблема отбора рассматриваемых тем и вопросов, наиболее важных для формирования специалистов пищевой промышленности с современным уровнем экологического мышления.

Поскольку современная экология – это целый комплекс наук, состоящий из ряда научных дисциплин, нами при подготовке учебно-практического пособия для студентов пищевого профиля предложена методология преподавания дисциплины «Экология», базирующаяся на наиболее актуальных и приоритетных экологических концепциях, направлениях и прикладных аспектах.

В связи с этим целесообразным представлялось включение в учебно-практическое пособие главных основополагающих принципов общей и глобальной экологии, экологии человека и общества, актуальных проблем, связанных с загрязнением окружающей среды промышленными отходами, концепцией комплексного экологического нормирования и стандартизации, приоритетных направлений природопользования, прикладных аспектов по улучшению качества природной среды и т.д.

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ

Экология (греч. *oikos* – дом, *logos* - наука) – “наука о доме” – наука об взаимоотношениях живых организмов между собой и с окружающей средой. Сам термин “экология” был предложен немецким биологом, профессором Венского университета Эрнстом Геккелем в 1866 г. в книге “Всеобщая морфология организмов”. Предыстория экологии восходит к трудам натурфилософов Древней Греции. Еще в IV веке до н.э. Аристотель в своих трудах “О частях животных”, “Возникновение животных”, “Описание животных” рассмотрел животных в связи с их местообитанием. Его ученик Теофраст в своих книгах “Естественная история растений” и “О причинах растений” описывает естественные группировки растений разных местностей.

Экологические наблюдения содержатся и в трудах средневекового ученого XIII века Альберта Великого, который изучал влияние почвы на жизнь растений.

Экология зарождалась в ботанике и зоологии, в трудах естествоиспытателей XVIII века – шведа Карла Линнея, француза Жоржа Бюффона, русского натуралиста Ивана Ивановича Лепехина, петербургского академика Петра Симона Палласа и многих других. В начале XIX века французский биолог Жан Батист Ламарк в своих трудах обосновывает идеи о роли среды в жизни организмов. Немецкий естествоиспытатель Александр Фридрих Вильгельм Гумбольдт на основе многолетних наблюдений в Центральной и Южной Америке выявил зависимость от температуры вертикальной растительной зональности в горах и горизонтальных растительных зон на равнинах. Дальнейшая предыстория экологии связана с именами многих ученых. Напр., немецкого химика Юстуса Либиха, профессора Московского университета Карла Францевича Рулье, немецкого ученого Карла Бергмана, русского ученого Николая Алексеевича Северцова.

Однако наибольшее влияние на формирование экологии как самостоятельной науки оказал Чарльз Дарвин, опубликовавший в 1859 г. свою книгу “Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь”. Именно под влиянием эволюционной теории Ч.Дарвина - Э.Геккель пришел к выводу о необходимости выделения экологии в особую биологическую дисциплину, изучающую взаимоотношения живых организмов между собой и с окружающей средой.

С тех пор экология как наука, развиваясь и обрстая научными данными, накопила огромное количество материала, которое уже не вмещалось в рамки единой общей экологии, или биоэкологии - экологии в первоначальном смысле, который придал ей автор термина Э.Геккель.

В настоящее время экология распалась на целый ряд научных отраслей и дисциплин, среди которых выделяются: теоретические, вскрывающие общие законы жизни, и прикладные, призванные помочь применить эти законы.

Современная экология охватывает чрезвычайно широкий круг вопросов и тесно переплетается с целым рядом смежных наук, таких как, напр., биоэкология, география, физика, химия, медицина, математика, агрономия, философия, социология и многих других.

Проблема взаимодействия общества с окружающей природной средой в настоящее время является проблемой, от которой зависит будущее человечества. Взаимодействие человека и природы в результате продолжающейся ускоренными темпами индустриализации и урбанизации нашей планеты привело к кризисной ситуации, когда встал вопрос об угрозе самому существованию человека. Это требует экологизация, т.е. учета законов экологии, всей человеческой деятельности. Экологический подход становится необходимым при решении научных, производственных, техникий, демографический и прочих задач.

Проблема охраны природы, ее разумного и рационального использования на основе экологических законов становится одной из важнейших задач человечества. Экология является основной теоретической базой, научной основой охраны природы. Невозможно охранять природу, использовать ее богатства, не зная, как она устроена, по каким законам существует и развивается, как реагирует на воздействие человека, какие предельно допустимые нагрузки на природные системы может позволить себе общество, чтобы не разрушить их. Все это является предметом экологии.

Основными задачами экологии являются:

1. Исследования закономерностей организации различных форм жизни и влияние на них антропогенных (греч. *anthropos* – человек, *genos* – род, происхождение) воздействий;
2. Прогнозирование окружающей среды под влиянием антропогенной деятельности и поиск способов адаптации к этим изменениям;
3. Создание научной основы сохранения среды обитания человека и рациональной эксплуатации биологических ресурсов.

Знание основ экологии необходимо и обществу и отдельному человеку для того, чтобы разумно строить свою жизнь и деятельность. Современная экология – это бурно развивающаяся, комплексная наука, представляющая собой разветвленную систему экологических дисциплин.

1.1. Структура экологии

Все прикладные экологические науки связаны с общей экологией. Их можно систематизировать либо по методам, которыми они пользуются.

I. В соответствии с размерами объектов изучения, это напр.:

1. Аутоэкология (греч. *autos* – сам) – раздел экологии, изучающий взаимоотношения отдельного организма с окружающей средой.
2. Демэкология (греч. *demos* – народ) – изучает популяцию и ее среду.
3. Эйдэкология (греч. *eidōs* – образ) – экология видов.
4. Синэкология (греч. *syn* – вместе) – рассматривает жизнь сообществ организмов (экосистем).
5. Ландшафтная экология – изучает приспособления организмов в разной географической среде.
6. Мегаэкология или глобальная экология – наука о биосфере земли и положении человека в ней.

II. В соответствии с отношением к объекту изучения, это напр.:

1. Экология микроорганизмов;

1. Экология грибов;
2. Экология растений;
3. Экология животных;
4. Экология социальная – рассматривает взаимодействие человека и человеческого общества с окружающей средой;
5. Экология человека – включает изучение взаимодействия человеческого общества с природой, экологию человеческой личности и экологию человеческих популяций, в том числе учение об этносах;
6. Экология промышленная, или инженерная – рассматривает взаимное влияние промышленности и транспорта на природу;
7. Сельскохозяйственная экология – изучает способы получения сельскохозяйственной продукции без истощения природных ресурсов, а также способы получения экологически чистых, т.е. не загрязненных опасными для здоровья человека веществами, продуктов;
8. Медицинская экология – изучает болезни человека, связанные с загрязнением среды и способы их предупреждения и лечения.

III. В соответствии со средами и компонентами, можно выделить такие дисциплины, как, например:

1. Экология суши.
2. Экология пресных водоемов.
3. Экология морей.
4. Экология тундр.
5. Лесная экология, изучает способы использования ресурсов лесов при их постоянном восстановлении.
6. Экология высокогорья,
7. Урбаноэкология (лат. *urbanus* - городской) - экология градостроения, изучает возможности расселения людей в городах и других населённых пунктах с учетом интересов населения и сохранения природной среды.

IV. В соответствии с используемыми методами можно выделить следующие прикладные экологические науки:

1. Математическая экология, задачей которой является перевод эмпирически накопленных данных в математические модели с целью прогнозирования состояния и поведения популяций и сообществ при изменении экологических условий.
2. Химическая экология - разрабатывает методы анализа загрязнителей и способы уменьшения вреда от химических загрязнений.
3. Экономическая экология – создает экономические механизмы, рационального природопользования.
4. Юридическая экология - нацелена на разработку системы природоохранных законов.

V. В соответствии с подходом к предмету, можно назвать такие дисциплины, как, например:

1. Аналитическая экология.
2. Динамическая экология.

VI. Наконец, в соответствии с фактором времени, это, например:

1. Палеоэкология (греч. *palaios* - древний) - изучает условия существова-

ния, образ жизни и взаимосвязь животных и растений в прошлые геологические эпохи.

2. Эволюционная экология - рассматривает экологические закономерности эволюции.

В последнее время экологи пришли к принципиально важному обобщению, показав, что условия среды осваиваются организмами на уровне сообществ организмов (популяций, биоценозов), а не отдельными особями, поэтому современное определение экологии звучит так: "Экология - это наука о закономерностях формирования, развития и устойчивого функционирования биологических систем разного ранга в их взаимоотношениях с условиями среды" (И.А.Шилов).

1.2. Основные понятия общей экологии

Изучение экологии невозможно без определения основных понятий. Понятие "организм" (лат. *organize* - устраиваю, придаю стройный вид) употребляется как в узком смысле - особь, индивидуум, "живое существо" так и в широком, самом общем смысле - сложно организованное единое целое.

В природе любое живое существо для того, чтобы жить нуждается, в первую очередь, в сообществе себе подобных, поэтому возникает надорганизменные макросистемы: биологический вид, популяция. Биологический вид - это совокупность особей, обладающих общими признаками, способных свободно скрещиваться между собой и давать плодовитое потомство, занимающих определённый ареал (лат. *area* - площадь, пространство) и отграниченных от других видов нескрещиваемостью в природных условиях.

Представление о видах, как об основной структурной и классификационной единице в системе живых организмов, было введено К.Линнеем, опубликовавшим в 1735 г. свой труд "Системы природы".

Конкретной формой существования вида в природе является популяция, т.е. вид - это совокупность популяций. Термин "популяция" ввел В.Иогансен в 1903 г.

Популяция (лат. *populus* - народ) - это внутривидовая группировка особей, занимающая часть ареала данного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать свое существование.

Поскольку в природе не бывает абсолютно одинаковых условий для нескольких территориальных группировок, а каждая популяция живет в определённых условиях, популяции одного и того же вида по многим признакам отличаются одна от другой. Иногда эти отличия едва уловимы, иногда они очевидны. Такие различия между популяциями одного вида объясняются результатами генетической разнокачественности всей совокупности особей одного вида, возникшей в результате неодинаковых условий существования.

Популяции различных видов живых организмов, заселяющие общие места обитания, неизбежно вступают во взаимоотношения. Длительное совместное существование лежит в основе формирования многовидовых сообществ - биоценозов, в которых подбор видов не случаен, а определяется возможностью непрерывного поддержания круговорота веществ. Термин "биоценоз" предложил К.Мёбиус в 1877 г. Биоценоз (греч. *bios* - жизнь, *koinos* - общий) - это организованная группа взаимосвязанных популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, живущих совместно в одних и тех же условиях среды.

Местообитание биоценоза называется биотопом. Биотоп (греч. *bios* - жизнь, *topos* - место) - это пространство с однородными условиями (рельефа, климата), заселенное определенным биоценозом. Любой биоценоз неразрывно связан с биотопом, образуя вместе с ним устойчивую биологическую макросистему еще более высокого ранга - биогеоценоз, или экосистему. Термин "биогеоценоз" предложил в 1940 г. Владимир Николаевич Сукачев. Он практически тождественен широко распространенному за рубежом термину "экосистема" и применяется для обозначения наземных экосистем. Термин "экосистема" предложил в 1935 г. английский эколог А.Тенсли.

Экосистема (греч. *oikos* - дом, *systema* - сочетание, объединение) - экологическая система, совокупность совместно обитающих организмов разных видов и условий их существования, в которой живые и неживые компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии.

Между экосистемами нет четких границ, одна экосистема постепенно переходит в другую, более мелкие экосистемы входят в состав более крупных, вплоть до общей глобальной экосистемы Земли - биосферы.

Биосфера (греч. - жизнь, *spharia* - шар) - глобальная экосистема всего земного шара, оболочка Земли, состоящая из совокупности всех живых организмов (биота), веществ, их составляющих, и среды их обитания. Биосфера - это область распространения жизни на Земле, включающая в себя нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы.

Термин "биосфера" ввел австрийский геолог Э.Зюсс в 1873 г. Основные положения учения о биосфере опубликованы В.И.Вернадским в 1926 г. В своем труде, который так и называется "Биосфера", В.И.Вернадский развивает идею эволюции поверхности земного шара как целостного процесса взаимодействия неживой, или "косной" материи с живым веществом. В.И.Вернадский выделил в биосфере семь разных, но геологически взаимосвязанных типов веществ:

- 1) живое вещество;
- 2) биогенное вещество (т.е. вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами: горючие ископаемые, известняки и т.д.);
- 3) косное вещество (образуется процессами, в которых живые организмы не участвуют, напр., изверженные горные породы);
- 4) биокосное вещество (создается одновременно живыми организмами и процессами неорганической природы, напр., почва, соленая морская вода);
- 5) радиоактивное вещество;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещество космического происхождения (метеориты, космическая пыль).

В.И.Вернадский считал живое вещество наиболее мощным геохимическим и энергетическим фактором, ведущей силой планетарного развития.

Вопросы

1. Что такое экология и каковы основные ее задачи?
2. Что такое популяция?
3. Какая система называется экосистемой?
4. Что такое биосфера?
5. Охарактеризуйте понятие биогеоценоз.

Тесты

1. Дайте определение экологии, как науки изучающей:
 - а) современные закономерности взаимоотношений организмов и их популяций с окружающей природной средой;
 - б) отношение организмов (особей, популяций, биоценозов и т.п.) между собой и окружающей средой;
 - в) общие законы функционирования экосистем различного иерархического уровня.
2. Дайте определение популяции.
 - а) особь обладающая способностью свободно скрещиваться и неограниченного долго поддерживать свое существование;
 - б) совокупность особей, занимающая часть ареала данного вида;
 - в) внутривидовая группировка особей, занимающая часть ареала данного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать свое существование.
3. Охарактеризуйте понятие экосистемы:
 - а) любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое через обмен веществ и энергию, возникающее на основе причинно-следственных связей, существенных между отдельными экологическими его элементами;
 - б) составляющая биосферы, формирующаяся под влиянием природных факторов;
 - в) многокомпонентная составляющая, формирующаяся под влиянием антропогенных факторов, возникающих в результате хозяйственной деятельности человека;
4. Дайте определение биосферы:
 - а) глобальная экосистема всего земного шара;
 - б) оболочка земли, состоящая из совокупности всех живых организмов, веществ, их составляющих;
 - в) область распространения жизни на Земле, включающая в себя нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы.
5. Охарактеризуйте понятие биогеоценоза.
 - а) устойчивая биологическая система;
 - б) совокупность особей различных видов;
 - в) устойчивая биологическая система, состоящая из совокупности особей различных видов.

ГЛАВА 2. ЭКОСИСТЕМА КАК МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ БИОСФЕРЫ

Экологию изучают организацию и функционирование живых систем более сложных, чем организм. Эти системы получили название экологических систем или экосистем.

Экосистема – это безразмерная устойчивая система живых и не живых компонентов, в которой происходит внешний и внутренний круговорот вещества и энергии. В качестве примеров можно привести лесные

экосистемы, почвы, гидросферу и т.д.

Самой крупной экосистемой, предельной по размерам и масштабам, является биосфера. Биосферой называют активную оболочку Земли, включающую все живые организмы Земли и находящуюся во взаимодействии с неживой средой (химической и физической) нашей планеты, с которой они составляют единое целое. Биосфера нашей планеты существует 3 млрд. лет, она растет и усложняется наперекор тенденциям холодной энтропийной смерти; она несет разумную жизнь и цивилизацию. Биосфера существовала задолго до появления человека и может обойтись без него. Напротив, существование человека невозможно без биосферы.

Все остальные экосистемы находятся внутри биосферы и являются ее подсистемами. Крупная региональная экосистема, характеризующаяся каким – либо основным типом растительности, называется *биоомом*. Например, биом пустыни или влажного тропического леса.

В состав экосистемы входят следующие компоненты:

- неорганические вещества (C, O₂, N₂, P, S, CO₂, H₂O и др.), которые включаются в круговороты веществ;
- органические соединения (белки, углеводы, липиды и др.), связывающие биотическую (живую) и абиотическую (неживую) компоненты экосистемы;
- воздушная, водная и субстратная среды, включающие климатический режим и другие физические факторы;
- продуценты, автотрофные (самопитающиеся) организмы, в основном зеленые растения, которые, используя энергию солнечного света, синтезируют органические вещества из углекислого газа и воды;
- консументы первого порядка (растительноядные животные) и второго порядка (хищники), гетеротрофные организмы, в основном животные, питающиеся другими организмами;
- редуценты или деструкторы, в основном бактерии и грибы, живущие за счет разложения тканей умерших организмов.

