

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

В.Н. ЗЫКОВ, В.И. ЧЕРНЫШОВ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ

Учебное пособие

Москва

2008

*Инновационная образовательная программа
Российского университета дружбы народов*

**«Создание комплекса инновационных образовательных программ
и формирование инновационной образовательной среды,
позволяющих эффективно реализовывать государственные интересы РФ
через систему экспорта образовательных услуг»**

Экспертное заключение –

доктор биологических наук, профессор *С.В. Котелевцев*

Зыков В.Н., Чернышов В.И.

Экологическая метрология: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 220 с.

В пособии изложены принципы экологической метрологии. Рассматриваются основы теории измерений, метрологические основы и биометрические принципы систем экологических измерений. Особое внимание уделено биометрии экологической метрологии. Представлены используемые практической экологией показатели экологического состояния территории и примеры оценки экологического качества социо-эколого-экономических систем. Учебное пособие адресовано студентам и специалистам по направлениям 511100 «Экология и природопользование», по специальностям 013400 «Природопользование», 013100 «Экология», 553500 «Защита окружающей среды», 330100 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», 330500 «Безопасность технологических процессов и производств».

Учебное пособие выполнено в рамках инновационной образовательной программы Российского университета дружбы народов, направление «Комплекс экспортноориентированных инновационных образовательных программ по приоритетным направлениям науки и технологий», и входит в состав учебно-методического комплекса, включающего описание курса, программу и электронный учебник.

© Зыков В.Н., Чернышов В.И., 2008

Оглавление

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение. Элементы общей метрологии. Исторические предпосылки становления экологической метрологии. | 6 |
| 1. Основы теории измерений. | 14 |
| 1.1. Метрология наука об измерениях. | 14 |
| 1.2. Факторы, влияющие на качество измерений. | 16 |
| 1.3. Погрешности измерений. | 21 |
| 1.4. Единство измерений. | 28 |
| 2. Основной постулат метрологии. | 31 |
| 3. Эталоны, их классификация и виды. | 43 |
| 3.1. Эталоны и меры. | 43 |
| 3.2. Измерительные преобразователи. | 46 |
| 3.3. Измерительные приборы, установки и системы. | 48 |
| 3.4. Передача и представление измерительной информации. | 50 |
| Контрольные вопросы. | 51 |
| Темы докладов и рефератов. | 51 |
| 4. Предмет и задачи экологической метрологии. | 52 |
| 5. Общая теория экологических величин и измерений. | 55 |
| 5.1. Единицы и системы единиц экологических величин. | 58 |
| 5.2. Методы и средства экологических измерений. | 60 |
| Контрольные вопросы. | 63 |
| Темы докладов и рефератов. | 64 |
| 6. Особенности метрологии эколого-экономических систем. | 64 |
| Контрольные вопросы. | 75 |
| Темы докладов и рефератов. | 76 |
| 7. Биометрия экологической метрологии (Репрезентативность показателей. Генеральная совокупность. Выборка). | 76 |
| 7.1. Репрезентативность выборочных показателей. | 76 |
| 7.2. Генеральная совокупность. | 76 |
| 7.3. Выборка. | 77 |
| 7.3.1. Определение выборки. | 77 |
| 7.3.2. Расчет средней арифметической M и среднего квадратического отклонения (сигмы) σ | 78 |

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3.3. | Выравнивание эмпирических вариационных кривых по нормальному закону..... | 79 |
| 7.3.4. | Оценка выборочных разностей. | 79 |
| 7.3.5. | Репрезентативность..... | 80 |
| 7.3.6. | Ошибки репрезентативности..... | 80 |
| 7.3.7. | Доверительные границы. | 81 |
| 7.3.8. | Общий порядок оценки генеральных параметров. | 82 |
| 7.3.9. | Надежность..... | 83 |
| 7.3.10 | Точность. | 84 |
| 8. | Биометрия экологической метрологии (Достоверность. Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Информационные критерии). | 85 |
| 8.1. | Достоверность. | 85 |
| 8.1.1. | Определение достоверности..... | 85 |
| 8.1.2. | Критерий достоверности разности..... | 86 |
| 8.2. | Корреляционный анализ. | 88 |
| 8.3. | Дисперсионный анализ. | 89 |
| 8.4. | Регрессионный анализ. | 92 |
| 8.4.1. | Определение регрессии..... | 92 |
| 8.4.2. | Способ скользящей средней. | 93 |
| 8.4.3. | Графический способ..... | 94 |
| 8.4.4. | Точечный график. | 94 |
| 8.4.5. | Коэффициент прямолинейной регрессии. | 95 |
| 8.5. | Информация. | 96 |
| 8.5.1. | Единичная информация. | 96 |
| 8.5.2. | Групповая информация..... | 96 |
| 8.5.3. | Энтропия..... | 97 |
| 8.5.4. | Информационный показатель силы влияния..... | 100 |
| | Контрольные вопросы. | 102 |
| | Темы докладов и рефератов. | 102 |
| 9. | Критерии оценки экологического состояния территории. | 103 |
| 9.1. | Метрологические основы и нормативные принципы экологической оценки и измерений. | 103 |
| 10. | Биологические критерии состояния территории..... | 105 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1. | Ботанические критерии..... | 105 |
| 10.2. | Биохимические критерии..... | 107 |
| 10.3. | Зоологические критерии..... | 108 |
| 11. | Почвенные критерии состояния территории..... | 109 |
| 12. | Пространственные критерии состояния территории..... | 114 |
| 13. | Динамические критерии состояния территории..... | 116 |
| 14. | Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Атмосфера. Поверхностная и подземная гидросфера)..... | 118 |
| 14.1. | Атмосфера..... | 119 |
| 14.2. | Поверхностная гидросфера..... | 123 |
| 14.3. | Подземная гидросфера (подземные воды)..... | 127 |
| 15. | Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Почва. Литосфера)..... | 129 |
| 15.1. | Педосфера (почвы)..... | 129 |
| 15.2. | Литосфера..... | 130 |
| 16. | Эргодемографические критерии состояния территории..... | 135 |
| 17. | Критерии экологической техноемкости территории..... | 138 |
| 18. | Критерии демографической напряженности территории..... | 142 |
| 19. | Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории..... | 142 |
| 19.1 | . Медико-демографические критерии состояния территории. ... | 142 |
| 19.2 | . Санитарно-гигиенические нормативы состояния территории. | 144 |
| | Контрольные вопросы..... | 151 |
| | Темы докладов и рефератов..... | 151 |
| 20. | Экологическая метрология территорий..... | 151 |
| 20.1. | Принцип антропоцентризма экологического нормирования..... | 153 |
| 20.2. | Учет устойчивости территории к антропогенной нагрузке..... | 163 |
| 21. | Оценка экологического качества территории методами экологической метрологии..... | 172 |
| | Контрольные вопросы..... | 180 |
| | Темы докладов и рефератов..... | 181 |
| | Литература..... | 182 |
| | Описание курса и программа..... | 185 |

Введение. Элементы общей метрологии. Исторические предпосылки становления экологической метрологии.

Организация нормативно-правового регулирования (управления) природопользованием — одна из важнейших государственных задач. Для России это особенно актуально в связи с большим объемом и разнообразием ресурсного потенциала, с одной стороны, и со значительным отставанием в целесообразной организации управления ресурсами, с другой. При этом все время ведомственные мотивы в столкновениях за власть над ресурсами преобладают над задачами их сохранения, возобновления, целесообразного неистощительного использования [9, 20, 22, 23, 29, 33].

Пробелы существуют на двух уровнях: на самом верхнем — противоречие законов субъектов Федерации — Конституции РФ и на самом нижнем — различное толкование «экологической нормы» отраслевыми нормативами, инструкциями и технической документацией. Такое положение объясняется отсутствием в практической экологии экологической метрологии — науки об экологических измерениях.

Практика природопользования и охраны окружающей среды к настоящему времени уже имеет достаточно надежную, но не унифицированную приборно-методическую базу для организации эффективного управления природопользованием.

Чтобы правильно оценить проблемы, задачи и возможности современной экологической метрологии, целесообразно проследить в историческом аспекте становление современной культуры природопользования.

Становление современной системы управления использованием и охраны природных ресурсов (ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА) проходило через ряд революционных (качественных) превращений *культуры природопользования*.

В эволюции культуры природопользования выделяют такие этапы ее становления, как *культура первобытного человека* (охота и собирательство), *сельскохозяйственная культура* (земледелие и скотоводство), *техническая культура* (повсеместное использование машин и автоматов) и, наконец, *экологическая культура*, формирование которой происходит в наши дни [12, 31].

Достижением культуры первобытного человека явилось то, что примерно 8 тыс. лет назад численность населения земного шара после тысячелетий медленного роста достигла гигантской по тем временам цифры — порядка 10 млн. человек. Эти люди вели кочевую жизнь охотников-собирателей, но съедобные растения и дикие животные, ранее в изобилии встречавшиеся вокруг, уже не могли прокормить разросшиеся племена. Чтобы как-то приспособиться к исчезновению источников питания, люди сделали две вещи. Одни стали интенсивно кочевать. Другие начали одомашнивать животных, выращивать растения и поэтому занимали *одну и ту же территорию*. С этого момента начали формироваться качественно иные отношения человека к природе — *сельскохозяйственная культура*. Это был абсолютно новый образ жизни, при котором средством производства была земля, приведший к феодальному строю. Оставаясь оседлыми, первобытные земледельцы изменили облик планеты. Поскольку оседлые племена не уходили от производимых ими отходов, они впервые в истории человечества испытали на себе последствия *загрязнения окружающей среды*.

Сельское хозяйство позволило избежать последствий истощения съедобных растений и животных — ресурсов дикой природы. Оно сделало возможным медленный рост численности населения, который через столетия привел к огромным изменениям: от 10 млн. до 800 млн. человек к 1750 г. Это способствовало дальнейшему истощению природных ресурсов,

особенно земли и древесины – традиционного источника энергии. Возникли предпосылки для следующей революции.

Промышленная революция (*формирование промышленной культуры*) началась в Англии с замены истощающейся древесины каменным углем. Использование угля немедленно породило проблемы удаления пустой породы, строительства шахт, откачки воды, его транспортировки и контролируемого сжигания. Уголь — компактный энергоноситель позволил создать паровой двигатель. Механизмы, а не земля стали основным средством производства. Феодализм уступил дорогу капитализму.

Нашим современникам трудно оценить, насколько глубоко *техническая культура* изменила сознание людей. Историк Д-Уорстер так характеризовал философию индустриализации: «Люди должны все время мыслить с позиции денег. Они должны рассматривать все вокруг — землю, природные ресурсы, свой собственный труд — как потенциальный товар, источник получения прибыли на рынке. Они должны требовать права производить, покупать и продавать этот товар без внешнего регулирования или вмешательства. По мере роста потребностей и расширения рынка связь между человеческими существами и остальной природой свелась к чистому инструментализму» [12].

Такой инструментализм привел к высокой материальной производительности и к цивилизации, которая в настоящее время обеспечивает население численностью в 6 миллиардов человек, но при этом ежегодно варварски и необратимо разрушаются природные ресурсы.

Такая концепция породила антагонистические противоречия в области обеспечения экологической безопасности народов мира.

Успехи промышленной революции, как и успехи меньших масштабов, достигнутые охотниками-собирателями или земледельцами, сопровождалась истощением не только популяций диких растений,

животных, земли, запасов топлива и металлов, но также *способности окружающей среды поглощать загрязнения и сохранять эволюционно сформировавшиеся экологические системы.*

Таким образом, возникла необходимость в следующей революции, результатом которой является формирование *экологической культуры человечества.*

Отличительная черта экологической культуры — положение о необходимости создания и организации функционирования социо-эколого-экономических систем природопользования, способных обеспечить *устойчивое развитие человечества* и сохранение благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала для удовлетворения жизненных потребностей нынешнего и будущих поколений.

Это положение является основой «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», утвержденной Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440.

К числу основных направлений перехода России к устойчивому развитию относится создание правовых основ и совершенствование действующего законодательства, определяющего экономические мероприятия, направленные на *экологизацию природопользования* и охрану окружающей среды. Крайне необходима разработка системы стимулирования хозяйственной деятельности и установление пределов ответственности за ее экологические результаты, при которых биосфера воспринимается уже не только как поставщик ресурсов, а как фундамент жизни, сохранение которого должно быть неременным условием функционирования социально-экономической системы и ее отдельных элементов.

Нормирование и стандартизация являются важнейшими средствами регулирования природопользования, широко применяемыми как в

отечественной, так и в зарубежной практике управления качеством окружающей среды. По своей сущности они относятся к административным методам регулирования. В последние годы в связи с развитием экономических методов управления они все чаще применяются в тесной взаимосвязи с административным методом регулирования, расширяют диапазон возможностей органов управления и придают необходимую гибкость в достижении целей управления.

В рамках государственной организации общества первичным элементом современных производств и «инструментом природопользования» является *предприятие как юридическое лицо*. Предприятие функционирует как открытая система [30] (рис. 1).

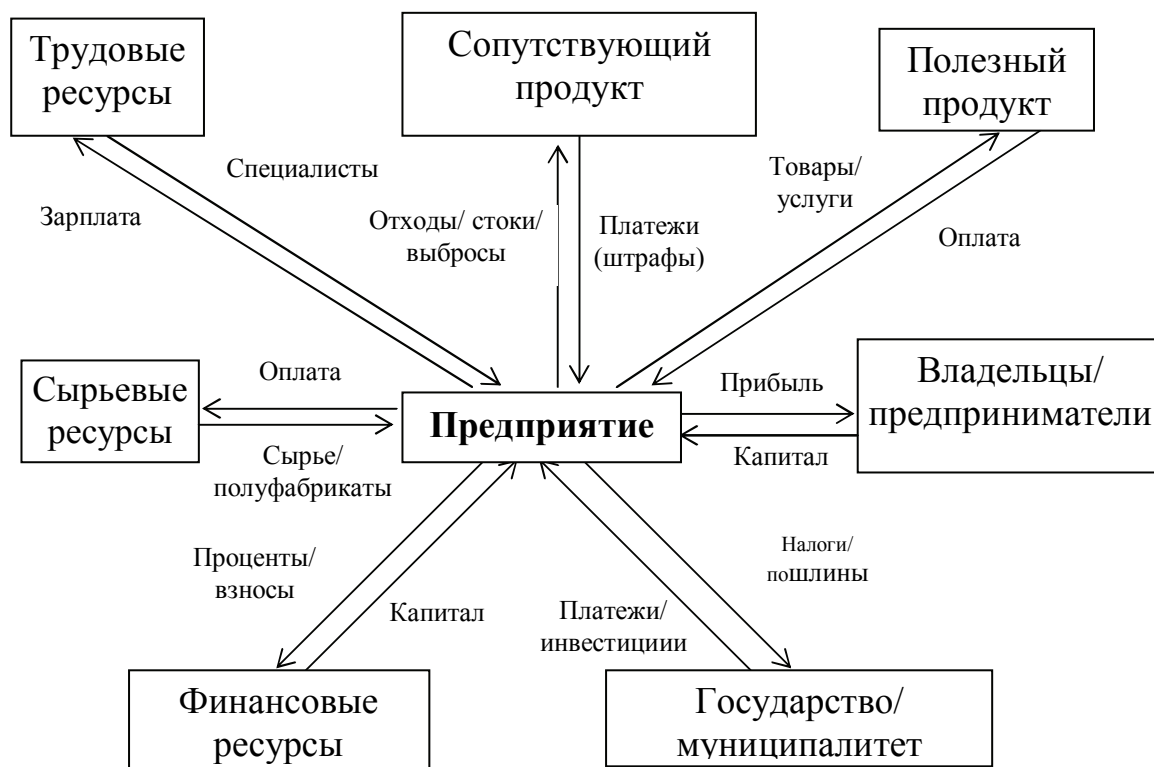


Рис. 1. Предприятие как открытая система [10].

Разработанные и утвержденные в установленном порядке нормативы выступают в качестве стандартов. Единой классификации экологических нормативов (стандартов) в России в настоящее время не существует,

однако в практической экологии общепринятыми являются основные ее признаки [25] (рис. 2).