2.1. Типы экосистем

Экосистемы очень разнообразны. По происхождению различают следующие типы экосистем: 1) *Природные (естественные) экосистемы* - это такие экосистемы в которых биологический круговорот протекает без прямого участия человека. Напр., болота, моря, леса, 2) *Антропогенные (искусственные) экосистемы* - экосистемы, созданные человеком, которые способны существовать только при поддержке человека. Напр., агроэкосистемы (греч. *agros* - поле) - искусственные экосистемы, возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности человека; техноэкосистемы - искусственные экосистемы, возникающие в результате промышленной деятельности человека; урбаноэкосистемы (лат. городской) - экосистемы, возникающие в результате создания поселений человека. Существуют и переходные между природными и антропогенными типы экосистем, напр., экосистемы естественных пастбищ, используемых человеком для выпаса сельскохозяйственных животных.

По источнику энергии, который обеспечивает их жизнедеятельность, экосистемы подразделяют на следующие типы:

- 1) *Автотрофные экосистемы* - это экосистемы, которые сами обеспечи-

вают себя энергией, получаемой от Солнца, за счет собственных фото- или хемотрофных организмов. К этому типу относится большинство природных экосистем и некоторые антропогенные. Сюда же относятся природные экосистемы, способные производить излишки органического вещества, которые могут накапливаться или выноситься в другие экосистемы.

2) *Гетеротрофные экосистемы* - это такие экосистемы, которые получают энергию, используя готовые органические соединения, синтезированные организмами, не являющимися компонентами данных экосистем, или использующих энергию созданных человеком энергетических установок. Это могут быть как природные, напр., экосистемы океанических глубин, использующие падающие сверху органические остатки, так и антропогенные, напр., города с их линиями электропередач. Главным источником энергии здесь служит не Солнце, а топливо. Конечно, городские экосистемы получают и солнечную энергию благодаря зеленым насаждениям, но это количество энергии ничтожно мало по сравнению с поступающим извне. Гетеротрофные экосистемы зависят от автотрофных, паразитируют на них, получая пищу и топливо.

2.2. Основные характеристики экосистем

Основными характеристиками экосистем являются: размер, емкость, устойчивость, надёжность, самовосстановление, саморегуляция и самоочищение.

Размер экосистемы - это пространство, в котором возможно осуществление процессов саморегуляции и самовосстановления всех составляющих экосистему компонентов и элементов. Различают микроэкосистемы (напр., лужа с ее обитателями, муравейник), мезоэкосистемы (лес, река, пруд) и макроэкосистемы (тундра, пустыня, океан).

Емкость экосистемы - это максимальная численность популяции одного вида, которую данная экосистема способна поддерживать в определённых экологических условиях на протяжении длительного времени. Напр., емкость уголья - это количество каких-либо диких или домашних животных, способных жить и размножаться на единице площади уголья неопределенно долгое время.

Устойчивость экосистемы - это способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних и внутренних факторов, т.е. ее способность к реакции, пропорциональной по величине силе воздействия. Природные экосистемы способны противостоять различным повреждающим воздействиям и при восстановлении нормальных условий возвращаться в состояние близкое к первоначальному. Плотность того или иного вида при неблагоприятных условиях снижается, но в оптимальных условиях возрастают плодовитость, скорость роста и развития и плотность вида восстанавливается. За меру стабильности экосистем часто принимают их видовое разнообразие. Наиболее устойчивы сложные экосистемы, в них формируются сложные трофические связи. Экосистемы с упрощённой структурой крайне неустойчивы, в них происходят резкие колебания численности отдельных популяций. Напр., сложные экосистемы тропических лесов исключительно стабильны, в то время как в Арктике недостаток видов, способных заменить в качестве пищи основной вид, приводит к резкому колебанию численности популяций.

Надежность экосистемы - это способность экосистемы относительно полно самовосстанавливаться и саморегулироваться (в течение сукцессионного или эволюционного периода своего существования), т.е., удерживать свои основные параметры во времени и пространстве. Важной характеристикой надёжности служит сохранение структуры, функций и направления развития экосистемы, без которых данная экосистема сменяется другой, с иными структурой, функциями, а иногда и направлением развития. Простейшим механизмом поддержания экологической надёжности экосистемы является замена выбывшего по каким-то причинам вида другим, экологически близким. Если такого вида в экосистеме нет, то его сменяет более отдаленный.

Самовосстановление природных экосистем - это самостоятельный возврат экосистем к состоянию динамического равновесия, из которого они были выведены воздействием каких-либо природных и антропогенных факторов.

Саморегуляция природных экосистем - это способность природных экосистем к самостоятельному восстановлению баланса внутренних свойств после какого-либо природного или антропогенного воздействия с помощью принципа обратной связи между её компонентами, т.е. экосистема способна сохранять свою структуру и функционирование в определённом диапазоне внешних условий. Саморегуляция проявляется, напр., в том, что численность особей каждого вида, входящего в экосистему, поддерживается на определённом, относительно постоянном уровне. Самовосстановление и саморегуляция природных экосистем основаны, в частности, на способности экосистем к самоочищению.

Самоочищение экосистем - это естественное разрушение загрязнителя в среде в результате природных физических, химических и биологических процессов, происходящих в ней.

1. Физические факторы самоочищения водоемов - это растворение, перемешивание и оседание на дно поступающих загрязнений, а также воздействие ультрафиолетового излучения Солнца на бактерии и вирусы. Под действием физических факторов в зонах с умеренным климатом река самоочищается уже через 200-300 км от места загрязнения, а на Крайнем Севере - через 2000 км.
2. Химические факторы самоочищения - это окисление органических и неорганических веществ. Для оценки химического самоочищения водоема используют такие показатели, как:
 - а) БПК - биологическое потребление кислорода - это количество кислорода, которое необходимо для окисления бактериями и простейшими всей органики (обычно за 5 суток ВТКs) в 1 л загрязненной воды;
 - б) ХПК - химическое потребление кислорода - количество кислорода (мл/л или г/л воды), необходимое для полного окисления загрязняющих веществ с помощью химических реагентов (обычно бихроматом калия).
3. Биологические факторы самоочищения - это очистка водоемов с помощью водорослей, плесневых и дрожжевых грибков, устриц, амёб и других живых организмов. Например, каждый моллюск профильтровывает в сутки более 30 л воды, очищая ее от всевозможных примесей.

Природные экосистемы функционируют в соответствии с тремя основными принципами:

Первый принцип функционирования природных экосистем – получение

ресурсов и избавление от отходов происходит в рамках круговорота всех элементов (гармонирует с законом сохранения массы). Круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, в основе которого лежит реакция фотосинтеза, называют *биотическим круговоротом веществ*. Кроме биогенных элементов в биотический круговорот вовлечены важнейшие для биоты минеральные элементы и множество различных соединений. Поэтому весь циклический процесс химических превращений, обусловленных биотой, называют еще *биогеохимическим круговоротом*.

Вопросы

1. Какие бывают типы экосистем?
2. Чем принципиально отличаются между собой автотрофные и гетеротрофные экосистемы?
3. Какими основными показателями характеризуются экосистемы?
4. Охарактеризуйте процессы, протекающие в природных экосистемах.
5. Что такое биотический и биогеохимический круговорот?

Тесты

1. Что определяет размер экосистемы?
 - а) пространство, в котором возможно осуществление процессов саморегуляции и самовосстановления всех составляющих экосистему компонентов и элементов;
 - б) системная мера, учитывающая протекающие в экосистеме процессы обмена и управления.
 - в) пространство экосистем
2. Что такое самовосстановление природных экосистем?
 - а) непрерывное воспроизводство или возобновление структуры и свойств природных экосистем;
 - б) процесс непрерывного воспроизводства и возобновление структуры, свойств, количественного и качественного состава природных экосистем, осуществляющихся без участия человека;
 - г) самостоятельный возврат природных экосистем к состоянию динамического равновесия, из которого они были выведены воздействием природных и антропогенных факторов.
3. Охарактеризуйте процесс самоочищения природных экосистем.
 - а) процесс разрушения загрязнителя в среде;
 - б) способность загрязнителя уменьшать свое канцерогенное и токсическое воздействие под влиянием природных, физических, химических и биологических факторов;
 - в) естественное разрушение загрязнителя в среде в результате природных, физических, химических и биологических процессов, происходящих в ней.
4. Что определяет саморегуляция природной экосистемы?
 - а) способность природной экосистемой к восстановлению своих первозданных качеств;
 - б) механизм восстановления нормального экологического состояния при-

родной экосистемы, основанный на принципе обратной связи отдельных подсистем и экологических компонентов, входящих в ее структуру;

в) способность природной экосистемы к восстановлению баланса внутренних свойств после какого-либо природного или антропогенного воздействия.

5. Что подразумевают под биотическим круговоротом веществ?

а) круговорот биогенных элементов;

б) круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом органических веществ в экосистеме;

в) круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, в основе которого лежит реакция фотосинтеза.

ГЛАВА 3. ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основными элементами экологических систем являются вид, популяция, биоценоз.

3.1. Вид и основные его критерии

Общее число биологических видов на Земле, по разным оценкам, составляет от 1,5 до 3 млн. К настоящему времени описано около 0,5 млн. – 10 видов растений и примерно 1,5 млн. видов животных. Человек - один из известных сегодня биологических видов на Земле.

Эволюционную устойчивость вида обеспечивает существование внутри вида генетически разнообразных популяций. Виды отличаются друг от друга многими признаками.

Критерии вида - это характерные для вида признаки и свойства. Различают: морфологический, генетический, физиологический, географический и экологический критерии вида. Для установления принадлежности особей к одному виду недостаточно использовать какой-либо один критерий. Только применение совокупности критериев с взаимным подтверждением различных признаков и свойств особей в их совокупности характеризует вид.

Морфологический критерий основан на сходстве внешнего и внутреннего строения особей одного вида. Но особи в пределах вида иногда настолько изменчивы, что только по морфологическому критерию не всегда удается определить вид. Кроме того, существуют виды, морфологически сходные, однако особи таких видов не скрещиваются между собой - это виды-двойники. Напр., у черных крыс есть два вида-двойника - хромосомами. Открыли 6 видов-двойников малярийного комара.

Генетические критерий - это характерный для каждого вида набор хромосом, строго определенное их число, размеры и форма. Он является главным видовым признаком. Особи разных видов имеют разные наборы хромосом, не могут скрещиваться между собой и поэтому отграничены друг от друга в природных условиях. Однако в природе встречаются случаи, когда скрещиваются между собой и дают плодовитое потомство особи разных видов (некоторые виды канареек, зябликов, тополей, ив).

Физиологический критерий - это сходство всех процессов жизнедеятельности у особей одного вида, прежде всего сходство процессов размножения.

Географический критерий - это определенный ареал (территория, акватория), занимаемый видом в природе.

Экологический критерий - это совокупность факторов внешней среды, в которой существует вид. В процессе эволюции у каждого вида сформировались приспособления к определённой среде обитания. Например, арктические птицы и млекопитающие имеют белую окраску, обладают относительно большей массой сердца (по сравнению с массой тела), чем особи популяций, живущих в южных районах. Большая интенсивность обмена при более низких температурах требует лучшего кровоснабжения, а для этого нужна более мощная сердечная мышца.

3.2. Популяция и характерные для нее взаимосвязи

В жизни любого живого существа большую роль играют отношения с представителями собственного вида. Эти отношения осуществляются в популяциях.

Различают следующие разновидности популяций:

Элементарная (локальная) популяция - это группа особей одного вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади.

Экологическая популяция - совокупность элементарных популяций. В основном, это внутривидовые группировки, приуроченные к конкретным экосистемам. Напр., "сосновые" и "елово-пихтовые" белки.

Географические популяции - совокупность экологических популяций, заселяющих территорию с географически однородными условиями существования. Например, белки Белоруссии и белки Дальнего Востока.

Соседние популяции сообщаются друг с другом в процессах расселения, переноса семян, сезонных миграций. У некоторых видов такая связь соседних популяций постоянная, у других - эпизодическая.

Отношения в популяциях - это внутривидовые взаимодействия. По характеру этих взаимодействий популяции разных видов чрезвычайно разнообразны. В популяциях встречаются все типы связей, присущих живым организмам, но наиболее распространены взаимовыгодные и конкурентные - 12 - отношения. У некоторых видов особи живут поодиночке, встречаясь лишь для размножения. Другие создают временные или постоянные семьи. Некоторые, в пределах популяций, объединяются в крупные группы - стаи, стада, колонии. Другие образуют в неблагоприятные периоды скопления, вместе переживая зиму или засуху. Популяция обладает признаками, которые характеризуют группу как целое, а не отдельные особи в группе. Такими характеристиками являются: структура, численность и плотность популяции.

Структура популяции - это количественное соотношение особей разного пола, возраста, размеров, генотипов и т.п. Соответственно, различают половую, возрастную, размерную, генетическую и другие структуры популяции.

Структура популяции зависит от различных причин. Напр., возрастная структура популяции зависит от двух причин: 1) от особенностей жизненного цикла вида; 2) от внешних условий. Есть виды с очень простой возрастной структурой популяции, которые состоят практически из представителей одного возраста (однолетние растения, саранча). Сложные возрастные структуры популяций возникают тогда, когда в них представлены все возрастные группы (стая обезьян, стадо слонов).

Неблагоприятные внешние условия могут изменить возрастной состав

популяции за счет гибели наиболее слабых, но самые устойчивые возрастные группы выживают и затем восстанавливают структуру популяции. Пространственная структура популяции определяется характером распределения особей в пространстве и зависит как от особенностей окружающей среды, так и от особенностей поведения самого вида. Любой популяции свойственна тенденция к расселению. Расселение продолжается до тех пор, пока популяция не встретится с какой-либо преградой. Основными параметрами популяции являются ее численность и плотность.

Численность популяции - это общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Уровень численности популяции, гарантирующий ее сохранение зависит от конкретного биологического вида.

Например, для крупных позвоночных - это 500 особей; для мелких позвоночных - 10 000 особей; для беспозвоночных - 50 000 особей.

Плотность популяции - это число особей, приходящихся на единицу площади или объёма, например, 150 сосен на 1 гектар, или 0,5 грамм циклопов в 1я воды характеризуют плотность популяции этих видов. Чем выше численность, тем выше приспособляемость организмов данной популяции. Численность популяции никогда не бывает постоянной и зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности, т.е. количества особей, погибших за определенный период. Плотность популяции также изменчива и зависит от численности. При возрастании численности плотность не увеличивается только в том случае, если возможно расширение ареала популяции. В природе численность любой популяции чрезвычайно динамична. Выделяют три типа популяционной динамики численности:

1) стабильный; 2) изменчивый; 3) взрывной. Типы популяционной динамики численности регулирует свою численность и приспосабливается к изменяющимся условиям среды путем обновления и замещения особей. Особи появляются в популяции благодаря рождению и иммиграции, а исчезают в результате смерти и эмиграции.

При сбалансированной интенсивности рождения и смертности формируется стабильная популяция. В такой популяции смертность компенсируется приростом и численность ее, а также ареал удерживаются на одном уровне. На численность популяции влияют также возрастной состав, общая продолжительность жизни особей, период достижения половой зрелости, длительность периода размножения, число генераций в сезон.

Улучшение питания, увеличение кормовой базы обычно приводят к повышению плодовитости и рождаемости. Увеличению численности популяции способствуют также снижение конкурентной напряженности, сокращение количества хищников и паразитов. Напротив, ухудшение питания, усиление давления хищников и паразитов, обострение конкурентных отношений - подавляют плодовитость, повышают смертность и уменьшают численность популяции. При особо благоприятных для популяции обстоятельствах, напр., если вид на время освобождается от врагов - возникают "взрывы" численности. Колебания численности популяций называются популяционными волнами.

Несмотря на изменчивость, численность популяции колеблется не беспредельно. Популяция, как и любая биологическая система, обладает способностью к саморегуляции.

В живых организмах заложена огромная возможность к размножению. Например, один одуванчик, менее чем за 10 лет, способен заселить своими потомками весь земной шар, если все семена прорастут; одна-единственная тля за полтора летних месяца может оставить более 300 млн. потомков. В действительности такая огромная плодовитость организмов никогда не реализуется. Истинная плодовитость всегда оказывается значительно ниже потенциальной.