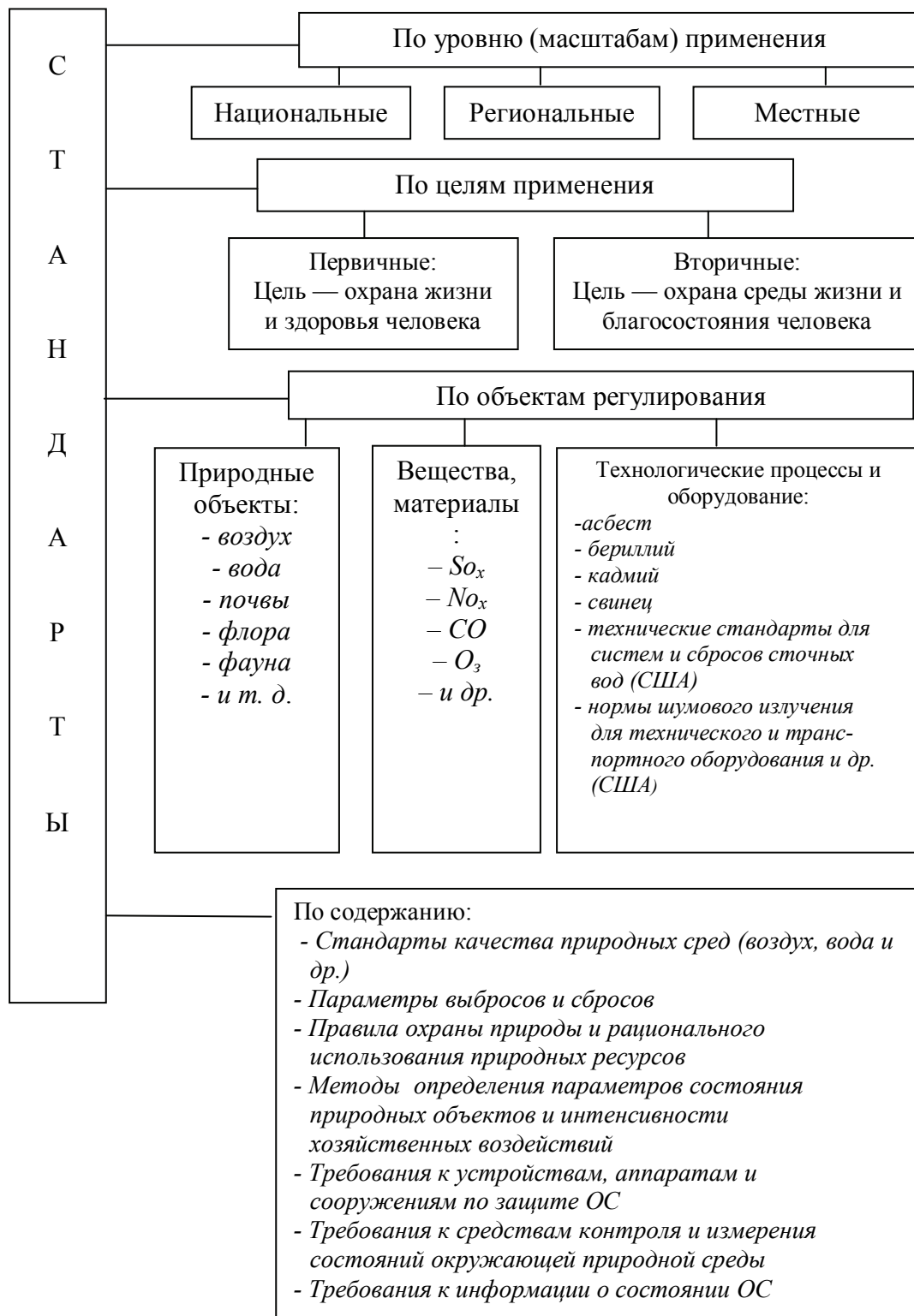


Рис. 2. Классификация стандартов в области экологии [11]

Норматив является завершающей стадией процедуры измерения. Сейчас трудно себе представить какую-либо деятельность человека, в которой не использовались бы измерения. Измерения ведутся в науке, промышленности, сельском хозяйстве, медицине, торговле, военном деле, при охране труда и окружающей среды и т.д.

Измерения на определенном этапе своего развития привели к возникновению *метрологии*, которая в настоящее время определяется как «наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности». Это определение свидетельствует о практической направленности метрологии, которая изучает измерения физических величин, образующие эти измерения элементы и разрабатывает необходимые правила и нормы [15].

Современная метрология включает три составляющие:

- законодательную (правовую) метрологию,
- фундаментальную (научную),
- практическую (прикладную) метрологию, в частности — экологическую метрологию.

Экологическая метрология — это наука об измерениях в экологии и природопользовании. Ее теоретической базой является экология и фундаментальная метрология.

Как учебная дисциплина экологическая метрология выходит за рамки прикладной метрологии по следующим обстоятельствам.

Специалистов-экологов и природопользователей в экологических измерениях интересуют конкретные показатели состояния окружающей среды, классифицированные по основным признакам социо-эколого-экономических систем (см. рис. 2). Эти показатели по своему содержанию нельзя назвать физическими. Методикой их измерений прикладная метрология практически не занимается, и поэтому возникла

необходимость разработки специальных измерений, результаты которых характеризуют природно-антропогенные нарушения в экосистемах.

Особенностью экологической метрологии является то, что в ней термин «измерение» трактуется в *эмерджентном** смысле, так как в практике недостаточно измерять только физические величины.

Принцип эмерджентности лишает смысла отраслевой, однокомпонентный подход к природным явлениям.

В настоящее время выделяют четыре эмерджентных уровня природно-антропогенных нарушений: норма, риск, кризис и бедствие. В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушений экосистем по глубине и необратимости, т.е. по реальным имеющим физическое выражение морфологическим факторам.

Предметом экологической метрологии являются комплексный контроль экологического состояния территории, а также выбор наиболее информативных критериев оценки состояния экосистем и их биотической, медико-демографической и эколого-гигиенической составляющих, при строгом соблюдении требований фундаментальной (научной) метрологии.

В экологической метрологии вместе с развитием фундаментальной и практической ее составляющих происходило становление законодательной экологической метрологии, правовые основы которой в настоящее время только формируются.

Законодательная экологическая метрология — это раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений экологического состояния в природных и антропогенных системах.

**Эмерджентность* – наличие у системного целого особых свойств, не присущих его *подсистемам* и *блокам*, а также сумме элементов, не объединенных системообразующими связями. *Принцип Э.* обязателен при *экологической экспертизе* и *экологическом прогнозировании* (Реймерс, 1990, стр. 608).

Законодательная метрология служит средством государственного регулирования метрологической деятельности посредством законов и законодательных положений, которые вводятся в практику через Государственную метрологическую службу и метрологические службы государственных органов управления. Метрологические правила и нормы законодательной метрологии разрабатываются в соответствии с рекомендациями и документами международных организаций. Тем самым законодательная метрология способствует развитию международных связей и содействует взаимопониманию в международном метрологическом сотрудничестве при определении глобальных задач устойчивого развития в планетарном масштабе.

1. Основы теории измерений.

1.1. Метрология наука об измерениях.

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции.

Велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, для внутренней и внешней торговли, для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей и совершенствования технологии,

для обеспечения безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Большое разнообразие явлений, с которыми приходится сталкиваться, определяет широкий круг величин, подлежащих измерению. Во всех случаях проведения измерений, независимо от измеряемой величины, метода и средства измерений, есть общее, что составляет основу измерений — это сравнение опытным путем данной величины с другой подобной ей, принятой за единицу. При всяком измерении мы с помощью эксперимента оцениваем физическую величину в виде некоторого числа принятых для нее единиц, т.е. находим ее значение.

В настоящее время, установлено следующее определение измерения: *измерение* есть нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Отраслью науки, изучающей измерения, является *метрология*.

Слово "метрология" образовано из двух греческих слов: метрон — мера и логос — учение. Дословный перевод слова "метрология" учение о мерах. Долгое время метрология оставалась в основном описательной наукой о различных мерах и соотношениях между ними. С конца девятнадцатого века благодаря прогрессу физических наук метрология получила существенное развитие. Большую роль в становлении современной метрологии как одной из наук физического цикла сыграл Д.И.Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период 1892 — 1907 гг.

Метрология в ее современном понимании — наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единство измерений — такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных

в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Таким образом, важнейшей задачей метрологии является усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

К основным требованиям экологической метрологии относятся:

- создание общей теории экологических величин и измерений;
- образование единиц экологических величин и систем единиц;
- разработка методов и средств измерений, методов определения точности измерений и единообразия средств измерений (метрологического законодательства);
- создание экологических эталонов и образцовых средств измерений, поверка мер и средств измерений.

1.2. Факторы, влияющие на качество измерений.

Получение отсчета (либо принятие решения) — основная измерительная процедура. Однако во внимание должно приниматься еще множество факторов, учет которых представляет иногда довольно сложную задачу. При подготовке и проведении высокоточных измерений в метрологической практике учитывается влияние:

- объекта измерения;
- субъекта (эксперта, или экспериментатора);
- способа измерения;
- средства измерения;
- условий измерения.

Объект измерения должен быть достаточно изучен. Перед измерением необходимо представить себе модель исследуемого объекта, которая в

дальнейшем, по мере поступления измерительной информации, может изменяться и уточняться. Чем полнее модель соответствует измеряемому объекту или исследуемому явлению, тем точнее измерительный эксперимент.

При проведении измерений в экологии объект измерения — один из самых сложных моментов, потому что представляет собой переплетение многих взаимосвязанных параметров с большими индивидуальными «разбросами» измеряемых величин (на них, в свою очередь, оказывают влияние биологические «внешние» и «внутренние», географические, генетические, психологические, социально-экономические, техногенные и другие факторы).