Для популяции каждого вида имеются верхние и нижние пределы плотности, за границы которых она выходить не может. Рост численности популяций любого вида в природе никогда не бывает бесконечным, потому что ресурсы, за счет которых существуют виды (пища, убежища, подходящие места для размножения и т.п.), на любой территории имеют пределы. Эти пределы ресурсов называются емкостью среды для конкретных популяций. В природных условиях, благодаря способности к саморегуляции, численность популяций обычно колеблется вокруг определённого уровня, соответствующего емкости среды.

Из кустарников (лещина, бересклет, шиповник); IV - подлесок из высоких кустарничков и крупных трав (багульник, голубика, вереск, аконит, иван-чай); V - низкие кустарнички и мелкие травы (водяника, клюква, кисличка); VI - мхи, напочвенные лишайники, печеночники. Ярусно располагаются и подземные части растений. Растения каждого яруса и обусловленный ими микроклимат создают определённую среду для специфичных животных.

В почвенном ярусе леса, заполненном корнями растений, обитают бактерии, грибы, насекомые, клещи, черви. В лесной подстилке среди разлагающихся растительных остатков, мхов лишайников и грибов живут насекомые, клещи, пауки, множество микроорганизмов. Более высокие ярусы - травостой, подлесок - занимают растительноядные насекомые, птицы, млекопитающие. При этом даже птицы, свободно передвигающиеся, обычно придерживаются строго определенного яруса. Особенно ярко это проявляется в гнездовой период. Одни и те же виды в силу возрастных различий особей или вследствие частичного угнетения могут кратковременно находиться в разных ярусах. Например, всходы ели располагаются в нижних ярусах леса, но по мере роста при благоприятных условиях, ель займет своё место в верхнем ярусе.

Имеются и внеярусные организмы, напр., лианы, паразиты, а также многие животные, свободно переходящие из одного яруса в другой. Они затрудняют чёткое выделение ярусов, что особенно характерно для тропических лесов, структура которых чрезвычайно сложна. В каждом ярусе складывается своя система взаимоотношений, поэтому ярус можно рассматривать как структурную единицу биоценоза.

3.3. Биоценоз и характерные для него взаимосвязи

Соседние биоценозы обычно постепенно переходят один в другой. В пограничной зоне как бы переплетаются типичные условия соседствующих биоценозов. Обилие растений привлекает сюда разнообразных животных, так что пограничная зона оказывается более разнообразной и богатой в видовом отношении, чем каждый из смежных биоценозов. Это явление получило название опушечного эффекта и часто используется при создании парков, где хотят восстановить видовое разнообразие.

Биоценозы – не случайные собрания разных организмов. В сходных при-

родных условиях и при близком составе фауны и флоры возникают сходные, закономерно повторяющиеся биоценозы. Как и экосистемы, биоценозы бывают разного масштаба. Более мелкие, являются частями более крупных. Напр., все обитатели лесной поляны – часть общего биоценоза леса.

Биоценозы имеют видовую, пространственную и трофическую (греч. *trophe* - питание) структуру. Видовая структура биоценоза означает число видов, способных ужиться в одном биоценозе. Общее число видов, входящих в биоценоз, очень велико. Напр., в тропических лесах на площади 1 км² можно встретить несколько сотен тысяч видов растений и животных, не считая микроорганизмов и грибов. Но и в тех природных сообществах, которые формируются в достаточно суровых условиях, напр., в тундрах, вместе живут тысячи видов организмов. Каждый конкретный биоценоз характеризуется строго определенным видовым составом. При этом одни виды биоценоза могут быть представлены многочисленными популяциями, а другие – малочисленными. Поэтому в любом биоценозе можно выделить один или несколько видов, определяющих его облик. Наиболее массовые виды биоценоза называются доминантами. Виды-доминанты определяют главные связи в биоценозе, создают его основную структуру и внешний облик. Обычно наземные биоценозы называют по доминирующим видам: березовая роща, еловый лес, ковыльная степь. Часть массовых видов – важные средообразователи, сильно влияющие на условия жизни для других. Напр., в еловых лесах распределение света и осадков, микроклимат, мозаика почвенных условий – все определяется елью.

Наиболее разнообразны в биоценозах редкие и малочисленные виды. Малочисленные виды составляют как бы резерв биоценоза. В сложившейся обстановке их популяции часто находятся на пределе выживаемости, и они не могут реализовать свои возможности размножения, но в изменившихся условиях в состоянии включиться в состав доминантов или даже занять их место. Среди множества малочисленных видов всегда найдутся такие, для которых отклонение условий от средней нормы окажется благоприятным. Таким образом, биоценоз сохраняет свою устойчивость и не разрушается при разных погодных колебаниях и других внешних воздействиях, включая умеренные антропогенные.

Пространственная структура биоценоза. Первоначальное заселение того или иного биотипа определяется особенностями атмосферы, горной породы почвы и ее вод. В ходе длительного эволюционного преобразования, приспосабливаясь к определенным условиям, живые организмы размещаются в биоценозах таким образом, что практически не мешают друг другу. Основу этого распределения формирует растительность. Растения создают в биоценозах ярусность, располагая друг под другом листву в соответствии со своей формой роста и светолюбием. Напр., в лесах умеренного климата может быть до шести ярусов растений: I – деревья первой величины (ель, сосна, дуб, береза, осина); II – деревья второй величины (рябина, черемуха); III – подлесок из кустарников (лещина, бересклет, шиповник); IV – подлесок из высоких кустарничков и крупных трав (багульник, голубика, вереск, аконит, иван-чай); V – низкие кустарнички и мелкие травы (водяника, клюква, кисличка); VI – мхи, напочвенные лишайники, печеночники. Ярусно располагаются и подземные части расте-

ний. Растения каждого яруса и обусловленный ими микроклимат создают определенную среду для специфичных животных.

В почвенном ярусе леса, заполненном корнями растений, обитают бактерии, грибы, насекомые, клещи, черви. В лесной подстилке среди разлагающихся растительных остатков, мхов лишайников и грибов живут насекомые, клещи, пауки, множество микроорганизмов. Более высокие ярусы – травостой, подлесок – занимают растительноядные насекомые, птицы, млекопитающие. При этом, даже птицы, свободно передвигающиеся, обычно придерживаются строго определенного яруса. Особенно ярко это проявляется в гнездовой период. Они и те же виды в силу возрастных различий особей или вследствие частичного угнетения могут кратковременно находиться в разных ярусах. Напр., всходы ели располагаются в нижних ярусах леса, но по мере роста при благоприятных условиях, ель займет свое место в верхнем ярусе.

Имеются и внеярусные организмы, напр., паразиты, а также многие животные, свободно переходящие из одного яруса в другой. Они затрудняют четкое выделение ярусов, что особенно характерно для тропических лесов, структура которых чрезвычайно сложно. В каждом ярусе складывается своя система взаимоотношений, поэтому ярус можно рассматривать как структурную единицу биоценоза.

Соединение биоценозы обычно постепенно переходят один в другой. В пограничной зоне как бы переплетаются типичные условия соседствующих биоценозов. Обилие растений привлекает сюда разнообразных животных, так что пограничная зона оказывается более разнообразной и богатой в видовом отношении, чем каждый из смежных биоценозов. Это явление получило название опушечного эффекта и часто используется при создании парков, где хотят восстановить видовое разнообразие.

Трофическая структура биоценоза выражается в сложных пищевых связях между популяциями видов, входящих в биоценоз. В природных сообществах каждый вид включен в одну или несколько цепей питания, в которых происходит перенос энергии пищи от ее источника организмов-автотрофов, которые сами снабжают себя органическим веществом, к организмам-гетеротрофам, живущим за счет продуктов, синтезируемых автотрофами.

Трофические цепи – это такие ряды, в которых каждый предыдущий вид служит пищей последующему, напр.: растения – гусеницы – насекомоядные птицы – хищные птицы. Отдельные звенья цепей питания называются трофическими уровнями. Организмы, получающие свою энергию через одинаковое число звеньев, принадлежат к одному трофическому уровню. Многие виды могут входить в разные цепи питания.

Все организмы-автотрофы по характеру источника энергии подразделяются на фотоавтотрофов и хемоавтотрофов. Фотоавтотрофы – это зеленые растения – основные поставщики органического вещества, используют для его синтеза энергию солнечного излучения. Хемоавтотрофы – это бактерии и архебактерии, которые в процессе синтеза органического вещества используют энергию химических связей. Химическая энергия высвобождается в процессах окисления минеральных веществ. Экзотермические окислительные процессы

используются, напр., нитрифицирующими бактериями (окисляют аммиак до нитритов, а затем до нитратов), серобактериями (окисляют сероводород до сульфатов). Цепи питания всегда начинаются с растений – основных автотрофных организмов. Основная роль пищевых связей в биоценозе заключается в том, что последовательно питаясь друг другом, живые организмы создают условия для круговорота веществ, без которого невозможна жизнь. Трофические отношения влияют на численность представленных в биоценозе видов, происходит взаимная саморегуляция численности.

Вопросы

1. Каковы критерии вида?
2. Какие различают разновидности популяции?
3. Какие признаки характеризуют популяцию?
4. Какую структуру имеют биоценозы?
5. Как проявляется трофическая структура биоценоза?

Тесты

1. Что определяет генетический критерий?
 - а) является главным видовым признаком;
 - б) характерный для каждого вида набор хромосом;
 - в) характерный для каждого вида набор хромосом, строго определенное число, размеры и форма.
2. Что такое элементарная (локальная) популяция?
 - а) группа особей одного вида;
 - б) совокупность особей различных видов;
 - в) группа особей одного вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади.
3. От чего зависит структура популяции?
 - а) количественного соотношения особей разного пола, возраста, размеров, генотипов;
 - б) особенностей жизненного цикла вида;
 - в) количественного соотношения особей разного пола, возраста, размеров, генотипов; особенностей жизненного цикла вида; внешних условий.
4. Как выражается трофическая структура биоценоза?
 - а) в связях между популяциями;
 - б) в сложных пищевых связях между популяциями видов, входящих в биоценоз;
 - в) в сложных пищевых связях между популяциями.
5. Какую структуру имеют биоценозы?
 - а) видовую;
 - б) трофическую;
 - в) видовую, пространственную и трофическую.

ГЛАВА 4. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

В экосистемах очень важна роль биогеохимических циклов. Биогенные элементы – С, О₂, N₂, Р, S, СО₂, Н₂О и другие – в отличие от энергии удерживаются в экосистемах и совершают непрерывный круговорот из внешней среды

в организмы и обратно во внешнюю среду. Эти замкнутые пути называют *биогеохимическими циклами*. В каждом круговороте различают два фонда: резервный, включающий большую массу движущихся веществ, в основном небиологических компонентов, и подвижный, или обменный, фонд – по характеру более активный, но менее продолжительный, отличительной особенностью которого является быстрый обмен между организмами и их непосредственным окружением.

Биогеохимические циклы можно подразделять на два типа: 1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере (океан); 2) осадочный цикл с резервным фондом в земной коре.

Из 90 с лишним элементом, встречающихся в природе, 30-40 необходимы для живых организмов. Человек уникален не только тем, что его организм нуждается в 40 элементах, но и тем, что в своей деятельности использует почти все другие имеющиеся в природе элементы.

Круговорот азота. Азот составляет около 80% атмосферного воздуха и является крупнейшим резервуаром и предохранительным клапаном атмосферы. Однако большинство организмов не могут усваивать азот из воздуха. Между тем азот участвует в построении всех белков и нуклеиновых кислот. Усваивать азот из воздуха способны только некоторые организмы – бактерии, которые существуют в симбиозе с бобовыми растениями (горох, фасоль, соя). Они поселяются на корнях бобовых растений, образуя клубеньки, в которых и происходит химическая фиксация азота. Азот могут усваивать также сине-зеленые водоросли, называемые цианобактериями. Они образуют симбиоз с плавающим папоротником, который растет на заливаемых водой рисовых полях и до высадки рассады риса удобряет эти поля азотом. Первый этап фиксации атмосферного азота приводит к образованию аммиака и называется аммонификацией. Аммиак используется растениями для синтеза аминокислот, из которых состоят белки. Второй этап фиксации азота микроорганизмами – нитрификация, при этом образовавшийся аммиак преобразуется в соли азотной кислоты – нитраты. Нитраты усваиваются корнями растений и транспортируются в листья, где происходит синтез белков. Процесс разложения белков, осуществляемый особой группой бактерий, называется денитрификацией. Распад идет сначала с образованием нитратов, потом аммиака и, наконец, молекулярного азота. Содержание азота в живых тканях составляет около 3% его содержания в обменных фондах экосистем. Общее время круговорота азота – примерно 100 лет.

Круговорот углерода. Круговороты углекислоты и воды в глобальном масштабе – самые важные для человечества биогеохимические круговороты.

В круговороте CO_2 атмосферный фонд невелик по сравнению с запасами углерода в океанах, ископаемом топливе и других резервуарах земной коры. До наступления индустриальной эры потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы. Но в XX в. содержание CO_2 постоянно растет в результате новых техногенных поступлений (сжигание горючих ископаемых, деградация почвенного слоя, сведение лесов и т.д.). В 1800 г. в атмосфере Земли содержалось 0,29% CO_2 ; в 1958 – 0,315%, а к 1980 г. его содержание выросло до 0,335%. Если концентрация CO_2 вдвое превысит доиндустри-

альный уровень, что может случиться в середине XXI в., то температура поверхности Земли и нижних слоев атмосферы в среднем повысится на 3°. В результате подъем уровня моря и перераспределение осадков могут погубить сельское хозяйство.

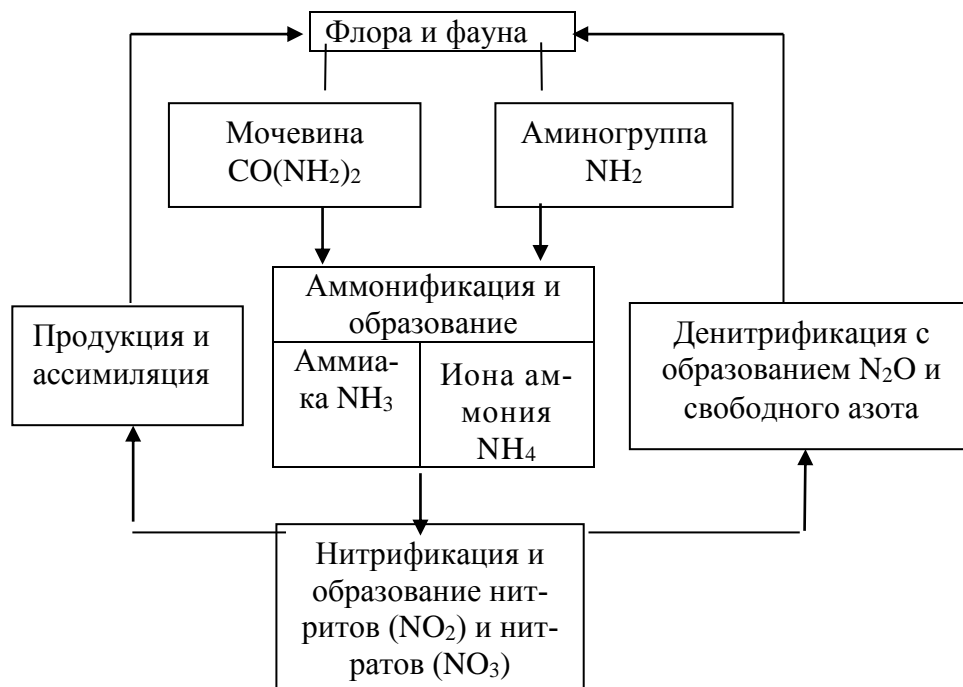


Рис.1. Основные биохимические этапы круговорота азота

Биологический круговорот углерода достаточно прост; в нем участвуют только органические соединения и CO_2 . Весь потребленный в процессе фотосинтеза углерода включается в углеводы, а в процессе дыхания весь углерод, содержащийся в органических соединениях, превращается в CO_2 . Растения потребляют ежегодно около 100 млрд.т углерода, 30 млрд.т возвращаются в атмосферу в результате дыхания растений. Остальные 70 млрд.т обеспечивают дыхание и продукцию животных, бактерий и грибов в различных трофических цепях. Растения и животные ежегодно пропускают через себя 0,25-0,30% углерода, содержащегося в атмосфере и океанах. Весь обменный фонд углерода совершает круговорот каждые 300-400 лет.