Эксперт, или экспериментатор, вносит в процесс измерения элемент субъективизма, который по возможности должен быть уменьшен. Он зависит от квалификации измерителя, его психофизиологического состояния, соблюдения эргономических требований при измерениях и многого другого. Все эти факторы заслуживают внимания. К измерениям должны допускаться лица, прошедшие специальную подготовку, имеющие соответствующие знания, умения и практические навыки. В ответственных случаях их действия должны быть строго регламентированы.

Влияние *средства измерений* на измеряемую величину во многих случаях проявляется как возмущающий фактор. Включение электроизмерительных приборов приводит к перераспределению токов и напряжений в электрических цепях и тем самым оказывает влияние на измеряемые величины.

К числу влияющих факторов относятся также *условия измерений*. Сюда входят температура окружающей среды, влажность, атмосферное давление, электрические и магнитные поля, напряжение в сети питания, тряска, вибрация и многое другое.

Общая характеристика влияющих факторов может быть дана под разными углами зрения: внешние и внутренние, случайные и неслучайные, последние — постоянные и меняющиеся во времени и т.д. и т.п. Один из вариантов классификации влияющих факторов приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Классификация влияющих факторов

| № п/п | Факторы | Категория факторов | Влияние Факторов, на результат измерения |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
| 1. 2. 3. 4. | 1. Качество и количество априорной информации 2. Неадекватность модели объекта 3. Несовершенство метода измерений 4. Несовершенство средства измерений | а — априорные | Не влияют на результат измерения |
| 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. | 1. Неправильная установка средств измерений 2. Влияние средства измерений на объект 3. Климатические 4. Электрические и магнитные 5. Механические и акустические 6. Ионизирующие излучения и др. 7. Случайные внешние помехи и внутренние шумы 8. Квалификация и психофизическое состояние персонала | б — в процессе измерения | Влияют на результат измерения |
| 1. 2. 3. | 1. Качество алгоритма обработки данных 2. Несовершенство средств обработки данных 3. Квалификация и психофизическое состояние персонала | в — апостериорные | Не влияют на результат измерения |

Априорные факторы (а) включают в себя:

1. Влияние на результат измерения качества и количества информации об измеряемом объекте. Чем ее больше, чем выше ее качество — тем

точнее результат измерения. *Накопление априорной информации — один из путей повышения точности результатов измерений.*

2. Влияние того очевидного факта, что модель не может в точности соответствовать объекту.

3. Влияние теоретических допущений и упрощений, лежащих в основе метода измерений.

4. Влияние несовершенства измерительного инструмента или прибора, которое может быть как следствием некачественного его изготовления, так и результатом длительной эксплуатации. В процессе эксплуатации происходит старение материалов, возникает износ механизмов и деталей, развиваются люфты, зазоры, случаются скрытые метрологические отказы (выходы метрологических характеристик за пределы установленных для них норм). Понятно, что результат измерения находится в прямой зависимости от этих факторов.

В процессе измерения (б):

1. Неправильная установка и подготовка к работе средств измерений, принцип действия которых в той или иной степени связан с механическим равновесием, приводит к искажению их показаний. К подобным средствам измерений относятся приборы, имеющие в своей конструкции, например, подвижные части. Многие из них для установки в правильное положение снабжаются уровнями (отвесами, ватерпасами).

2. Влияние средства измерений на объект может до неузнаваемости изменить реальную картину. Например, перераспределение токов и напряжений в электрических цепях при подключении электроизмерительных приборов иногда оказывает заметное влияние на результат измерения.

3. Влияние климатических (температура окружающей среды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление), электрических и магнитных (колебания силы электрического тока или напряжения в

электрической сети, частоты переменного электрического тока, постоянные и переменные магнитные поля и др.), механических и акустических (вибрации, ударные нагрузки, сотрясения) факторов, а также ионизирующих излучений, газового состава атмосферы и т.п. принято относить к *условиям измерений*. Такие условия, влиянием которых на результат измерения можно пренебречь, называют *нормальными*.

4. Случайные внешние помехи и внутренние шумы измерительных приборов оказывают непредсказуемое совместное влияние на результат измерения, вследствие чего он имеет стохастическую природу.

5. Квалификация и психофизическое состояние персонала (или оператора), выполняющего измерение (знания, умения и навыки, сосредоточенность, внимательность, уравновешенность, добросовестность, самочувствие, острота зрения и многое другое), имеют большое значение.

После измерения — апостериорные факторы (в):

1. От правильной обработки экспериментальных данных во многом зависит результат измерения.

2. Технические средства, используемые для обработки экспериментальных данных, не дают новой измерительной информации. Они лишь помогают с большим или меньшим успехом извлекать ее из экспериментальных данных и тем самым оказывают влияние на результат измерения.

3. Неграмотные или безответственные действия персонала (оператора) при обработке экспериментальных данных могут свести на нет любые усилия, затраченные на их получение.

Приведенные классификации далеко не исчерпывают всего многообразия факторов, влияющих на результат измерения.

1.3. Погрешности измерений.

Измерение не может быть выполнено абсолютно точно, и результат измерения неизбежно содержит погрешность, величина которой тем меньше, чем точнее метод измерения и измерительный прибор. Так, с помощью обычной линейки с миллиметровыми делениями нельзя измерить длину с точностью до 0,01 мм.

Одна из главных задач метрологии — обеспечение единства измерений может быть решена при соблюдении двух основополагающих условий:

- выражение результатов измерений в единых узаконенных единицах;
- установление допустимых ошибок (погрешностей) результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

Погрешностью называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины. При этом:

- истинное значение физической величины считается неизвестным и применяется в теоретических исследованиях;
- действительное значение физической величины устанавливается экспериментальным путем в предположении, что результат эксперимента (измерения) в максимальной степени приближается к истинному значению.

По причинам возникновения погрешности разделяют на инструментальные, методические и субъективные.

Инструментальная (аппаратурная) погрешность — погрешность средства измерения (составляющая погрешности средства измерения), вызываемая несовершенством средства измерения, его конструктивно-технологическими особенностями, неидеальной реализацией принципа действия и влиянием внешних условий. К инструментальным погрешностям обычно относят также помехи на входе средств измерения, вызываемые его подключением к объекту. Инструментальная погрешность

является одной из наиболее ощутимых составляющих погрешности измерений.

Методическая погрешность — составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством примененного метода измерений и упрощений при построении конструкции средства измерений, в том числе математических зависимостей. Иногда средства измерений влияют на измеряемый объект. Например, в экспериментах в области экологии человека маска для забора выдыхаемого воздуха затрудняет дыхание и человек может демонстрировать заниженную работоспособность по сравнению с той, какую бы он мог демонстрировать без маски. В большинстве случаев эти погрешности «действуют» регулярно, т.е. относятся к систематическим.

Субъективная (личная) погрешность возникает вследствие индивидуальных особенностей (степени внимательности, сосредоточенности, подготовленности) операторов, производящих измерения. Эти погрешности практически отсутствуют при использовании автоматических или автоматизированных средств измерений. В большинстве случаев субъективные погрешности относятся к случайным, но некоторые могут быть и систематическими.

Погрешности измерений приводятся обычно в технической документации на средства измерений или в нормативных документах. Но если учесть, что погрешность зависит еще и от условий, в которых проводится само измерение, от экспериментальной ошибки методики и субъективных факторов человека, в случаях, где он непосредственно участвует в измерениях, то следует говорить о нескольких составляющих погрешности измерения, или о суммарной погрешности.

По условиям проведения измерений различают основные и дополнительные погрешности средств измерений.

Основная погрешность — это погрешность метода измерения или измерительного прибора, которая имеет место в нормальных условиях их применения. Эти условия устанавливаются нормативно-техническими документами на виды средств измерений или отдельные их типы. Выделение основной погрешности, соответствующей некоторым стандартным условиям применения, — один из важных факторов обеспечения единства измерений. Кроме нормальных условий в техническом паспорте (описании) и других документах на тип средства измерения указываются также *рабочие условия*, в пределах которых допускается эксплуатация средства измерения с гарантированными метрологическими характеристиками.

Дополнительная погрешность — погрешность измерительного прибора, вызванная отклонением одной из влияющих величин от нормального значения (или выхода значения влияющей величины за пределы нормальной области значений). Влияющими называются величины, не измеряемые рассматриваемыми средствами измерений, но оказывающие влияние на результаты измерений. Например, прибор, предназначенный для работы при комнатной температуре, будет давать неточные показания, если пользоваться им летом под палящим солнцем или зимой на морозе. Погрешности измерения могут возникать и в тех случаях, когда напряжение электрической сети или батарейного источника питания ниже нормы или непостоянно по величине. К дополнительным погрешностям относится и динамическая погрешность, обусловленная инерционностью измерительного прибора и возникающая в тех случаях, когда измеряемая величина колеблется необычно быстро. Например, некоторые пульсотонометры (приборы для измерения частоты сердечных сокращений — ЧСС) рассчитаны на измерение средних величин ЧСС и не способны улавливать непродолжительные отклонения частоты от среднего уровня.