Кроме CO_2 в атмосфере присутствует в небольших количествах окись углерода – CO (примерно 0,1 части на миллион). Однако в городах с сильным автомобильным движением содержание CO может достигать 100 частей на миллион, что представляет уже угрозу для здоровья человека. Для сравнения можно привести другой пример: курильщик, потребляющий в день пачку сигарет, получает до 400 частей на миллион, что часто является причиной анемии и других сердечно – сосудистых заболеваний.

Другое соединение углерода в атмосфере – метан (CH_4). Его содержание составляет 1,6 частей на миллион. Считается, что метан поддерживает стабильность озонового слоя в атмосфере.

Круговорот воды. Вода составляет значительную часть живых существ: в

теле человека - по весу 60%, а в растительном организме достигает 95%. На круговорот воды на поверхности Земли затрачивается около трети всей поступающей на Землю солнечной энергии. Испарение с водных пространств создает атмосферную влагу. Влага конденсируется в форме облаков, охлаждение облаков вызывает осадки в виде дождя и снега; осадки поглощаются почвой или стекают в моря и океаны.

Для человечества важны фазы круговорота в пределах экосистем. Здесь происходят четыре процесса:

- перехват. Растительность перехватывает часть выпадающей в осадках воды до того, как она достигает почвы. Перехваченная вода испаряется в атмосферу. Величина перехвата в умеренных широтах может достигать 25% общей суммы осадков, это - физическое испарение;
- транспирация - биологическое испарение воды растениями.

Это не дождевая вода, а вода, заключенная в растении, т.е. экосистемная. Растения, потребляя около 40% общего количества осадков, играют главную роль в круговороте воды;

- инфильтрация - просачивание воды в почву. При этом часть инфильтрованной воды задерживается в почве тем сильнее, чем значительнее в ней коллоидальный комплекс, соответствующий накоплению в почве перегноя;
- сток. В этой фазе круговорота избыток выпавшей с осадками воды стекает в моря и океаны.

Отличие циклов углерода и азота от круговорота воды состоит в том, что в экосистемах два названных элемента накапливаются и связываются, а вода проходит через экосистемы почти без потерь. Биосфера ежегодно использует на формирование биомассы 1% воды, выпавшей в виде осадков.

Круговорот фосфора. Фосфор - один из наиболее важных биогенных компонентов. Он входит в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, систем аккумуляции и переноса энергии, костной ткани и дентина. Круговорот фосфора всецело связан с деятельностью организмов.

В отличие от азота и углерода резервуаром фосфора служат не атмосфера, а горные породы и отложения, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи. Круговорот фосфора - типичный пример осадочного цикла.

Круговорот второстепенных элементов. Второстепенные элементы подобно жизненно важным мигрируют между организмами и средой, хотя и не представляют ценности для организмов. Но в окружающую среду часто попадают побочные продукты промышленности, содержащие высокие концентрации тяжелых металлов, радиоактивные элементы и ядовитые органические соединения.

Радиоактивный Sr-90 крайне опасен для человека и животных. По химическим свойствам он похож на кальций и поэтому, попав в организм, накапливается в костях и оказывается в опасном контакте с костным мозгом - кровеносной тканью.

Радиоактивный Cs-137 - по свойствам схож с калием и поэтому быстро циркулирует по пищевым цепям.

Sr-90 и Cs-137 - новые вещества, которые не существовали в природе до того,

как человек расщепил атом. Они характеризуются длительными периодами полураспада. Аккумуляция этих радиоактивных изотопов в организме человека создает постоянный источник облучения, приводящего к канцерогенезу.

Для того, чтобы количественно определить повторно используемую часть вещества в обороте, предложен *коэффициент рециркуляции* - отношение суммарных количеств вещества, циркулирующих между разными отделами системы, к общему потоку вещества через всю систему: $CI = TST_C / TST$, где CI - коэффициент рециркуляции, TST_C - рециркулируемая доля потока через систему и TST - общий поток вещества через систему. .

Элементы, которые человек считает ценными (платина, золото), повторно используются на 90% и более. Однако коэффициент рециркуляции энергии равен нулю.

Вопросы

1. Что такое биогеохимические циклы?
2. Как происходит круговорот биогенных элементов?
3. Что такое коэффициент рециркуляции?
4. Какие существуют фазы круговорота в пределах экосистем?
5. Круговороты каких соединений особенно важны для человечества?

Тесты

1. Что такое биогеохимические циклы?
 - а) круговорот веществ из внешней среды в организмы;
 - б) замкнутый круговорот биогенных элементов;
 - в) непрерывный круговорот биогенных элементов из внешней среды в организмы и обратно во внешнюю среду.
2. Дайте определение природной среды.
 - а) совокупность объектов природы;
 - б) совокупность условий природы;
 - в) совокупность объектов и условий природы, где происходит деятельность какого-либо субъекта.
3. Охарактеризуйте резервный фонд круговорота веществ.
 - а) фонд, включающий большую массу движущихся веществ;
 - б) фонд, включающий массу движущихся биологических компонентов;
 - в) фонд, включающий большую массу движущихся небиохимических компонентов.
4. Охарактеризуйте подвижный (обменный) фонд круговорота веществ.
 - а) фонд, отличительной особенностью которого является быстрый обмен между организмами;
 - б) фонд, включающий большое количество биогенных элементов;
 - в) фонд, отличительной особенностью которого является быстрый обмен между организмами и их непосредственным окружением.
5. Что показывает коэффициент рециркуляции?
 - а) рециркулируемую долю потока через систему;
 - б) общий поток вещества через систему;
 - в) отношение суммарных количеств вещества, циркулирующих между разными отделами системы, к общему потоку вещества через всю систему.

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

На состояние окружающей среды и на живые организмы оказывают сильное влияние различные экологические факторы.

Экологическая среда — вся совокупность тел и сил внешнего по отношению к организму мира (*среда обитания* - естественные условия жизни для конкретного организма; *окружающая среда* - та часть экологической среды, с элементами которой данный организм в данное время контактирует и прямо или косвенно взаимодействует).

Экологические факторы - это такие свойства компонентов экосистемы и ее внешней среды, которые оказывают влияние на особи данной популяции, а также на характер их отношений друг с другом и с особями других популяций.

Экологические факторы делятся на три категории: 1) абиотические – факторы неживой природой; 2) биотические – факторы живой природы; 3) антропогенные – факторы человеческой деятельности.

5.1. Классификация факторов среды

Экологические факторы классифицируются по нескольким критериям.

Внешние факторы - воздействуют на организм, популяцию, экосистему, но не испытывают непосредственного обратного действия: температура, атмосферное давление, скорость ветра, солнечная радиация.

Внутренние факторы - связаны со свойствами самой экосистемы и образуют ее состав: численность популяций, пища, количество биогенов, состав воздуха, воды и т.д.

Очень важно оценить значимость факторов, выделить главные и второстепенные. Главные факторы - пища, вода, воздух, температура, свет - определяют как *условия существования*. Без этих факторов невозможна жизнь и развитие живого организма. Другие факторы, действующие не обязательно постоянно, но влияющие на развитие, интенсивность жизнедеятельности и распространение видов, называют *факторами воздействия*.

Среди экологических факторов наибольшее значение имеют факторы, характеризующие доступность для организма различных форм вещества и энергии. Эти факторы называются *ресурсами*: ресурсы воды, энергии, света, кислорода, минеральной и органической пищи.

По природе и характеру действия факторы среды подразделяются на биотические, абиотические и антропогенные.

Биотические факторы - это прямые или опосредованные воздействия других организмов, населяющих среду обитания данного организма. Все биотические факторы обусловлены внутривидовыми (внутрипопуляционными) и межвидовыми взаимодействиями.

Внутривидовые факторы - контакты между членами одной семьи, группы, стада, популяции одного вида (отношение полов, размножение, уход за потомством, взаимопомощь или, наоборот, конкуренция и т.д.).

Межвидовые факторы - контакты между особями разных видов (разнообразные пищевые связи, межвидовая конкуренция, паразитизм и т.п.).

Исходя из сказанного к биотическим факторам относится вся совокупность

влияния жизнедеятельности одних организмов на другие.

Абиотические факторы - это факторы неорганической (неживой) природы: свет, температура, влажность, давление, агрегатное состояние самой среды, химический состав среды, концентрация веществ в ней. К абиотическим факторам относят такие факторы, как физические поля (гравитационное, магнитное), ионизирующая и проникающая радиация, суточные и сезонные изменения в природе.

Так, свет необходим (видимая область спектра $\lambda=400-760$ нм) для прохождения процесса фотосинтеза, в результате чего энергия Солнца продуцентами превращается в энергию химических связей органических веществ: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{гш} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Фотосинтез - это единственный биологический процесс, который обеспечивает все живые организмы доступной химической энергией. Таким образом, для подавляющего большинства живых существ на Земле главным источником биологически используемой энергии являются солнечный свет и пища, в органических веществах которой аккумулирована солнечная энергия. Ресурс солнечной энергии практически неисчерпаем.

Вода является необходимым условием существования живых организмов, поскольку все физиологические процессы идут в водных растворах. При обезвоживании живых организмов они погибают (например, при обезвоживании организма человека на 12% он умирает). Содержание воды в активно функционирующих клетках – 70-80%. По выражению известного физиолога К.Шмидта-Нильсона (1982), "в самом общем виде живой организм можно описать как водный раствор, заключенный в оболочку - поверхность тела".

Воздух необходим для функционирования большинства живых организмов, поскольку кислород воздуха (содержание кислорода в сухом воздухе - 20,95%) используется в процессе клеточного дыхания, в результате которого организм получает необходимую для жизни энергию.

Содержащийся в воздухе углекислый газ необходим для осуществления фотосинтеза.

Почва - наружный слой земной коры, разрыхленный физическим и химическим выветриванием и сформированный при участии микроорганизмов. Свойства почвы (физическая структура, механический и химический состав, pH, содержание органических веществ, аэрация, влагоемкость и увлажненность) определяют само существование высших и низших растений, многих животных. Жизненно необходимый обмен минеральными веществами между биосферой и неорганическим миром проходит именно в почве.

Температура. Возможность прохождения биохимических процессов в значительной степени зависит от температуры. Оптимальная температура для всех живых систем находится в пределах 15-35° С; минимальная температура = 0° С, максимальная - не превышает 50° С.

Антропогенные факторы — порождены деятельностью человека (изъятие природных ресурсов, изменение ландшафтов, загрязнение природной среды, техногенные и нетехногенные факторы).

Преобладающая часть антропогенных факторов, связанная с производством, с применением техники, машин, строительства, носит название *техногенных* факторов. *Нетехногенная* часть антропогенных факторов связана с бытом и поведением человека в природе (свалки бытовых отходов, мусора, последствия "активного отдыха" и т.д.).

Границы между биотическими, абиотическими и антропогенными факторами условны, и некоторые абиотические факторы имеют биогенное или техногенное происхождение (состав воздуха, качество воды, свойства почвы и т.д.).

Все перечисленные факторы действуют на живые организмы экосистемы одновременно. Степень присутствия или отсутствия каждого из них существенно отражается на жизнеспособности организмов, но неодинаково действует на разные виды. Это сильно влияет на экосистему в целом.

5.2. Общие закономерности действия факторов среды

Каждый живой организм может нормально существовать и продолжать свой род только в определенной области значений факторов среды. Для нормального существования наземных животных и человека существуют нижние и верхние пределы температуры, освещенности, концентрации кислорода в воздухе, атмосферного давления и др. Область количественных значений какого-либо фактора среды, в пределах которой могут существовать особи данного вида (популяции), называют *диапазоном выживания*, зоной устойчивости или зоной толерантности, или *биоинтервалом фактора среды* (существуют и другие определения). Обычно выделяют зону нормальной жизнедеятельности и стрессовые зоны (зоны угнетения), за которыми следуют пределы выносливости (устойчивости). За нижним и верхним пределами устойчивости происходит гибель организма.

Фундаментальный биологический принцип: для любого вида (растений и животных) существует оптимум-зона нормальной жизнедеятельности, зоны угнетения и пределы выживаемости по каждому фактору среды.

В природных условиях на организм, группу организмов, экосистему всегда действует большое число факторов одновременно. Совместное действие нескольких факторов бывает *синергическим*, когда они усиливают действие друг друга и производят больший эффект, чем сумма действия каждого фактора. Действие суммы факторов может быть и негативным, когда наблюдается взаимное ослабление эффектов. Как следствие при этом пределы выносливости организма изменяются.

Графическая зависимость, показывающая число особей вида, выживших к определенному промежутку времени, называется *кривой выживания*. Строятся кривые выживания отложением на оси абсцисс времени в годах или процентах средней продолжительности жизни, а на оси ординат - числа выживших особей на 1 тыс. рожденных.

Закон лимитирующих факторов: даже единственный средовой фактор за границами зоны своего оптимума приводит к угнетенному (стрессовому) состоянию организма, а за пределами выносливости - к его гибели.

Такой фактор называется *лимитирующим*. Это может относиться к любому средовому фактору, которого слишком много или слишком мало (например, как избыток, так и недостаток влаги может привести к гибели растений).

Закон лимитирующих факторов был впервые сформулирован Ю.Либихом в 1840 г. и поэтому его называют *законом минимумов Либиха*. Он применим как к растениям, так и к животным. Из сказанного следует, что плотность популяций любого вида будет наивысшей там, где все параметры среды для него оптимальны. Она снизится, но не упадет до нуля, если значение одного или нескольких средовых факторов будет стрессовым. Наконец, вид отсутствует, если один из факторов выходит за пределы выживания (устойчивости) вида. Этот закон еще называется *законом толерантности* (1913 г.).

Виды могут существенно отличаться с точки зрения оптимальных условий и пределов выносливости. Однако, если оптимумы и пределы выносливости у разных видов неодинаковы, их общие пределы выносливости могут в значительной степени перекрываться.

Именно этим объясняется увеличение устойчивости экосистем с увеличением количества видов в ней. Например, экосистемы тайги значительно устойчивее экосистем пустыни или тундры.

Вопросы

1. Что такое экологические факторы?
2. На какие категории делятся экологические факторы?
3. Охарактеризуйте внешние и внутренние факторы.
4. В чем состоит сущность фундаментального биологического принципа?
5. Дайте определение закона лимитирующих факторов.

Тесты

1. Что подразумевают под экологическими факторами?
 - а) факторы, связанные с физическим состоянием или химическим составом экосистемы;
 - б) любые условия среды, на которые живые организмы реагируют приспособительными реакциями;
 - в) свойства компонентов экосистемы и ее внешней среды, которые оказывают влияние на особи данной популяции, а также на характер их отношений друг с другом и с особями других популяций.
2. Какие факторы называются биотическими?
 - а) факторы, обусловленные внутривидовыми (внутрипопуляционными и межвидовыми взаимодействиями);
 - б) факторы неживой природы;
 - в) прямые или опосредованные воздействия других организмов, населяющих среду обитания данного организма.
3. Какие факторы называются абиотическими?
 - а) факторы неживой природы;
 - б) факторы живой природой;
 - в) факторы неживой и живой природы.

4. Что такое биоинтервал фактора среды?
- а) область количественных значений какого-либо фактора среды;
 - б) зона устойчивости или зона толерантности;
 - в) область количественных значений какого-либо фактора среды, в пределах которой могут существовать особи данного вида (популяции).
5. Какой эффект называется синергическим?
- а) эффект, при котором несколько факторов, усиливают действие друг друга;
 - б) эффект приводящий к усилению воздействия какого – либо фактора;
 - в) совместное действие нескольких факторов при котором они усиливают действие друг друга и производят больший эффект чем сумма действия каждого фактора.