По форме величины основной и дополнительной погрешностей могут быть представлены как в абсолютных, так и в относительных единицах.

Величина $\Delta A = A - A_0$, равная разности между показанием измерительного прибора (A) и истинным значением измеряемой величины (A_0), называется *абсолютной погрешностью* измерения. Она измеряется в тех же единицах, что и сама измеряемая величина.

На практике часто удобнее пользоваться не абсолютной, а *относительной погрешностью*. Различают относительную погрешность двух видов — действительную и приведенную.

Действительной относительной погрешностью, определяемой по формуле 1.1, называется отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\Delta A_D = (\Delta A / \Delta A_0) \times 100\% \quad (1.1)$$

Приведенная относительная погрешность, определяемая по формуле 1.2 — это отношение абсолютной погрешности к максимально возможному значению измеряемой величины:

$$\Delta A = (\Delta A / \Delta A_M) \times 100\% \quad (1.2)$$

Когда оценивается не погрешность измерения, а погрешность измерительного прибора, за максимальное значение измеряемой величины принимают предельное значение шкалы прибора. В этом случае наибольшее допустимое значение ΔA_D , выраженное в процентах, определяет в нормальных условиях работы *класс точности измерительного прибора*. При этом учитывается только основная погрешность. Так, пульсотонометр класса точности 1,0, рассчитанный на измерение частоты сердечных сокращений в диапазоне до 200 ударов в минуту, может в нормальных условиях работы вносить в измерение погрешность, равную 200 ударов в минуту ($0,01 = 2$ удара в минуту).

Относительная погрешность обычно измеряется в процентах, и она всегда положительна. Абсолютная погрешность может быть и положительной, и отрицательной.

Изменения результатов при повторных измерениях погрешности разделяются по характеру на систематические, случайные и грубые.

Систематической называется погрешность, величина которой не меняется от измерения к измерению, и поэтому она часто может быть предсказана заранее или, в крайнем случае, обнаружена и устранена по окончании процесса измерения.

Способ устранения систематической погрешности зависит, в первую очередь, от ее природы. Систематические погрешности измерения можно разделить на три группы:

- 1) погрешности известного происхождения и известной величины;
- 2) погрешности известного происхождения, но неизвестной величины;
- 3) погрешности неизвестного происхождения и неизвестной величины.

Самые безобидные — погрешности первой группы. Они легко устраняются путем введения соответствующих поправок в результат измерения. Например, при высокоточном определении линейных размеров объекта существенное значение имеет температура воздушной среды. Введение поправки поможет устранить эту погрешность.

Ко второй группе относятся, прежде всего, погрешности, связанные с несовершенством метода измерения и измерительной аппаратуры. Например, погрешности при измерении концентрации пыли в воздухе связаны с учетом атмосферного давления, температуры, влажности и скорости движения воздушной среды, изменение которых не может быть полностью учтено в реальных условиях.

Другой пример систематической погрешности этой группы — погрешность, связанная с несовершенством аппаратуры, когда измерительный прибор заведомо завышает или занижает истинное

значение измеряемой величины, но величина погрешности неизвестна. Если класс точности динамометра для измерения силовых качеств исследуемого составляет 2.0, то его показания правильны с точностью до 2% в пределах шкалы прибора. Но если проводить несколько измерений подряд, то ошибка в первом из них может быть равной 0,3%, во втором — 2%, в третьем — 0,7% и т.д. При этом точно определить ее значения для каждого измерения невозможно.

Погрешности третьей группы наиболее опасны, их появление бывает связано как с несовершенством метода измерения, так и с особенностями объекта измерения. Объектами измерений в области экологии человека являются действия и движения исследуемого человека, его социальные, психологические, биохимические и другие показатели. Измерения такого типа характеризуются определенной вариативностью, и в ее основе может быть множество причин. В качестве примера предположим, что при измерении времени сложной реакции диспетчера аэропорта используется методика, суммарная систематическая погрешность которой по первым трем группам не превышает 1%. Но в серии повторных измерений конкретного диспетчера получаются такие значения времени реакции (ВР): 0,653 с; 0,526 с; 0,755 с и т.д. Различия в результатах измерений обусловлены внутренними свойствами операторов диспетчерской службы: один из них стабилен и реагирует практически одинаково быстро во всех ситуациях, другой — нестабилен. Однако и эта стабильность (или нестабильность) может измениться в зависимости от утомления, эмоционального возбуждения, повышения уровня подготовленности. Систематический контроль над операторами позволяет определить меру их «профессиональной стабильности» и учитывать возможные погрешности измерений.

Среди способов, с помощью которых ведется борьба с систематической погрешностью, следует выделить тарирование, калибровку и рандомизацию.

Тарированием называется проверка показаний измерительных приборов путем сравнения с показаниями образцовых значений мер (эталонов) во всем диапазоне возможных значений измеряемой величины.

Калибровкой называется определение погрешностей или поправка для совокупности мер (например, набора динамометров). И при тарировании, и при калибровке к входу измерительной системы вместо объекта исследования подключается источник эталонного сигнала известной величины. Например, тарируя установку для измерений усилий, на тензометрическую платформу поочередно помещают грузы весом 10, 20, 30 и т.д. килограммов.

Рандомизацией называется превращение систематической погрешности в случайную. Этот прием направлен на устранение неизвестных систематических погрешностей. По методу рандомизации измерение изучаемой величины производится несколько раз. При этом измерение организуется так, чтобы постоянный фактор, влияющий на их результат, действовал в каждом случае по-разному. Так, при исследовании физической работоспособности можно рекомендовать измерять ее многократно, всякий раз меняя способ задания нагрузки. По окончании всех измерений их результаты усредняются по правилам математической статистики.

Случайные погрешности возникают под действием разнообразных факторов, которые ни предсказать заранее, ни точно учесть не удастся. Случайные погрешности принципиально неустранимы. Однако, воспользовавшись методами математической статистики, можно оценить величину случайной погрешности и учесть ее при интерпретации

результатов измерения. Без статистической обработки результаты измерений не могут считаться достоверными.

Грубой называют погрешность измерения, существенно превышающую ожидаемую при заданных условиях. Причиной появления грубой погрешности может быть внезапный скачок напряжения в сети питания прибора, незамеченное нарушение методики выполнения измерений, неверное снятие отсчета или неверная запись результата. Грубые погрешности измерения, приводящие к явно нелепым результатам, легко обнаруживаются, и такие результаты исключают из массива полученных данных. Некоторые из них нельзя уверенно исключить. Поэтому их выявляют статистическими методами, суть которых заключается в том, что грубыми признают те погрешности, вероятность появления которых не превышает некоторой заранее выбранной величины.

1.4. Единство измерений.

Под единством измерений понимается такое их состояние, при котором обеспечивается достоверность измерений, а значения измеряемых величин выражаются в узаконенных единицах.

В 1993 г. принят Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». До этого правовые нормы устанавливались постановлениями Правительства. По сравнению с положениями этих постановлений Закон установил ряд нововведений — от терминологии до лицензирования метрологической деятельности в стране. Четко разделены функции государственного метрологического контроля и надзора, пересмотрены правила калибровки, введена добровольная сертификация средств измерений и др.

Метрология относится к такой сфере деятельности, в которой основные положения обязательно должны быть закреплены именно законом, принимаемым высшим законодательным органом страны. Юридические нормы, непосредственно направленные на защиту прав и интересов

потребителей, в правовом государстве регулируются стабильными законодательными актами, и поэтому положения по метрологии, действовавшие до введения Закона «Об обеспечении единства измерений», применяются лишь в части, не противоречащей ему.

Основные статьи Закона устанавливают:

- организационную структуру государственного управления обеспечением единства измерений;
- нормативные документы по обеспечению единства измерений;
- единицы величин и государственные эталоны единиц величин;
- средства и методики измерений.

Современный этап развития экономики России вызывает трудности в реализации некоторых положений Закона (например, касающихся поверки и аккредитации соответствующих служб на право поверки, а также утверждения типа средств измерений), в связи с чем требуются дальнейшее совершенствование, актуализация, конкретизация законодательных положений. Но вместе с тем, по крайней мере, три причины требовали законодательного закрепления российской системы измерений:

- использование неверных приборов или методик выполнения измерений ведет к нарушению технологических процессов, потерям энергетических ресурсов, аварийным ситуациям, браку и др.;

- значительные затраты на получение достоверных результатов измерений. В странах с развитой экономикой на измерения расходуется почти 6% ВВП. Например, в спорте трудоемкость измерительных процедур по оценке стоимости элементарных измерительных действий, выполненных вручную и выраженных во времени (в часах), составляет около 25% общей трудоемкости научно-исследовательской деятельности;

- децентрализация управления экономикой вызывает необходимость структурных изменений в метрологии.

Закон «Об обеспечении единства измерений» укрепляет правовую базу для международного сотрудничества в области метрологии. В основу определений положена официальная терминология Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ). Во исполнение принятого Закона Правительство РФ в 1994 г. утвердило ряд документов: «Положение о государственных научно-метрологических центрах», «Порядок утверждения положений о метрологических службах федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц», «Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений», «Положение о метрологическом обеспечении обороны в Российской Федерации».

Эти документы вместе с указанным Законом составляют *законодательную метрологию*, которая является *правовой основой* обеспечения единства измерений.

Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» предусмотрена юридическая ответственность нарушителей метрологических правил и норм.

Технической базой обеспечения единства измерений является система воспроизведения определенных размеров физических величин и передачи информации о них всем без исключения средствам измерений в стране.

Главная измерительная процедура сводится к сравнению неизвестного размера с известным, в качестве которого выступает размер соответствующей единицы средств измерений. Информация об этих единицах и их размерах содержится в нормативно-технических документах. Чем ближе используемый для сравнения размер единицы к ее определению, тем точнее в этих единицах будет выражено значение измеряемой физической величины. Этим объясняются высокие требования к точности воспроизведения единиц, удовлетворение которых составляет одно из важнейших направлений постоянных метрологических работ.

Размеры единиц могут воспроизводиться там же, где выполняются измерения, либо информация о них должна передаваться с места их централизованного хранения или воспроизведения. В зависимости от этого различают *децентрализованное* и *централизованное воспроизведение единиц*.

2. Основной постулат метрологии.

Измерением называют совокупность операций, выполняемых с помощью технических средств, хранящих единицу величины и позволяющих сопоставить с нею измеряемую величину.

Широкое распространение получило определение: «Измерение — познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с известной величиной, принятой за единицу сравнения».

Сравнение неизвестного размера с известным и выражение первого через второй в кратном или дольном отношении человеку приходится делать в жизни бесчисленное количество раз. Сравнивая в уме высоту людей с представлением о единице длины в Международной системе, мы измеряем их рост на глаз с точностью до нескольких сантиметров. Нетрудно определить, с какой, примерно, скоростью движется автомобиль. Результаты таких измерений в значительной мере зависят от квалификации тех, кто их выполняет. В этом случае информация о размерах тех или иных физических величин, доставляемая с помощью органов чувств, сравнивается с представлением о соответствующих единицах, и неизвестные размеры выражаются через эти единицы в кратном или дольном отношении, т.е. выполняется измерение по шкале отношений.

Измерения, основанные на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса), называются *органолептическими*.

Природа в разной степени наделила людей способностями к органолептическим измерениям по шкале отношений. Частоту звуковых колебаний, например, могут определить лишь те немногие, кто обладает абсолютным слухом. Большинство же воспринимает разность звуковых частот в тонах и полутонах, т.е. способно к измерению частоты звука только по шкале интервалов. Измерения по шкале интервалов, будучи менее совершенными, чем по шкале отношений, могут выполняться и без участия органов чувств. Измерение времени или гравитации может основываться на *ощущениях*. Еще менее совершенные измерения по шкале порядка строятся на *впечатлениях*. К ним относятся конкурсы мастеров искусств (скульпторов, художников, поэтов, композиторов), соревнования спортсменов по фигурному катанию на коньках и т.п. Измерения, основанные на интуиции, называются *эвристическими*. При всех таких измерениях кроме ранжирования (расстановки измеряемых величин в порядке убывания или возрастания их размеров) широко применяется *способ попарного сопоставления*, когда измеряемые величины сначала сравниваются между собой попарно и для каждой пары результат сравнения выражается в форме «больше — меньше» или «лучше — хуже». Затем ранжирование производится на основании результатов попарного сопоставления.

Иногда попарное сопоставление проводят более тщательно, учитывая равноценность.

Особое место в измерениях по шкале порядка занимает сравнение с размером, равным нулю. Такое измерение называется *обнаружением*, а результатом измерения является решение о том, отлично от нуля значение измеряемой величины или нет.

Измерения, выполняемые с помощью специальных технических средств, называются *инструментальными*. Инструментальные измерения могут быть автоматизированные и автоматические.

При *автоматизированных* измерениях роль человека полностью не исключена. Он, например, может вести их регистрацию в журнале данных с отсчетного устройства измерительного прибора.

На качество этих операций влияет настроение человека, степень его сосредоточенности, серьезности, мера ответственности за порученное дело, уровень профессиональной подготовки, т.е. элемент субъективизма при автоматизированных измерениях остается.

Автоматические измерения выполняются без участия человека. Результат их представляется в форме документа и является совершенно объективным.

По способу получения числового значения измеряемой величины все измерения делят на четыре основных вида: *прямые, косвенные, совокупные и совместные*.

Прямые измерения — это измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственным сравнением физической величины с ее мерой. Например, при определении длины предмета линейкой. К прямым измерениям можно отнести и измерение температуры термометром, электрического напряжения — вольтметром и т.д. Прямые измерения — основа более сложных видов измерений.

Косвенные измерения отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливают по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью. Так, используя известную функциональную взаимосвязь, можно рассчитать электрическое сопротивление по результатам измерений падения напряжения и силы тока. Значения некоторых величин легче и проще находить путем косвенных измерений, так как прямые измерения иногда практически невозможно осуществить. Например, плотность твердого тела обычно определяют по результатам измерений объема и массы.

Совокупными измерениями называют такие, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Результаты совокупных измерений находят путем решения системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений.

Совместные измерения — это одновременные измерения (прямые или косвенные) двух или более неоднородных физических величин для определения функциональной зависимости между ними. Например, определение зависимости длины тела от температуры.

По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений различают *статистические, динамические и статические измерения*.

Статистические измерения связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т.д.

Динамические измерения связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения.

Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

По количеству измерительной информации измерения бывают *однократные* и *многократные*.

Однократное измерение — это одно измерение одной величины, т.е. число измерений равно числу измеряемых величин. Так как однократные измерения всегда сопряжены с погрешностями, следует проводить не менее трех однократных измерений и конечный результат находить как среднее арифметическое значение.

Многократные измерения характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин. Обычно минимальное число измерений больше трех. Преимущество многократных измерений — в

значительном снижении влияний случайных факторов на погрешность измерения.

По отношению к основным единицам измерения делят на *абсолютные* и *относительные*. Абсолютными измерениями называют такие, при которых используются прямое измерение одной (иногда нескольких) основной величины и физическая константа. Так, в известной формуле Эйнштейна $E = m \cdot c^2$, где масса (m) — основная физическая величина, которая может быть измерена прямым путем (взвешиванием), а скорость света (c) — физическая константа.

Относительные измерения базируются на установлении отношения измеряемой величины с однородной, применяемой в качестве единицы. Понятно, что искомое значение зависит от используемой единицы измерения.

В метрологической практике основой для измерения физической величины служит *шкала измерений* — упорядоченная совокупность значений физической величины (табл. 2.1).

Количественной характеристикой измеряемой величины служит ее *размер*. Получение информации о размере физической или нефизической величины является *содержанием любого измерения*.

Простейший способ получения такой информации, позволяющий составить некоторое представление о размере измеряемой величины, состоит в сравнении его с другим по принципу «что больше (меньше)?» или «что лучше (хуже)?».

Подробной информации о том, на сколько больше (меньше) или во сколько раз лучше (хуже), иногда даже не требуется. Подобным образом решаются многие задачи выбора: кто сильнее? что нагляднее? как проще? и т.п.

При этом число сравниваемых между собой размеров может быть достаточно большим. Расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемых величин образуют *шкалу порядка*.

Таблица 2.1.

Характеристики и примеры шкал измерений

| Шкала | Характеристики | Математические методы | Примеры |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Наименований | Объекты сгруппированы, а группы обозначены номерами. То, что номер одной группы больше или меньше другой, еще ничего не говорит об их свойствах, за исключением того, что они различаются | Число случаев. Мода. Тетрахорические и полихорические коэффициенты корреляции | Номер спортсмена, амплуа и т.д. |
| Порядка | Числа, присвоенные объектам, отражают количество свойства, принадлежащего им. Возможно установление соотношения «больше» или «меньше». | Медиана. Ранговая корреляция. Ранговые критерий-Проверка гипотез непараметрической статистикой. | Результаты ранжирования спортсменов в тесте. |
| Интервалов | Существует единица измерений, при помощи которой объекты можно не только упорядочить, но и приписать им числа так, чтобы равные разности отражали разные различия в количестве измеряемого свойства. Нулевая точка произвольна и не указывает на отсутствие свойства. | Все методы статистики, кроме определения отношений. | Температура тела, суставные углы и т.д. |
| Отношений | Числа, присвоенные предметам, обладают всеми свойствами интервальной шкалы. На шкале существует абсолютный нуль, который указывает на полное отсутствие данного свойства у объекта. Отношение чисел, присвоенных объектам после измерений, отражает количественные отношения измеряемого свойства | Все методы статистики | Длина и масса тела, сила движений, ускорение и т.п. |

Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве *опорных (реперных)*. Знания, например, измеряют по реперной шкале порядка, имеющей следующий вид: неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично.