ГЛАВА 6. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЕГО УРОВНЯ

Активизация хозяйственно-производственной деятельности человека в современных условиях природопользования и глобальные масштабы ее антропогенного воздействия на главные составляющие биосферы создают ситуацию острого экологического кризиса, обусловленную деградацией объектов окружающей среды. В связи с этим для оптимизации условий взаимодействия человека с природой важной представляется роль всестороннего анализа окружающей природной среды главными задачами которого является комплексная оценка экологического резерва биосферы и ее потенциальных возможностей к самовосстановлению и самоочищению, анализ широкого спектра различных типов взаимодействий (как приоритетных, так и не приоритетных) на природные экосистемы и изучение специфических особенностей этих воздействий

В последние годы особую значимость и актуальность приобретают токсикологические аспекты всестороннего анализа окружающей среды. Серьезной проблемой является установление пороговости эффекта токсикологического воздействия в системах «токсикант – окружающая среда» и «токсикант – живой организм» и определение зависимости «доза – ответная реакция», которая послужила активным импульсом для развития нового направления в экологии, базирующегося на фундаментальных основах токсикологической, бионеорганической и экологической химии, называемого экотоксикологией. Научная значимость экотоксикологии состоит в изучении современных представлений токсичности и канцерогенности элементов и их соединений, исследовании специфических биохимических особенностей поведения токсикантов в окружающей среде, механизма их распространения и метаболизма; установлении взаимосвязи между необходимостью и токсичностью элементов; определении локализации канцерогенных ионов; оценке порогового эффекта токсикологического воздействия.

Подобный целостный комплекс достаточно сложных научно-прикладных задач, решение которых предусматривается в рамках экотоксикологии, в большинстве случаев позволяет произвести количественную оценку порогового эффекта токсикологического воздействия, имеющего место в системах «токсикант – окружающая среда» и «токсикант – живой организм» согласно уравнению:

$$D_r = D_0 - (D_e + D_m)$$

где D_r – доза вредного вещества, достигшая рецептора;

D_0 – доза вредного вещества, введенная в организм;

D_e и D_m – дозы вредного вещества, соответственно выделенные из организма и обезвреженные в процессе продвижения яда к рецептору.

Концепция пороговости предполагает высокое качество среды и полную безопасность для человека и любых популяций при условии загрязнения этой среды ниже определенного уровня, воздействие которого на любые организмы меньше некоторого порогового значения.

Загрязнение окружающей среды – это процесс привнесения в среду или возникновения в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие. Существуют три этапа загрязнений: физическое (солнечная радиация, электромагнитное излучение и т.д.), химическое (аэрозоли, тяжелые металлы и т.д.), биологическое (бактериологическое, биологическое). Каждый тип загрязнения имеет характерный и специфичный для него источник загрязнения – природный или хозяйственный объект, являющийся началом поступления вещества-загрязнителя в окружающую среду. Различают природные и антропогенные источники загрязнения.

Основные природные источники поступления токсикантов в окружающую среду – ветровая пыль, лесные пожары, вулканический материал, растительность, морские соли.

Антропогенные источники – это первичное и вторичное производство цветных металлов, стали, чугуна, железа; добыча полезных ископаемых; автомобильный транспорт; химическая промышленность; производство меди, фосфатных удобрений; процессы сжигания угля, нефти, газа, древесины, отходов и др. Антропогенный поток поступления токсикантов в окружающую среду превалирует над естественным (50-80%) и лишь в некоторых случаях сопоставим с ним.

В качестве критериев количественной оценки уровня загрязнения окружающей среды могут быть использованы индекс загрязнения, предельно допустимая, фоновая и токсическая концентрации.

Индекс загрязнения (ИЗ) – показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества-загрязнителя и степень его воздействия на живые организмы.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – количество вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека. Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих биосферу, вводились как нормируемые показатели во многих странах, в том числе и в нашей стране. Они устанавливались в приземной атмосфере, водах, почвах, растениях, продуктах питания (таблицы 1-3).

Существующая система ПДК недостаточно достоверно информативна, поскольку предусматривает определение индивидуального токсиканта.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих поверхностные воды

Вещество	ПДК в воде по санитарно-токсикологическому признаку вредности	Класс опасности
Акриламид	0,01	2
Алюминий	0,5	2
Анилин	0,1	2
Ацетонциангидин	0,001	2
Барий	0,1	2
Бензол	0,5	2
Бенз(а)пирен	0,000005	1
Бериллий	0,0002	1
Бор	0,5	2
Бром	0,2	2
Висмут	0,1	2
Вольфрам	0,05	2
Гексаметилендиамин	0,01	2
ДДТ	0,1	2
Диметиламин	0,1	2
Диметилдиоксан	0,005	2
2,5-дихлорнитробензол	0,1	2
Дихлорэтан	0,02	2
Дихлорэтилен	0,0006	1
Диэтилртуть	0,0001	1
Кадмий	0,001	2
Кобальт	1,0	2
Литий	0,003	2
Нитраты	10,0	2
Пентахлорбифенил	0,01	1
Пиридин	0,2	2
Ртуть	0,0005	1
Свинец	0,03	2
Стронций	7,0	2
Сурьма	0,05	2
Таллий	0,0001	1
Тетрахлорбензол	0,02	2
Тетрахлорэтилен	0,02	2
Тетраэтилсвинец	отсутствует	1
Трикрезинфосфат	0,005	2
Трихлорбифенил	0,001	1
Фтор	1,5	2
Хлороформ	0,06	2
Четыреххлористый углерод	0,006	2
Этилмеркурхлорид	0,0001	1

Таблица 2

Санитарные нормы допустимых концентраций некоторых химических ингредиентов в почвах

Химический ингредиент	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона
<i>Подвижная форма</i>	
Кобальт	5,0
Фтор	2,8
Хром	6,0
<i>Водорастворимая форма</i>	
Фтор	10,0
<i>Валовое содержание</i>	
Бенз(а)пирен	0,02
Кислоты (орто-, мета-, пара-)	0,3
Мышьяк	2,0
Ртуть	2,1
Свинец	32,0
Свинец + ртуть	20 + 1,0
Сернистые соединения:	
элементарная сера	160,0
сероводород	0,4
серная кислота	160,0
Стирол	1,0
Формальдегид	7,0
Хлористый калий	560
Хром (Cr ⁶⁺)	0,05
Ацетальдегид	10,0
Суперфосфат (P ₂ O ₅)	200

Таблица 3

Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах

Металлы	ПДК, мг/кг
<i>Зерно, мука, продовольственные крупы</i>	
Ртуть	0,001
Свинец	0,08
<i>Мясо, птица, мясопродукты</i>	
Свинец	0,5
Ртуть	0,03
<i>Рыба и рыбопродукты</i>	
Свинец	1,0
Мышьяк	1,0
Ртуть	0,2 – 0,7
<i>Молоко и молочные продукты</i>	
Ртуть	0,005
Свинец	0,05
Кадмий	0,01
<i>Фрукты, цитрусовые, овощи свежие, замороженные, сухие</i>	
Свинец	0,4 – 0,5
Мышьяк	0,2
<i>Фруктовые соки и компоты</i>	
Свинец	0,4
Мышьяк	0,2
Медь	5,0
Кадмий	0,02
<i>Жиры и масла</i>	

Свинец	1,0
Кадмий	0,05
Медь	0,5 (живот. жир) 0,4 (масло растит.) 0,1 (масло растит. раф., маргарин)
Цинк	0,5 (живот. жир) 10,0 (масло растит., маргарин)
<i>Безалкогольные напитки</i>	
Свинец	0,4
<i>Алкобольные напитки</i>	
Свинец	0,3 – 1,0
Кадмий	0,05
Мышьяк	1,0
<i>Соусы</i>	
Свинец	3,0 (кетчуп)
<i>Соевые белки</i>	
Ртуть	0,03
Кадмий	0,2
Свинец	2,0
Цинк	60,0
Мышьяк	1,0
Медь	30,0
<i>Продукты, законсервированные в жестяную тару</i>	
Олово	100 - 200
<i>Продукты детского и диетического питания</i>	
Ртуть	0,005
Свинец	0,1
Кадмий	0,01
Медь	2,0
Цинк	5,0
<i>Продукты детского питания на фруктовой и овощной основах</i>	
Ртуть	0,01
Кадмий	0,03 – 0,05
Мышьяк	0,1
Медь	5,0
Цинк	30
<i>Зерно для детского и диетического питания (пшеница, рис, овес, кукуруза, гречиха)</i>	
Ртуть	0,01
Свинец	0,2
Кадмий	0,02
Медь	5,0
Цинк	10,0 (гречиха), 25,0
<i>Молотые продукты для детского и диетического питания (крупа, мука, молоко)</i>	
Ртуть	0,01
Свинец	0,2
Кадмий	0,02
Медь	4,0; 10,0 (гречневая крупа)
Цинк	20,0

Вопросы

1. Приведите формулу, позволяющую количественно оценить пороговый эффект токсикологического воздействия, имеющего место в системах и токсикант – окружающая среда т токсикант – живой организм.
2. Что такое загрязнение окружающей среды?

3. Назовите критерии количественной оценки уровня загрязнения окружающей среды.
4. Что такое индекс загрязнения?
5. Дайте определение предельно допустимой концентрации.

Тесты

1. Охарактеризуйте процесс загрязнения окружающей среды
 - а) процесс, выводящий естественную или антропогенную экосистемы из нормального состояния равновесия;
 - б) воздействие природных факторов;
 - в) привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для не физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие.
2. Что такое индекс загрязнения?
 - а) качественная и количественная характеристики загрязняющего начала (вещества, излучения и т.п.);
 - б) объемная характеристика вещества – загрязнителя в среде;
 - в) показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества – загрязнителя и степень его воздействия на него и живые организмы.
3. Дайте определение источника загрязнения.
 - а) точка выброса вещества;
 - б) внерегиональный фон загрязнений, накопленных в среде;
 - в) хозяйственный или природный объект, являющийся источником поступления иллютанта в окружающую среду.
4. Что такое фоновая концентрация?
 - а) содержание веществ в объектах окружающей среды, определяемое суммой глобальных и региональных естественных и антропогенных процессов;
 - б) содержание веществ в воздухе населенных мест, определяемое неучитываемыми производственными и транспортными выбросами или переносом загрязнителей из смежных районов;
 - в) содержание веществ в объектах окружающей природной среды, определяемое суммой глобальных и региональных естественных и антропогенных вкладов в результате дальнего или трансграничного переноса.
5. Является ли существующая система ПДК информативной?
 - а) да;
 - б) нет;
 - в) относительно.

ГЛАВА 7. ТОКСИКАНТЫ И ИХ СПЕЦИФИЧЕСКИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Понятия «вредное вещество» и «токсикант» - ключевые в экотоксикологии.

Вредное вещество – это инородный нехарактерный для природных экосистем ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на них и живые организмы, обитающие в этих экосистемах.

Токсиканты – вещества или соединения, способные оказывать ядовитое действие на живые организмы. В зависимости от характера воздействия и степени проявления токсичности, т.е. способности этих веществ оказывать вредное воздействие на живые организмы, они классифицируются на большие группы: токсичные и потенциально токсичные. По химической природе вредные вещества, или токсиканты, бывают неорганического происхождения (кадмий, ртуть, свинец, мышьяк, никель, бор, марганец, селен, хром, цинк и др.) и органического (нитразосоединения, фенолы, амины, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, пестициды, формальдегид, бенз(а)пирен и др.). Существует классификация опасности различных химических веществ, попадающих в окружающую среду. В зависимости от степени токсикологического воздействия химические вещества подразделяют на три класса (таблица 4). Наиболее приоритетными для химико-токсикологического анализа являются тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий, медь, никель, кобальт, цинк), обладающие высокой токсичностью и миграционной способностью.

Поведение этих токсикантов в различных природных средах обусловлено специфичностью их основных биогеохимических свойств: комплексообразующей способностью, подвижностью, биохимической активностью, минеральной и органической формами распространения, склонностью к гидролизу, растворимостью, эффективностью накопления. По характеру взаимодействия с различными лигандами тяжелые металлы считаются промежуточными акцепторами между жесткими и мягкими кислотами. В первом случае для них характерны низкая поляризуемость и электроотрицательность, высокая степень окисления и образование ионных связей, во втором – образование преимущественно ковалентных связей.

Таблица 4

Классы опасности различных химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов и отходов

Класс опасности	Химическое вещество
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

7.1. Специфические биогеохимические свойства токсикантов

Определенная аналогия биогеохимических свойств некоторых тяжелых металлов позволила сгруппировать эти элементы и выявить общие закономерности их токсикологического воздействия на окружающую среду (таблица 5).

Так, например, медь и цинк характеризуются как наибольшей химической активностью, позволяющей считать их хорошими индикаторами терригенного стока, седиментации, так и высокой эффективностью накопления в водорослях и планктоне, что определяет их особую значимость для биоты. Они являются главными составляющими многих металлоферментов, участвующих в природной селекции аэробных клеток, в окислительно-восстановительных процессах тканей, иммунной реакции, стабилизации рибосом и мембран клеток.

Никель и кобальт – биологически активные и канцерогенные. Сравнитель-

но малая подвижность этих элементов обуславливает их достаточно равномерное распределение в природных средах.

Таблица 5

Основные биогеохимические свойства тяжелых металлов

Свойства	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Биохимическая активность	—	В	В	В	В	В	В
Токсичность	У	У	У	У	В	В	В
Канцерогенность	В	В	—	—	—	—	—
Обогащение глобальных аэрозолей	Н	Н	В	В	В	В	В
Минеральная форма распространения	В	Н	Н	Н	В	В	В
Органическая форма распространения	Н	Н	У	У	В	В	В
Подвижность	Н	Н	У	У	В	В	В
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	У	В	В	В
Эффективность накопления	У	У	В	В	В	В	В
Комплексообразующая способность	Н	Н	В	В	У	У	Н
Склонность к гидролизу	Н	У	В	В	У	У	У
Растворимость	Н	Н	В	В	В	В	В
Время жизни	В	В	В	В	Н	Н	Н

Примечание: В – высокая, У – умеренная, Н – низкая.

Геохимические особенности свинца – малая подвижность и непродолжительное время жизни в атмосфере и фазе раствора природных вод. В поверхностных водах оно составляет несколько лет, а в глубинных – до 100 лет.

По химическим свойствам и специфике поведения в различных природных средах кадмий имеет определенную аналогию с цинком. Высокая токсичность и растворимость этого элемента обусловлены большим сродством к SH-группам. В отличие от ртути сродство кадмия к кислороду выражено менее ярко, что объясняет образование его достаточно неустойчивых металлоорганических соединений и определенную инертность в окислительно-восстановительных реакциях. Кадмий склонен к активному биоконцентрированию, что приводит в довольно короткое время к его накоплению в избыточных биодоступных концентрациях. Поэтому кадмий по сравнению с другими тяжелыми металлами является наиболее сильным токсикантом почв ($Cd > Ni > Cu > Zn$).

Ртуть – самый токсичный элемент в природных экосистемах. По токсикологическим свойствам соединения ртути классифицируются на следующие группы: элементарная ртуть, неорганические соединения, алкилртутные (метил- и этил-) соединения с короткой цепью и другие ртутьорганические соединения, а также комплексные соединения ртути с гумусовыми кислотами. Из этих соединений ртути наиболее токсичны для человека и биоты ртутьорганические соединения. Их доля в речных водах составляет 46% от общего содержания, в донных отложениях – до 6%, в рыбах – до 80-95%. Как неорганические, так и органические соединения ртути высокорастворимы.

Степень загрязнения окружающей среды токсикантами во многом определяется их химически активными миграционными формами и механизмом миграции.

Миграция элементов – это перенос и перераспределение химических эле-

ментов в земной коре и на поверхности Земли.

Сложность биогеохимических процессов, происходящих в атмосферном воздухе, атмосферных осадках, природных водах, донных отложениях, почвах, не позволяет высказать достаточно однозначной точки зрения на соединения тяжелых металлов, определяющих их подвижные формы, и преобладание одной из них в естественных и техногенных процессах. Тем не менее, анализ фундаментальных работ позволил сделать следующее заключение: в атмосферном воздухе и атмосферных осадках тяжелые металлы находятся и мигрируют в газообразной и аэрозольной формах, а также в форме органических и неорганических комплексных соединений; в природных водах – в форме свободных ионов, мооядерных гидроксокомплексов, неорганических (сульфатные, хлоридные, карбонатные) и органических (фульватные, гуматные) соединений, взвешенных и коллоидных формах; в донных отложениях – преимущественно во взвешенных формах органического происхождения; в почвах – в водорастворимых ионообменных и непрочко адсорбированных формах.

7.2. Понятие токсичности и канцерогенности элементов и соединений

Показателями негативного воздействия элементов и соединений на живые организмы являются их токсичность и канцерогенность.

Токсичность и канцерогенность – это свойства элементов и соединений, отрицательно влияющие на живые организмы и приводящие к уменьшению продолжительности их жизни.