Точками реперной шкалы могут быть цифры, называемые *баллами*. Например, интенсивность землетрясений измеряется по двенадцатибалльной международной сейсмической шкале MSK-64 (табл. 2.2), сила ветра — по шкале Бофорта (табл. 2.3).

Таблица 2.2.

Международная сейсмическая шкала MSK для измерения силы землетрясений

| Сила землетрясения, баллы | Название | Признаки |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Незаметное | Отмечается только сейсмическими приборами |
| 2 | Очень слабое | Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии покоя |
| 3 | Слабое | Ощущается лишь небольшой частью населения |
| 4 | Умеренное | Распознается по мелкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды, оконных стекол, |
| 5 | Сильное | Ощущается всеми. Картины падают со стен, откалываются куски штукатурки, легкое повреждение зданий |
| 6 | Очень сильное | Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимыми |
| 7 | Разрушительное | Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются |
| 8 | Опустошительное | Сильное повреждение и разрушение каменных домов |
| 9 | Уничтожающее | Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек, искривление железнодорожных рельсов |
| 10 | Катастрофа | Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются |
| 11 | Сильная катастрофа | Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные обвалы, оползни, трещины. Возникновение водопадов, подпруд на озерах. Отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает клеваний почвы. |

Особенно широкое распространение реперные шкалы получили в гуманитарных науках, спорте, искусстве и других областях, где измерения еще не достигли высокого совершенства. В спорте шкала порядка чаще всего используется в художественной гимнастике, фигурном катании, единоборствах и т.п. Так, в художественной гимнастике артистизм спортсменок устанавливается в виде рангов: ранг победителя — 1, второе место — 2 и т.д.

Таблица 2.3.

Шкала Бофорта для измерения силы ветра

| Сила ветра, баллы | Название | Признаки |
|-------------------|----------------|----------------------------------|
| 0 | Штиль | Дым идет вертикально |
| 1 | Тихий | Дым идет слегка наклонно |
| 2 | Легкий | Ощущается лицом, шелестят листья |
| 3 | Слабый | Развеваются флаги |
| 4 | Умеренный | Поднимается пыль |
| 5 | Свежий | Вызывает волны на воде |
| 6 | Сильный | Свистит в вантах, гудят провода |
| 7 | Крепкий | На волнах образуется пена |
| 8 | Очень крепкий | Трудно идти против ветра |
| 9 | Шторм | Срывает черепицу |
| 10 | Сильный шторм | Вырывает деревья с корнем |
| 11 | Жестокий шторм | Большие разрушения |
| 12 | Ураган | Опустошительное действие |

Недостаток реперных шкал — неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, вычитать, перемножать, делить и т.д. Более совершенными в этом отношении являются шкалы, составленные из строго определенных интервалов. Общепринято, например, измерение времени по шкале, разбитой на интервалы, равные периоду обращения Земли вокруг Солнца (летоисчисление). Эти интервалы (годы) делятся на более мелкие (сутки), равные периоду обращения Земли вокруг своей оси. Сутки, в свою очередь, делятся на часы, часы — на минуты, минуты — на секунды. Такая шкала называется *шкалой интервалов (разностей)*. По шкале интервалов

можно уже судить не только о том, что один размер больше другого, но и о том, на сколько больше, т.е. на шкале интервалов определены такие математические действия, как сложение и вычитание. Данные шкалы интервалов дают ответ на вопрос «на сколько больше?», но не позволяют утверждать, что одно значение измеренной величины во столько-то раз больше или меньше другого. Например, если температура повысилась с 10 до 20°C, то нельзя сказать, что стало в два раза теплее; если в соревнованиях по художественной гимнастике при определении артистичности между второй и четвертой спортсменками — два ранга, то это вовсе не означает, что вторая вдвое артистичнее четвертой. Это объясняется тем, что на шкале интервалов известен масштаб, а начало отсчета может быть выбрано произвольно.

Если в качестве одной из двух реперных точек выбрать такую, в которой размер не принимается равным нулю (что приводит к появлению отрицательных значений), а равен нулю на самом деле, то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение размера и определять не только, на сколько один размер больше или меньше другого, но и во сколько раз он больше или меньше. Эта шкала называется *шкалой отношений*.

Шкала отношений является наиболее совершенной из всех рассматриваемых шкал. Но, к сожалению, построение шкалы отношений возможно не всегда. Время, например, может измеряться только по шкале интервалов. В спорте по шкале отношений измеряют расстояние, силу, скорость и десятки других переменных.

В зависимости от того, на какие интервалы разбита шкала, один и тот же размер представляется по-разному. Например, 0,001 км; 1 м; 100 см; 1000 мм — четыре варианта представления одного и того же размера. Их называют значениями измеряемой величины. Таким образом, значение измеряемой величины — это выражение ее размера в определенных

единицах измерения. Входящее в него отвлеченное число называется *числовым значением*. Оно показывает, на сколько единиц измеряемый размер больше нуля или во сколько раз он больше единицы (измерения).

Самой простой из всех шкал является *шкала наименований, или номинальная шкала* (от латинского слова «номе» — имя). В этой шкале нет отношений типа «больше — меньше». Здесь речь идет о группировке объектов, идентичных по определенному признаку, и о присвоении им обозначений в виде цифр, которые служат для обнаружения и различения изучаемых объектов (например, нумерация игроков в командах). При использовании шкалы наименований могут проводиться только некоторые математические операции. Например, можно подсчитывать, сколько раз (как часто) встречается то или иное число.

Любое измерение по шкале отношений предполагает сравнение неизвестного размера с известным и выражение первого через второй в кратном или дольном отношении. В математическом выражении процедура сравнения неизвестного значения с известным и выражения первого через второе в кратном/или дольном отношении запишется так (формула 2.1)

$$\frac{Q}{|Q|} \quad (2.1)$$

На практике не всегда неизвестный размер может быть представлен для сравнения с единицей. Жидкости и сыпучие вещества, например, предъявляются на взвешивание в таре. Другой пример, когда очень маленькие линейные размеры могут быть измерены только после увеличения их микроскопом или другим прибором.

В первом случае процедуру измерения можно выразить отношением по формуле 2.2,

$$\frac{Q + \nu}{|Q|} \quad (2.2),$$

Во втором по формуле 2.3,

$$\frac{nQ}{|Q|} \quad (2.3)$$

где ν — масса тары, а n — коэффициент увеличения.

Само сравнение, в свою очередь, происходит под влиянием множества случайных и неслучайных, аддитивных (от лат. *aditivas* — прибавляемый) и мультипликативных (от лат. *multiplifico* — умножаю) факторов, точный учет которых невозможен, а результат совместного воздействия непредсказуем. Если мы ограничимся для простоты рассмотрения только аддитивными воздействиями, совместное влияние которых можно учесть случайным слагаемым η , то получим следующее уравнение измерения по шкале отношений по формуле 2.4.

$$\frac{Q+\nu}{|Q|} + \eta = X. \quad (2.4)$$

Это уравнение выражает действие, т.е. процедуру сравнения в реальных условиях, которая и является измерением. Отличительная особенность такой измерительной процедуры — то, что при ее повторении из-за случайного характера отсчет по шкале отношений X получается каждый раз разным. Это фундаментальное положение — закон природы. На основании громадного опыта практических измерений сформулировано следующее утверждение, называемое *основным постулатом метрологии*: *отсчет является случайным числом*. На этом постулате основана вся метрология.

Полученное уравнение является математической моделью измерения по шкале отношений.

Аксиомы метрологии.

Первая аксиома: без априорной информации измерение невозможно. Эта аксиома метрологии относится к ситуации перед измерением и

говорит о том, что если об интересующем нас свойстве мы ничего не знаем, то ничего и не узнаем. Вместе с тем, если о нем известно все, то измерение не нужно. Таким образом, измерение обусловлено дефицитом количественной информации о том или ином свойстве объекта или явления и направлено на его уменьшение.

Вторая аксиома: измерение есть не что иное, как сравнение. Эта аксиома относится к процедуре измерения и говорит о том, что нет иного экспериментального способа получения информации о каких бы то ни было размерах, кроме как путем сравнения их между собой. Народная мудрость, говорящая о том, что «все познается в сравнении», перекликается здесь с трактовкой измерения Л. Эйлером, данной свыше 200 лет назад:

«Невозможно определить или измерить одну величину иначе как приняв в качестве известной другую величину этого же рода и указав соотношение, в котором она находится с ней».