Количество, при котором химические ингредиенты становятся действительно опасными для окружающей среды, зависит не только от степени загрязнения ими гидросферы или атмосферы, но также от химических особенностей этих ингредиентов и от деталей их биохимического цикла. Для сравнения степени токсикологического воздействия химических ингредиентов на различные организмы пользуются понятием *молярной токсичности*, на которой основан ряд токсичности, отражающий увеличение молярного количества металла, необходимого для проявления эффекта токсичности при минимальной молярной величине, относящейся к металлу с наибольшей токсичностью (таблица 6).

Таблица 6

Молярная токсичность металлов

Организмы	Ряды токсичности
Водоросли	Hg>Cu>Cd>Fe>Cr>Zn>Co>Mn
Грибки	Ag>Hg>Cu>Cd>Cr>Ni>Pb>Co>Zn>Fe
Цветущие растения	Hg>Pb>Cu>Cd>Cr>Cr>Ni>Zn
Кольчатые черви	Hg>Cu>Zn>Pb>Cd
Рыбы	Ag>Hg>Cu>Pb>Cd>Al>Zn>Ni>Cr>Co>Mn>>Sr
Млекопитающие	Ag,Hg,Cd>Cu,Pb,Co,Sn,Be>>Mn,Zn,Ni,Fe,Cr>>>>Sr>>Cs,Li,Al

Глобальный перенос токсикантов происходит через атмосферу и большие реки, несущие воды в океаны. Земля, ложа рек, океаны служат как бы резервуаром для скопления токсикантов (таблица 7). Тот или иной предел, до которого атмосфера привносит токсикант (T) либо в землю, либо на поверхность океана сверх природного циклического уровня, может быть выражен с помощью фактора обогащения EF_A :

$$EF_A = \frac{J_T}{J_{IT}} \cdot \frac{\text{поверхностная концентрация } IT}{\text{поверхностная концентрация } T}$$

где J_T – средний поток (осадки) E на землю или поверхность океана;

J_{IT} – средний поток (осадки) индексного T (index toxicant IT) при условии его пренебрежимо малых антропогенных «отложений» в атмосфере. Обычно в качестве IT выбирают алюминий, кремний, титан и железо.

Таблица 7

Концентрации некоторых потенциально опасных металлов в пресной и морской воде (мг/м³) [по данным Боуэна]

Металл	Пресная вода	Морская вода	Металл	Пресная вода	Морская вода
Li	2	180	Sr	70	8000
Be	0,3	0,006	Mo	0,5	10
Al	300	2	Ag	0,3	0,04
V	0,5	2,5	Cd	0,1	0,01
Cr	1	0,3	Sn	0,009	0,004
Mn	8	0,2	Sb	0,2	0,2
Co	0,2	0,02	Cs	0,02	0,3
Ni	0,5	0,6	Hg	0,1	0,03
Cu	3	0,3	Pb	3	0,03
Zn	15	5	U	0,4	3

Антропогенный перенос токсикантов посредством рек может быть оценен по фактору обогащения EF_w :

$$EF_w = (T_{FW}/A_{FW}) (A_S/T_S),$$

где T_{FW} – средняя концентрация токсиканта в пресной воде;

T_S – средняя концентрация токсиканта на поверхности почвы.

Факторами окружающей среды, влияющими на токсичность, являются температура, растворенный кислород, pH, жесткость и щелочность воды, присутствие хелатообразующих агентов и других загрязнителей в воде. Уменьшение парциального давления кислорода и увеличение pH и жесткости воды приводят к понижению токсикологического воздействия веществ-загрязнителей на окружающую среду и живые организмы, обитающие в ней. Устойчивость живого организма по отношению к токсикантам может быть достигнута при: 1) уменьшении поступления токсиканта; 2) увеличении коэффициента выделения токсиканта; 3) переводе токсиканта в неактивную форму в результате его изоляции или осаждения. Например, синтез металлотионеинов обуславливается несколькими металлами, включая ртуть, кадмий, цинк, медь, серебро. Поэтому наличие одного из этих металлов может вызвать устойчивость к другому металлу из-за неспецифичности лигандов.

Факторы, влияющие на доступность токсикантов, усвоение, их воздействие на организм, могут быть совершенно разной природы:

- химические (химические свойства, окислительно-восстановительные потенциалы, частота воздействия);
- физические (освещенность, температура, турбулентность в растворах);
- биологические (размеры, стадии развития, упитанность, состояние здоровья).

Канцерогенез – это способность металла проникать в клетку и реагировать с молекулой ДНК, приводя к хромосомным нарушениям клетки. Канцерогенными веществами являются никель, кобальт, хром, мышьяк, бериллий, кадмий. Различие в канцерогенной активности определяется биодоступностью металлопроизводных: наиболее потенциально активные соединения содержат канцерогенные ионы металла, способные легко внедряться в клетки и реагировать с молекулой ДНК. Например, соли шестивалентного хрома CrO_4^{2-} потенциально более канцерогенны, чем соли трехвалентного хрома CrCl_3 , поскольку первые легче проникают в клетки, а вторые – лишь ограниченно.

Канцерогенез зависит как от механизма поступления канцерогенных веществ в клетку, так и от количества внутри клетки. Важным фактором в этом аспекте является общая цитотоксическая активность конкретного металла. Так, например, если ион металла также активен и цитотоксичен, как Hg^{2+} , то гибель клетки будет предшествовать канцерогенному ответу.

Канцерогенные вещества могут быть разделены на три категории: 1) металлосодержащие частицы; 2) водорастворимые соединения металлов; 3) жирорастворимые соединения. Наибольшей проникающей способностью в клетку обладают водорастворимые соединения. Например, такой водорастворимый ион металла, как хромат-ион CrO_4^{2-} , способен легко проникать в клетки с использованием SO_4^{2-} - транспортной системы. А никель в ионной форме не внедряется в клетки с легкостью и поэтому многие водорастворимые соли никеля не рассматриваются как потенциально канцерогенно опасные. Жирорастворимые соединения металлов, такие, например, как карбонил никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$, легко входят в клетку и поэтому очень токсичны.

На механизм канцерогенеза сильно влияет рН среды, температура, наличие в клетке аминокислот. При более кислых значениях рН наблюдается наибольшая растворимость канцерогенов в клетках. Присутствие в клетке аминокислот, хорошо связывающих металлы (таких, как цистеин, гистидин), сильно понижает способность канцерогенов, например, никеля, проникать в клетки. Температура среды является ярким индикатором канцерогенеза.

Локализация канцерогенных ионов металлов в клетках приводит к хромосомным нарушениям, которые являются результатом сшивания молекул ДНК с белком и трансформации клетки. Такие канцерогенные металлы, как никель и хром, образуют очень стабильные тройные комплексы, состоящие из ДНК, металла и белка. Образовавшись, эти комплексы чрезвычайно устойчивы, они вовлекают в канцерогенез никель и хром, и перераспределение ионов металлов по мере образования этих комплексов становится менее вероятным.

7.3. Химико-экологический анализ токсикантов

Объекты экотоксикологических исследований чрезвычайно разнообразны. Это - воды, почвы, фармацевтические препараты, биологические объекты животного происхождения, пищевые продукты и напитки, пестициды, средства бытовой химии, растительность, отходы и т.д. Поэтому комплекс прикладных задач, решаемых экотоксикологией, далеко не прост и весьма специфичен. Наиболее приоритетные из них:

1) создание современной методологии экотоксикологических исследований,

позволяющей проводить достоверную оценку качества окружающей среды в условиях природопользования и комплексного влияния основных ее экологических составляющих на живые организмы;

- 2) осуществление ранней диагностики измерений в организме, выявляемых до наступления морфологических гинетических, популяционных и других измерений;
- 3) разработка прикладных основ химико-токсикологического анализа приоритетных загрязнителей, включающего разнообразные способы их обнаружения, изолирования и количественного определения в объектах окружающей среды;
- 4) создание целенаправленного мониторинга токсикантов, вызывающих те или иные отклонения в живых организмах, который позволит по-новому подойти к идентификации наиболее активно действующего фактора, так как специфичность биохимического ответа организма даст возможность проследить путь от следствия к причине, т.е. выйти на соответствующего токсического агента или на узкую группу агентов, выделяя их из общего массива веществ-загрязнителей.

Основная задача химико-токсикологического анализа – установление характера объекта, его консистенции и морфологического состава.

Чрезвычайно большое разнообразие объектов химико-токсикологического анализа обуславливает специфические его особенности, заключающиеся в изолировании (или извлечении из достаточно большого количества исследуемого образца ничтожно малых количеств токсиканта) и необходимости анализа в большинстве случаев не индивидуальных веществ, а многокомпонентных смесей, в которых каждый определяемый компонент может влиять на последующий. Стандартная схема выполнения химико-токсикологического анализа включает методы выделения (или изолирования) и очистки токсикантов, а также методы их качественного обнаружения и качественного определения (рис.1). Среди этих методов особое внимание, как правило, уделяется методам выделения и очистки, поскольку анализируемые системы представляют собой достаточно сложные неоднородные и многокомпонентные смеси, анализ которых сопряжен с рядом трудностей, обусловленных селективностью определения, достоверностью и воспроизводимостью получаемых аналитических данных.

В зависимости от свойств и природы токсикантов для выделения веществ органического происхождения применяют различные способы изолирования: дистилляцией с водяным паром; подкисленным 96°- или 70°-ным этиловым спиртом (алкалоиды, ряд синтетических веществ, гликозиды); подкисленной водой (алкалоиды, синтетические лекарственные препараты и др.); подщелоченной водой (некоторые органические кислоты, фенол и его производные); различными органическими растворителями (остаточные количества пестицидов и др.).

Для изолирования веществ неорганической природы используются минерализация (соединения металлов и мышьяка), диализ (кислоты, щелочи, соли некоторых ядовитых кислот), озоление (фториды, кремнефтористые соединения).

Основными методами, применяемыми для очистки выделенных токсикантов, являются возгонка и перекристаллизация; экстракция и реэкстракция; различные виды хроматографии (газо-жидкостная, хроматография в тонком слое сорбента). Наиболее широко применяются последние из описанных вследствие дуализма характерных для них аналитических возможностей. Так, они позволяют не только определить и отделить исследуемые соединения от сопутствующих компонентов, но и качественно определить их структуры и количественное содержание. Например, газожидкостная хроматография широко применяется для анализа спиртов (этилового, метилового и др.), ацетальдегида, некоторых галогенопроизводных, а хроматография в тонком слое сорбента – для анализа барбитуратов, алкалоидов, различных лекарственных веществ, гликозидов, элементарно-органических соединений.

Основные требования к методам качественного обнаружения – достаточно высокая чувствительность, характеризуемая низким пределом обнаружения, и специфичность. В ряде случаев на практике применяют весьма традиционные аналитические методы (гравиметрические и титриметрические), однако они не распространены широко из-за недостаточной чувствительности (диапазон определяемых содержаний токсикантов 0,1-1 г) при необходимости работы с недостаточно большими объемами растворов (до 100 мл). Более чувствительными и экспрессными являются микрохимические методы, например, капельный анализ и микрокристаллоскопический анализ с элементами кристаллооптики, широко применяющиеся для анализа как органических, так и неорганических соединений, позволяющие определять токсиканты в диапазоне концентраций 0,001-0,01 г при анализе очень малых объемов анализируемых систем (от 0,01 до 0,1 мл).

Для обнаружения отдельных токсических соединений (хинина, стрихнина, никоглина, атропина и др.) применяются хроматографические, полярографические, люминесцентные и биологические методы.

Методы количественного определения токсикантов представлены арсеналом различных физических (нейтронно-активационный, рентгенофлуоресцентный, масс-спектрометрический) и физико-химических методов (атомно-абсорбционный анализ, атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой, хроматографические, электрохимические и спектрофотометрические методы с использованием органических реагентов различных классов). В последнее время активно применяются тест-методы на основе классических цветных реакций, позволяющие определять токсиканты на уровне экспресс-анализа с достаточно высокой точностью и селективностью. Перспективны в экотоксикологии комбинированные аналитические методы, сочетающие эффективные приемы концентрирования с разнообразными способами детектирования и химическими сенсорами.

Вопросы

1. Какие вещества являются токсикантными?
2. Дайте определение миграции элементов?
3. Какие факторы влияют на токсичность веществ в природных экосистемах?
4. Как оценивается антропогенный перенос токсикантов посредством рек?

5. Что такое молярная токсичность?

Тесты

1. Что такое токсическая концентрация?

- а) диапазон концентраций вредных веществ, которые способны при различной деятельности воздействия вызывать гибель живых организмов;
- б) концентрация, фиксирующая начало процесса вредного воздействия, вызывающего гибели живых организмов в течении 30 суток;
- в) содержание вещества в объектах окружающей среды, способного оказывать ядовитое воздействие.

2. Какое вещество называется вредным?

- а) инородный ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на живые организмы и природные экосистемы;
- б) химическое соединение, которое при контакте с организмом человека может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья;
- в) химическое вещество, вызывающее нарушение в росте, развитии или состоянии здоровья организмов и способное повлиять на эти показатели со временем.

3. Дайте определение миграции элементов в окружающей среде.

- а) перенос химических элементов в окружающей среде;
- б) распределение химических элементов на поверхности Земли;
- в) перенос и перераспределение химических элементов в атмосфере, земной коре и на поверхности Земли.

4. Что такое молярная токсичность?

- а) молярное количество металла;
- б) количество металла, необходимого для проявления эффекта токсичности;
- в) количество металла, необходимого для проявления эффекта токсичности при минимальной молярной величине, относящейся к металлу с наибольшей токсичностью.

5. Каковы основные задачи химико-экологического анализа?

- а) определение качественного состава объекта;
- б) разработка методов идентификации загрязнителей и их изолирования;
- в) разработка методов качественного обнаружения и количественного определения требуемых ингредиентов в природном или промышленном объекте для оценки его фактического экологического состояния.

ГЛАВА 8. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Всесторонний анализ окружающей среды предусматривает оценку ее экологического состояния и влияние на нее естественных и антропогенных воздействий. Характер этих воздействий весьма специфичен. Лимитирующим показателем уровня естественных и антропогенных воздействий является *предельно-допустимая экологическая нагрузка* (ПДЭН), которая во многих странах установлена в связи с тем, что нормальное функционирование и устойчивость экосистем и биосферы возможны при непревышении определенных предельных нагрузок на них.

Состояние биосферы, непрерывно меняющееся под влиянием естественных факторов, обычно возвращается в первоначальное. Например, изменения температуры и давления, влажности воздуха и почвы происходят в пределах некоторых постоянных средних значений. Как правило, крупные экосистемы под влиянием природных процессов изменяются чрезвычайно медленно. Существующие в мире экологические службы (гидрометеорологическая, сейсмическая, ионосферная и др.) проводят контроль за изменением этих процессов.

Изменение состояния биосферы под влиянием антропогенных факторов происходит в более короткие временные сроки. Поэтому с целью измерения, оценки и прогноза антропогенных изменений абиотической составляющей биосферы (в первую очередь загрязнений) и ответной реакции биоты на эти изменения, а также последующих изменений в экосистемах в результате антропогенных воздействий создана *информационная система экологического мониторинга*.

8.1. Понятие экологического мониторинга окружающей среды

Экологический мониторинг является комплексным мониторингом биосферы. Он включает в себя контроль изменений состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Основные задачи экологического мониторинга антропогенных воздействий:

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
 - наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- оценка физического состояния природной среды;
- прогноз изменения состояния природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды.

Термин «мониторинг» образован от лат. «монитор» - «наблюдающий», «предостерегающий». Существует несколько современных формулировок определения мониторинга. Некоторые исследователи под мониторингом понимают систему повторных наблюдений за состоянием объектов окружающей среды в пространстве и во времени в соответствии с заранее подготовленной программой. Более конкретная формулировка определения мониторинга предложена академиком РАН Ю.А.Израэлем в 1974 г., в соответствии с которой под *мониторингом состояния природной среды*, и в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере, подразумевают комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий.

Программа ЮНЕСКО от 1974 г. определяет мониторинг как систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющую прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества.

8.2. Основные практические направления мониторинга

Мониторинг включает в себя следующие основные практические направления:

- наблюдение за состоянием окружающей среды и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния окружающей среды и уровня ее загрязнения;
- прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценку этого состояния.

Объектами мониторинга являются атмосфера (мониторинг приземного слоя атмосферы и верхней атмосферы); атмосферные осадки (мониторинг атмосферных осадков); поверхностные воды суши, океаны и моря, подземные воды (мониторинг гидросферы); криосфера (мониторинг составляющих климатической системы).

По объектам наблюдения различают: атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

Существует классификация систем мониторинга по факторам, источникам и масштабам воздействия.

Мониторинг факторов воздействия - мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнений - мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

По масштабам воздействия мониторинг бывает пространственным и временным.

По характеру обобщения информации различают следующие системы мониторинга:

- *глобальный* - слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях;
- *базовый (фоновый)* - слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;
- *национальный* - мониторинг в масштабах страны;
- *региональный* - слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;
- *локальный* - мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;
- *импактный* - мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах.

8.3. Классификация систем мониторинга

Классификация систем мониторинга может основываться и на методах наблюдения (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг).

Химический мониторинг - это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня загрязнения окружающей среды приоритетными высокотоксичными ингредиентами.

Физический мониторинг - система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (наводнения, вулканизм, землетрясения, цунами, засухи, эрозия почв и т.д.).

Биологический мониторинг - мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

Экобиохимический мониторинг - мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Дистанционный мониторинг - в основном, авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

В зависимости от принципа классификации имеются различные системы мониторинга.

Наиболее универсальным является комплексный экологический мониторинг окружающей среды.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды - это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов. Различают мониторинг локальный, региональный и фоновый.

При проведении комплексного экологического мониторинга окружающей среды: а) проводится постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем; б) создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Система комплексного экологического мониторинга предусматривает:

- выделение объекта наблюдения;
- обследование выделенного объекта наблюдения;
- составление для объекта наблюдения информационной модели;

Государственная экологическая экспертиза представляет собой систему государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства

и природных ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.

Токсикологическая характеристика технологических процессов требует обоснования рекомендаций по такому изменению производства, чтобы уменьшить количество вредных полупродуктов или побочных соединений или исключить их, и медико-технических требований к планированию производственных помещений, аппаратуре, санитарно-техническому оборудованию, в том числе очистному или рассеивающему, и в случае необходимости - к индивидуальным средствам защиты. В основе этого лежит установление *предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в различных средах. В воздушной среде:*

- ПДК_{р.з} - *предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³. Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений заболеваний или отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы. Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих;*

- ПДК_{м.р} - *предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест, мг/м³. Эта концентрация при вдыхании в течение 20 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека;*

- ПДК_{с.с} - *предельно допустимая среднесуточная концентрация токсичного вещества в воздухе населенных мест, мг/м³. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно продолжительном вдыхании.*

В водной среде:

- ПДК_в - *предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на органы человека в течение всей его жизни, а также на здоровье последующих поколений не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;*

- ПДК_{в.р} - *предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей, мг/л;*

- Интегральные показатели для воды:

БПК - *биологическая потребность в кислороде* - количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (исключая процессы нитрификации) за определенное время инкубации пробы (2, 5, 20, 120 суток), мг О₂/л воды (БПК_п - за 20 суток, БПК_з - за 5 суток);

ХПК - *химическая потребность в кислороде*, определенная бихроматным методом, т.е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого

окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде, мг O_2 /л воды.

По отношению БПК_п /ХПК судят об эффективности биохимического окисления веществ.

В почве:

- ПДК_п - предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы, мг/кг. Эта концентрация не должна вызывать прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы;

- ПДК_{п.р.} (ДОК) - предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вещества в продуктах питания, мг/кг.

Если величина ПДК в различных средах не установлена, действует временный гигиенический норматив ВДК (ОБУВ) - временно допустимая концентрация (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вещества. Временный норматив устанавливается на определенный срок (2-3 года).

Различные вещества могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм. Например, существует эффект суммации для диоксида азота и формальдегида, фенола и ацетона, этанола и целой группы органических веществ. Для токсичных веществ безопасная концентрация определяется соотношением $C/ПДК < 1$, где C - фактическая концентрация вещества в среде.

Допустим, что в воздухе концентрация фенола $C_{ф}=0,345$ мг/л, ацетона $C_{ац}=0,009$ мг/л, а $ПДК_{ф}=0,35$ мг/л, $ПДК_{ац}=0,01$ мг/л. Таким образом, для каждого из веществ указанное соотношение меньше 1.

Вопросы

1. Каковы основные задачи экологического мониторинга антропогенных воздействий?
2. Дайте определение комплексного экологического мониторинга.
3. Какие существуют классификация подсистем мониторинга?
4. Что такое ПДК_{м.р.}, ПДК_{с.с.}, ПДК_{в.}, ПДК_{в.р.}, ПДК_{п.р.}, ПДК?
5. Какие показатели для воды являются интегральными?

Тесты

1. Дайте определение комплексного мониторинга окружающей среды.
 - а) наблюдение за состоянием окружающей человека природной среды;
 - б) наблюдение за процессами и явлениями в пределах какого-либо региона, которые могут отличаться и природным характером, и антропогенным воздействием от базового фона, характерного для всей биосферы;
 - в) организация системы наблюдений и контроля за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов.
2. Что такое мониторинг факторов, воздействия?
 - а) ингредиентный мониторинг;
 - б) мониторинг разнообразных природных факторов воздействия;
 - в) мониторинг различных химических загрязнителей и разнообразных при-

родных и физических факторов воздействия.

3. Что предусматривает система комплексного экологического мониторинга?
 - а) выделение объекта наблюдения;
 - б) обследование выделенного объекта наблюдения;
 - в) выделение, обследование объекта наблюдения и составление для объекта наблюдения информационной модели.
4. Что такое импактный мониторинг?
 - а) мониторинг региональных антропогенных воздействий;
 - б) мониторинг локальных антропогенных воздействий;
 - в) мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах.
5. Какого предназначение локального мониторинга?
 - а) мониторинг воздействия антропогенных источников;
 - б) мониторинг природно-антропогенного воздействия;
 - в) мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника.

ГЛАВА 9. ПОНЯТИЕ, ПРИНЦИПЫ И ЦЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Одним из решающих факторов обеспечения охраны окружающей среды является экологическая экспертиза, проводимая в стране более десяти лет. «Экологическая экспертиза – установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определения допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы». Ее цель – предупреждение возможных неблагоприятных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую среду. Регулирование этих отношений осуществляется Федеральным законом "Об экологической экспертизе" от 23 ноября 1995 г.

Государственная экологическая экспертиза представляет собой систему государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства и природных ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.

Экологическая экспертиза представляет собой самостоятельный вид экологического контроля, она имеет чисто предупредительное значение, ибо, как правило, совершается до начала эколого-правовых предписаний.

Экологическая экспертиза совершается в виде предварительной проверки соответствия хозяйственных решений, деятельности и ее результатов требованиям охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, экологической безопасности общества.

Цель экологической экспертизы – обеспечить предупреждение вредных последствий хозяйственной деятельности для охраны окружающей среды, здоровья человека, экологической безопасности общества, задача – оценить степень экологического воздействия конкретного хозяйственного объекта на окружающую среду и здоровье человека.

Принципы экологической экспертизы закреплены в Законе РФ «Об экологической экспертизе», хотя и сформулированы применительно к основному виду экологической экспертизы – государственной экспертизе, но, за незначительным исключением, они могут быть использованы и в иной эколого-экспертной деятельности.

«Экологическая экспертиза основывается на принципах:

- Презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;
- Обязательности проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы;
- Комплексности оценки воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий;
- Обязательности учета требований экологической безопасности при проведении экологической экспертиза;
- Достоверности и полноты информации, представляемой на экологическую экспертизу;
- Независимости экспертизов экологической экспертизы при осуществлении ими своих полномочий в области экологической экспертизы;
- Научной обоснованности, объективности и законности заключений экологической экспертизы;
- Гласности, участия общественных организаций (объединений), учета общественного мнения;
- Ответственности участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение, качество экологической экспертизы».

Принцип обязательности в государственной экологической экспертизе имеет два значения: во-первых, как обязательность ее проведения в отношении тех проектов, программ,

Сооружений, материалов и т.д., которые способны оказать негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Закон предусматривает открытие финансирования и осуществление самих работ по всем проектам и программам только после положительного заключения государственной экологической экспертизы; во-вторых, как обязательность выполнения тех выводов, которые содержатся в заключении экспертизы.

Принцип научной обоснованности означает, что все выводы экологической экспертизы должны быть научно аргументированы, базироваться на принципах охраны окружающей природной среды и, прежде всего, на научно обоснованном сочетании экологических и экономических интересов, обеспечивающем приоритет охраны жизни и здоровья человека, реальные гарантии прав человека на здоровую и благоприятную для жизни окружающую среду.

Разумеется, как и все общественные отношения, эколого-экспертный процесс должен развиваться на твердой законодательной основе, т.е. необходимо наличие правовых норм, регулирующих порядок назначения и проведения экологической экспертизы: это Закон РФ об охране окружающей природной среды, Положение о государственной экологической экспертизе, утверждаемое

Правительством РФ, ведомственные инструкции Минприроды России, имеющие обязательное значение для всех министерств и ведомств. На основе этих норм разрабатывается Закон РФ об экологической экспертизе.

Независимость и вневедомственность экологической экспертизы призваны обеспечивать свободу волеизъявления эколого-экспертной комиссии. Она должна руководствоваться только фактам, научными принципами их обоснования и действующими законами. Экологическая экспертиза (надведомственная, ведомственная, общественная, научная и т.п.) во всех случаях должна отстаивать принципы охраны окружающей среды, нормативы качества окружающей природной среды, а не интересы, позиции отдельного ведомства, даже если проводится ведомственная экологическая экспертиза.

Широкая гласность в существовании и функционировании объекта или предполагаемом его появлении, назначении по данному поводу государственной экологической экспертизы вытекает из обязанности государственных органов охраны окружающей природной среды об обеспечении населения необходимой и своевременной экологической информацией.

Гласность экологической информации тесно связана с привлечением общественности к участию, в проведении экологической экспертизы. Формы такого участия многообразны: рассмотрение предложений граждан и общественных объединений о проведении экологической экспертизы экологически вредного объекта; включение представителей общественности в состав экспертных комиссий, ознакомление населения, общественных объединений с результатами экологической экспертизы, проведение референдумов и

Токсикологическая характеристика технологических процессов требует обоснования рекомендаций по такому изменению производства, чтобы уменьшить количество вредных полупродуктов или побочных соединений или исключить их, и медико-технических требований к планированию производственных помещений, аппаратуре, санитарно-техническому оборудованию, в том числе очистному или рассеивающему, и в случае необходимости - к индивидуальным средствам защиты. В основе этого лежит установление *предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в различных средах. В воздушной среде:*

- ПДК_{р.з} - *предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³*. Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений заболеваний или отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы. Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих;

- ПДК_{м.р.} - *предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест, мг/м³*. Эта концентрация при вдыхании в течение 20 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека;

• ПДК_{с.с} - предельно допустимая среднесуточная концентрация токсичного вещества в воздухе населенных мест, мг/м³. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно продолжительном вдыхании.

В водной среде:

- ПДК_в - предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на органы человека в течение всей его жизни, а также на здоровье последующих поколений не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;
- ПДК_{в.р.} - предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей, мг/л;
- Интегральные показатели для воды:

БПК - биологическая потребность в кислороде - количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (исключая процессы нитрификации) за определенное время инкубации пробы (2, 5, 20, 120 суток), мг О₂/л воды (БПК_п - за 20 суток, БПК₃ - за 5 суток);

ХПК - химическая потребность в кислороде, определенная бихроматным методом, т.е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде, мг О₂/л воды.

По отношению БПК_п/ХПК судят об эффективности биохимического окисления веществ.

В почве:

- ПДК_{п.} - предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы, мг/кг. Эта концентрация не должна вызывать прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы;
- ПДК_{пр} (ДОК) - предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вещества в продуктах питания, мг/кг.

Если величина ПДК в различных средах не установлена, действует временный гигиенический норматив ВДК (ОБУВ) - временно допустимая концентрация (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вещества. Временный норматив устанавливается на определенный срок (2-3 года).

Различные вещества могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм. Например, существует эффект суммации для диоксида азота и формальдегида, фенола и ацетона, этанола и целой группы органических веществ. Для токсичных веществ безопасная концентрация определяется соотношением $C/ПДК < 1$, где C - фактическая концентрация вещества в среде.

Допустим, что в воздухе концентрация фенола $C_{\phi} = 0,345$ мг/л, ацетона $C_{\text{ац}} = 0,009$ мг/л, а $ПДК_{\phi} = 0,35$ мг/л, $ПДК_{\text{ац}} = 0,01$ мг/л. Таким образом, для каждого из веществ указанное соотношение меньше 1:др.

Вопросы

1. Что такое экологическая экспертиза?
2. Каковы принципы и цели экологической экспертизы?
3. Какие существуют виды, экологической экспертизы?
4. Что является нормативно – правовой базой экологической экспертизы?
5. Дайте определение государственной экологической экспертизы?

Тесты

1. Что такое государственная экологическая экспертиза?
 - а) система государственных природоохранных мероприятий;
 - б) система природоохранных мероприятий в области народного хозяйства;
 - в) система государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства и природных ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.
2. Что является базовым критерием при экологической экспертизе состояния объектов окружающей среды?
 - а) индекс загрязнения;
 - б) фоновая концентрация;
 - в) предельно допустимая концентрация вредного вещества в различных средах.
3. Что такое предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы?
 - а) содержание вещества в почве, оказывающее на нее негативное воздействие;
 - б) концентрация вещества не оказывающая прямого отрицательного влияния на здоровье человека?
 - в) концентрация вещества в пахотном слое почвы, не оказывающая прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека и на самоочищающую способность почвы.
4. Какие показатели являются интегральными для воды?
 - а) ХПК;
 - б) БПК;
 - в) ХПК и БПК.
5. Что такое ПДК_{р.з.}?
 - а) предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны;
 - б) предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест;
 - в) предельно допустимая среднесуточная концентрация в воздухе населенных мест.

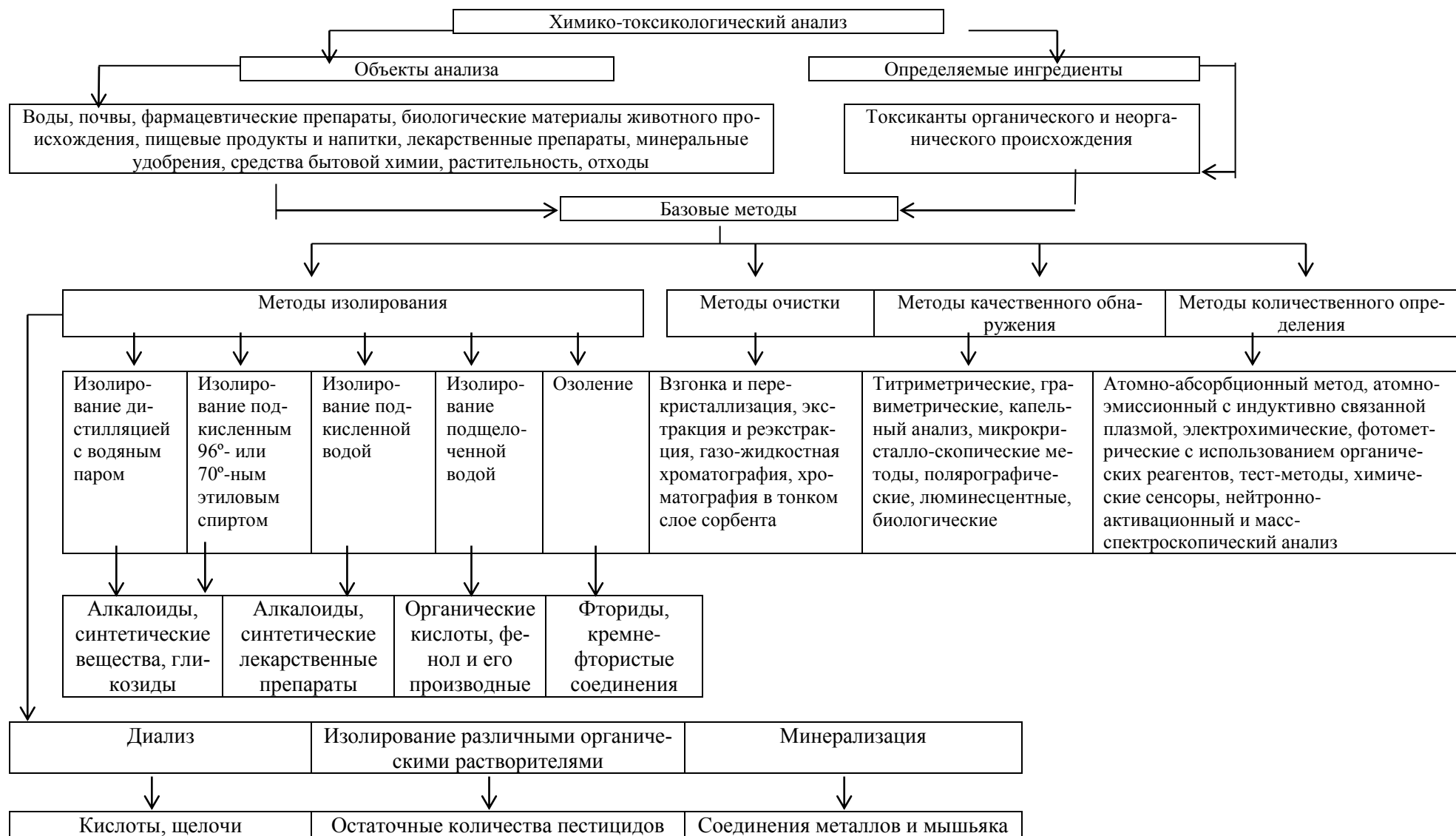


Рис. 1. Схема химико-токсикологического анализа

ТЕСТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭКОЛОГИЯ»

1. Дайте определение экологии, как науки изучающей:
 - а) современные закономерности взаимоотношений организмов и их популяций с окружающей природной средой;
 - б) отношение организмов (особей, популяций, биоценозов и т.п.) между собой и окружающей средой;
 - в) общие законы функционирования экосистем различного иерархического уровня.
2. Дайте определение комплексного мониторинга окружающей среды.
 - а) наблюдение за состоянием окружающей человека природной среды;
 - б) наблюдение за процессами и явлениями в пределах какого-либо региона, которые могут отличаться и природным характером, и антропогенным воздействием от базового фона, характерного для всей биосферы;
 - в) организация системы наблюдений и контроля за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов.
3. Охарактеризуйте понятие биогеоценоза.
 - а) устойчивая биологическая система;
 - б) совокупность особей различных видов;
 - в) устойчивая биологическая система, состоящая из совокупности особей различных видов.
4. Что подразумевают под биотическим круговоротом веществ?
 - а) круговорот биогенных элементов;
 - б) круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом органических веществ в экосистеме;
 - в) круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, в основе которого лежит реакция фотосинтеза.
5. Что такое биогеохимические циклы?
 - а) круговорот веществ из внешней среды в организмы;
 - б) замкнутый круговорот биогенных элементов;
 - в) непрерывный круговорот биогенных элементов из внешней среды в организмы и обратно во внешнюю среду.
6. Что такое биоинтервал фактора среды?
 - а) область количественных значений какого-либо фактора среды;
 - б) зона устойчивости или зона толерантности;
 - в) область количественных значений какого-либо фактора среды, в пределах которой могут существовать особи данного вида (популяции).
7. Что такое индекс загрязнения?
 - а) качественные и количественные характеристики загрязняющего начала (вещества, излучения и т.п.);
 - б) объемная характеристика вещества – загрязнителя в среде;

- в) показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества – загрязнителя и степень его воздействия на него и живые организмы.
8. Что такое фоновая концентрация?
- а) содержание веществ в объектах окружающей среды, определяемое суммой глобальных и региональных естественных и антропогенных процессов;
 - б) содержание веществ в воздухе населенных мест, определяемое неучитываемыми производственными и транспортными выбросами или переносом загрязнителей из смежных районов;
 - в) содержание веществ в объектах окружающей природной среды, определяемое суммой глобальных и региональных естественных и антропогенных вкладов в результате дальнего или трансграничного переноса.
9. Что такое токсическая концентрация?
- а) диапазон концентраций вредных веществ, которые способны при различной деятельности воздействия вызывать гибель живых организмов;
 - б) концентрация, фиксирующая начало процесса вредного воздействия, вызывающего гибели живых организмов в течении 30 суток;
 - в) содержание вещества в объектах окружающей среды, способного оказывать ядовитое воздействие.
10. Какое вещество называется вредным?
- а) инородный ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на живые организмы и природные экосистемы;
 - б) химическое соединение, которое при контакте с организмом человека может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья;
 - в) химическое вещество, вызывающее нарушение в росте, развитии или состоянии здоровья организмов и способное повлиять на эти показатели со временем.

СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

Абиотические факторы - факторы неорганической (неживой) природы: свет, температура, влажность, давление, агрегатное состояние самой среды, химический состав среды, концентрация веществ в ней.

Автотрофные экосистемы - экосистемы, которые сами обеспечивают себя энергией, получаемой от Солнца, за счет собственных фото- или хемотрофных организмов.

Антропогенные (искусственные) экосистемы - экосистемы, созданные человеком, которые способны существовать только при поддержке человека.

Антропогенные – факторы человеческой деятельности.

Аутоэкология (греч. *autos* – сам) – раздел экологии, изучающий взаимоотношения отдельного организма с окружающей средой.

Базовый (фоновый) мониторинг - слежение за общебиосферными, в ос-

новном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний.

Биогеохимическими циклами – это круговорот биогенных элементов из внешней среды в организмы и обратно во внешнюю среды.

Биологический мониторинг - мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

Биосфера (греч. - жизнь, *spharia* - шар) - глобальная экосистема всего земного шара, оболочка Земли, состоящая из совокупности всех живых организмов (биота), веществ, их составляющих, и среды их обитания.

Биотоп (греч. *bios* -жизнь, *topos* - место) - это пространство с однородными условиями (рельефа, климата), заселенное определённым биоценозом.

Биотический круговорот веществ - круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, в основе которого лежит реакция фотосинтеза.

Биогеохимический круговорот - циклический процесс химических превращений, обусловленных биотой.

Биогеоценоз – совокупность особей различных видов, обитающих в пределах конкретного географического ареала.

Биоценоз – совокупность особей различных видов.

БПК - биологическое потребление кислорода - это количество кислорода, которое необходимо для окисления бактериями и простейшими всей органики (обычно за 5 суток) в 1 л загрязненной воды;

Биотические факторы - это прямые или опосредованные воздействия других организмов, населяющих среду обитания данного организма.

Внешние факторы - воздействуют на организм, популяцию, экосистему, но не испытывают непосредственного обратного действия: температура, атмосферное давление, скорость ветра, солнечная радиация.

Внутренние факторы - связаны со свойствами самой экосистемы и образуют ее состав: численность популяций, пища, количество биогенов, состав воздуха, воды и т.д.

Внутривидовые факторы - контакты между членами одной семьи, группы, стада, популяции одного вида.

Вредное вещество – это инородный нехарактерный для природных экосистем ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на них и живые организмы, обитающие в этих экосистемах.

Географическая популяция - совокупность экологических популяций, заселяющих территорию с географически однородными условиями существования.

Глобальный мониторинг - слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях.

Государственная экологическая экспертиза – система государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства и природных

ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.

Гетеротрофные экосистемы - это такие экосистемы, которые получают энергию, используя готовые органические соединения, синтезированные организмами, не являющимися компонентами данных экосистем, или использующих энергию созданных человеком энергетических установок.

Демэкология (греч. *demos* – народ) – раздел экологии, изучающий популяцию и ее среду.

Дистанционный мониторинг - в основном, авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

ДОК – допустимое остаточное количество вещества в продуктах питания.

Загрязнение окружающей среды – процесс привнесения в среду или возникновения в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие.

Емкость экосистемы - это максимальная численность популяции одного вида, которую данная экосистема способна поддерживать в определённых экологических условиях на протяжении длительного времени.

Импактный мониторинг - мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах.

Индекс загрязнения (ИЗ) – показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества-загрязнителя и степень его воздействия на живые организмы.

Канцерогенез – это способность металла проникать в клетку и реагировать с молекулой ДНК, приводя к хромосомным нарушениям клетки.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды - это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов.

Ландшафтная экология – наука, изучающая приспособление организмов в разной географической среде.

Лесная экология – наука, изучающая способы использования ресурсов лесов при их постоянном восстановлении.

Локальный мониторинг - мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника.

Мегаэкология или глобальная экология – наука о биосфере земли и положении человека в ней.

Межвидовые факторы - контакты между особями разных видов.

Миграция элементов – это перенос и перераспределение химических элементов в земной коре и на поверхности Земли.

Мониторинг факторов воздействия - мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнений - мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

Мониторинг состояния природной среды - комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий.

Надежность экосистемы - это способность экосистемы относительно полно самовосстанавливаться и саморегулироваться (в течение сукцессионного или эволюционного периода своего существования), т.е., удерживать свои основные параметры во времени и пространстве.

Национальный мониторинг - мониторинг в масштабах страны.

Окружающая среда - та часть экологической среды, с элементами которой данный организм в данное время контактирует и прямо или косвенно взаимодействует.

Популяция (лат. *populus* - народ) - это внутривидовая группировка особей, занимающая часть ареала данного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать свое существование.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – количество вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека.

Предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з}) - концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений заболеваний или отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы.

Предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест (ПДК_{м.р.}) - концентрация при вдыхании в течение 20 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека;

Предельно допустимая среднесуточная концентрация токсичного вещества в воздухе населенных мест (ПДК_{с.с.}) - концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно продолжительном вдыхании.

Предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_{в.}) - концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на органы человека в течение всей его жизни, а также на здоровье последующих поколений не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;

Предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы (ПДК_{п.}) - концентрация не должна вызывать прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

ПДК_{в.р.} - предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, ис-

пользуемого для рыбохозяйственных целей

ПДК_{п.р.} - предельно допустимая концентрация вещества в продуктах питания.

Плотность популяции - это число особей, приходящихся на единицу площади или объёма.

Природные (естественные) экосистемы - это такие экосистемы в которых биологический круговорот протекает без прямого участия человека.

Размер экосистемы - это пространство, в котором возможно осуществление процессов саморегуляции и самовосстановления всех составляющих экосистему компонентов и элементов.

Региональный мониторинг - слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы.

Самовосстановление природных экосистем - это самостоятельный возврат экосистем к состоянию динамического равновесия, из которого они были выведены воздействием каких-либо природных и антропогенных факторов.

Саморегуляция природных экосистем - это способность природных экосистем к самостоятельному восстановлению баланса внутренних свойств после какого-либо природного или антропогенного воздействия с помощью принципа обратной связи между ее компонентами, т.е. экосистема способна сохранять свою структуру и функционирование в определённом диапазоне внешних условий.

Самоочищение экосистем - это естественное разрушение загрязнителя в среде в результате природных физических, химических и биологических процессов, происходящих в ней.

Синэкология (греч. *syn* – вместе) – раздел экологии, рассматривающий жизнь сообществ организмов (экосистем).

Структура популяции - это количественное соотношение особей разного пола, возраста, размеров, генотипов и т.п.

Техноэкосистемы - искусственные экосистемы, возникающие в результате промышленной деятельности человека.

Токсиканты – вещества или соединения, способные оказывать ядовитое действие на живые организмы.

Трофические цепи – это такие ряды, в которых каждый предыдущий вид служит пищей последующему.

Урбаноэкология (лат. *urbanus* - городской) - экология градостроения, изучает возможности расселения людей в городах и других населённых пунктах с учетом интересов населения и сохранения природной среды

Урбаноэкосистемы (лат. городской) - экосистемы, возникающие в результате создания поселений человека.

Устойчивость экосистемы - это способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних и внутренних факторов, т.е. ее способность к реакции, пропорциональной по величине силе воздействия.

Физический мониторинг - система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (наводнения, вулканизм, землетрясения, цунами, засухи, эрозия почв и т.д.).

Химический мониторинг - это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ.

ХПК - химическое потребление кислорода - количество кислорода (мл/л или г/л воды), необходимое для полного окисления загрязняющих веществ с помощью химических реагентов (обычно бихроматом калия).

Численность популяции - это общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

Эйдэкология (греч. *eidōs* – образ) – экология видов.

Экология (греч. *oikos* – дом, *logos* - наука) – “наука о доме” – наука об взаимоотношениях живых организмов между собой и с окружающей средой.

Экосистема (греч. *oikos* - дом, *systema* - сочетание, объединение) - экологическая система, совокупность совместно обитающих организмов разных видов и условий их существования, в которой живые и неживые компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии.

Элементарная (локальная) популяция - это группа особей одного вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади.

Экобиохимический мониторинг - мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Экологическая популяция - совокупность элементарных популяций. В основном, это внутривидовые группировки, приуроченные к конкретным экосистемам.

Экологические факторы - это такие свойства компонентов экосистемы и ее внешней среды, которые оказывают влияние на особи данной популяции, а также на характер их отношений друг с другом и с особями других популяций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
2. Израэль Ю.А. Роль всестороннего анализа природной окружающей среды в организации оптимального взаимодействия человека с природой. – В кн.: Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды III советско-американского симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. 14-22 с.
3. Химия окружающей среды. / Под ред. Дж.О.М.Бокриса. М.: Химия, 1982. 672 с.
4. Вопросы водной токсикологии. /Под ред.Топачевского А.В. и Строганова Н.С. М.: Наука, 1970. 223 с.

5. Suzuki T. Toxicology of trace elements. Halstead press 1977. p.1.
6. Саноцкий И.В. Концепция пороговости реакции живых систем на внешние воздействия и ее следствия в проблеме противохимической защиты биосферы. – В кн.: Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды I советско-американского симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 112-120 с.
7. Сеницын Ю.Б., Пятова В.Н. Геологические исследования и охрана недр. (Обзорная информация). Вып.1. Контроль загрязнения окружающей среды с использованием лазерного спектрографического микроанализа. М.: МРП Геоинформкомитет РФ по геологии и использованию недр. 1993. 54 с.
8. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Л.: Химия. 1975. – 455 с.
9. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде водоемов санитарно-бытового водопользования и требования к составу и свойствам воды водоемов и пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав СССР. Главное санитарно-эпидемиологическое управление. 1973. – 13 с.
10. Делятицкий С., Зайонц И., Чертков Л., Экзарьян В. Экологический словарь. М.: КОНКОРД Лтд – ЭКОПРОМ. 1993. - 202 с.
11. Роева Н.Н., Ровинский Ф.Я., Кононов Э.Я. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах. // Журнал аналитической химии. 1996. Т.51. № 4. 1-14 с.
12. Мартин Р. Бионеорганическая химия токсичных ионов металлов. - В кн.: Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 35-61 с.
13. Стоянов А., Андреев Г., Дмитров Д. Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып.8, 166 с.
14. Хэммонд П.Б., Фолкс Э.К. Токсичность иона металла в организме человека и животных. – В кн.: Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 131-161 с.
15. Виженский В.А., Петрухин В.А. Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып.6. 22 с.
16. Брукс Р.Р. Химия окружающей среды. М.: Химия, 1982. 371 с.
17. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Под ред. Бобовниковой Ц.И. и Малахова С.Г. Труды II Всесоюзного Сопредельных Средах, Обнинск, 1978. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 252 с.
18. Варшал Г.М., Папина Т.С. Определение сосуществующих в природных объектах форм ртути. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор. Часть 1. Физико-химические методы определения ртути и других тяжелых металлов в природных объектах. Новосибирск, 1989. 112 с.
19. Спозито Г. Распределение потенциально опасных следов металлов. – В кн.: Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 9-24 с.
20. Экспериментальная водная токсикология. /Под ред. Андрушайтиса Г.П. Рига:

Зинатне, 1972. 171 с.

21. Коста М., Хек Дж.Д. Канцерогенность ионов металлов. – В кн.: Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. 213-227 с.

22. Швайкова М.Д. Токсикологическая химия. - М.: Медицина, 1975. 376 с.

проф.Роева Н.Н.

Экология

Учебно-практическое пособие

Подписано к печати:

Тираж:

Заказ №