Третья аксиома: результат измерения без округления является случайным. Эта аксиома относится к ситуации после измерения и отражает тот факт, что на результат реальной измерительной процедуры всегда оказывают влияние множество разнообразных, в том числе случайных, факторов, точный учет которых в принципе невозможен, а окончательный итог непредсказуем. Вследствие этого, как показывает практика, при повторных измерениях одного и того же постоянного размера либо при одновременном измерении его разными лицами, разными методами и средствами получаются неодинаковые результаты, если только не производить их округления (огрубления). Это отдельные значения случайного по своей природе результата измерения.

3. Эталоны, их классификация и виды.

3.1. Эталоны и меры.

Централизованное воспроизведение единиц осуществляется с помощью специальных технических средств, называемых *эталонами*. *Эталон* — это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений, выполненная по особой спецификации и официально утвержденная в установленном порядке в качестве эталона. От эталона единица величины передается *разрядным эталонам*, а от них — *рабочим средствам измерений*. Эталоны классифицируют на *первичные, вторичные и рабочие*.

Первичный эталон — это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть *национальным (государственным) и международным*. Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий в этих условиях первичный эталон, называется *специальным*. Официально утвержденные в качестве исходных для страны первичный или специальный эталоны называются *государственными*. Национальный эталон утверждается в качестве исходного средства измерения для страны национальным органом по метрологии. В России национальные (государственные) эталоны утверждает Госстандарт РФ.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами. Сличению подлежат эталоны как основных величин системы СИ, так и производных. Установлены определенные

периоды сличения. Так, эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны — один раз в 3 года.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер единицы, воспроизводимой вторичным эталоном, сличается с государственным эталоном. *Вторичные эталоны* (их иногда называют «эталон-копии») могут утверждаться либо Госстандартом РФ, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с особенностями их использования. *Рабочие эталоны* воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений.

Самыми первыми официально утвержденными эталонами были прототипы метра и килограмма, изготовленные во Франции, которые в 1799 г. были переданы на хранение в Национальный архив Франции, поэтому их стали называть «метр Архива» и «килограмм Архива». Каждый эталон основной или производной единицы Международной системы СИ имеет свою интересную историю и связан с тонкими научными исследованиями и экспериментами.

Для практического измерения единицы величины применяются технические средства, которые имеют нормированные погрешности и называются *средствами измерений*. К средствам измерений относятся: меры, датчики информации (индикаторы), измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и системы, измерительные принадлежности.

Мерой называется средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. К данному виду средств измерений относятся гири, концевые меры длины и т.п. На практике используют однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер.

Однозначные меры воспроизводят величины только одного размера (гиря). *Многозначные меры* воспроизводят несколько размеров физической величины. Например, миллиметровая линейка дает возможность выразить длину предмета в сантиметрах и в миллиметрах.

Наборы и магазины представляют собой объединение (сочетание) однозначных или многозначных мер для получения возможности воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных значений величины. *Набор мер* представляет собой комплект однородных мер разного размера, что дает возможность применять их в нужных сочетаниях (набор лабораторных гирь). *Магазин мер* — сочетание мер, конструктивно объединенных в одно механическое целое, в котором предусмотрена возможность посредством ручных или автоматизированных переключателей, связанных с отсчетным устройством, соединять составляющие магазин меры в нужном сочетании (магазин электрических сопротивлений). Измерения методом сравнения с мерой выполняют с помощью специальных технических устройств — *компараторов*. Компараторами служат равноплечие весы, измерительный мост и т.д. Иногда в качестве компаратора выступает человек.

К однозначным мерам относят стандартные образцы и стандартные вещества. *Стандартный образец* — это должным образом оформленная проба вещества (материала), которая подвергается метрологической аттестации с целью установления количественного значения определенной характеристики. Эта характеристика (или свойство) является величиной с известным значением при установленных условиях внешней среды.

При пользовании мерами следует учитывать номинальное и действительное значения мер, а также погрешность меры и ее разряд.

Номинальным называют значение меры, указанное на ней.

Действительное значение меры должно быть указано в специальном свидетельстве как результат высокоточного измерения с использованием официального эталона.

Разность между номинальным и действительным значениями называется *погрешностью меры*. Величина, противоположная по знаку погрешности, представляет собой поправку к указанному на мере номинальному значению. Так как при аттестации (поверке) также могут быть погрешности, меры подразделяют на разряды (1-й, 2-й и т.д.) и называют *разрядными эталонами* (образцовые измерительные средства), которые используют для поверки измерительных средств.

3.2. Измерительные преобразователи.

Так как измеряются свойства, в качественном отношении общие для многих объектов или явлений, эти свойства без участия органов чувств человека должны быть каким-то образом обнаружены, в чем-то должны проявиться. Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств, называются *индикаторами*. Стрелка магнитного компаса, например, — индикатор напряженности магнитного поля; осветительная электрическая лампочка — индикатор электрического напряжения в сети; лакмусовая бумага — индикатор активности ионов водорода в растворах.

Основное назначение датчиков — восприятие физических величин, характеризующих измеряемые явления (движений спортсмена). Это средство измерений служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство. Датчики, воспринимающие информацию, либо входят в конструктивную схему измерительного прибора, либо применяются совместно с ним, но сигнал преобразователя не поддается непосредственному восприятию наблюдателем.

Преобразуемую величину называют входной, а результат преобразования — выходной величиной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считается соотношение между входной и выходной величинами, называемое *функцией преобразования*.

Преобразователи подразделяются на *первичные* (непосредственно воспринимающие измеряемую величину), *передающие*, на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние, *промежуточные*, работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение физической величины.

Так как индикаторы должны обнаруживать проявление свойств окружающего мира, их важнейшей технической характеристикой служит *порог обнаружения* (иногда его называют *порогом чувствительности*). Чем меньше порог обнаружения, тем более слабое проявление свойства регистрируется индикатором. Современные индикаторы обладают очень низкими порогами обнаружения, лежащими на уровне фоновых помех и собственных шумов аппаратуры.

Индикаторы служат средствами измерений по шкале порядка. Для измерения по шкале отношений необходимо сравнить неизвестный размер с известным и выразить первый через второй в кратном или дольном отношении.

Если же физической величины известного размера в наличии нет, то сравнивается реакция (отклик) прибора на воздействие измеряемой величины с проявившейся ранее реакцией на воздействие той же величины, но известного размера. Так, силу электрического тока измеряют амперметром, электрическое напряжение — вольтметром, скорость — спидометром и т.д. При этом предполагается, что соотношение между откликами такое же, как и между сравниваемыми размерами. Для облегчения сравнения отклик на известное воздействие еще на стадии изготовления прибора фиксируют на шкале отсчетного устройства, после

чего шкалу разбивают на деления в кратном и дольном отношении. Эта процедура называется *градуировкой шкалы*. При измерениях она позволяет по положению указателя получать результат сравнения непосредственно на шкале отношений.

Информацию, воспринятую датчиками, необходимо преобразовать в величину, пригодную для последующего анализа. Делается это по следующим причинам:

- слишком разнообразны входные (измеряемые) величины;
- не для всякой из них есть шкала мер;
- значительны трудности передачи измерений величины в ее исходном виде.

Преобразование осуществляется с помощью устройств, на выходе которых формируется сигнал, удобный для последующего анализа. Например, изменение длины проводника, вызванное воздействием силы, преобразуется в электрическое напряжение. В процессе преобразования измерительной информации происходит и усиление сигнала, воспринятого датчиком. Измерительные преобразователи получили очень широкое распространение. К ним относятся термопары, измерительные усилители, преобразователи давления и многие другие.

3.3. Измерительные приборы, установки и системы.

Измерительные приборы — это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем. Они представляют собой совокупность преобразовательных элементов, образующих измерительную цепь, и *отсчетного устройства*. В отличие от вещественной меры прибор не воспроизводит известного значения физической величины. Измеряемая величина должна подводиться к нему и воздействовать на его первичный

преобразователь. Различают приборы прямого действия и приборы сравнения.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. К таким приборам относят амперметры, вольтметры, термометры и т.п.

Приборы сравнения предназначаются для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Приборы этой категории используются в научных целях и в практике, например для измерения яркости источников излучения, давления сжатого воздуха и т.д.

Измерительные установки состоят из функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, собранных в одном месте. В *измерительных системах* эти средства и устройства территориально разобщены и соединены каналами связи. Обычно такие системы автоматизированы и обеспечивают ввод информации в систему, автоматизацию самого процесса измерения, обработку и отображение результатов измерений для восприятия их пользователем.

Вспомогательные средства измерений величин, называемые *измерительными принадлежностями*, необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности. Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре, психрометр — если строго оговаривается влажность окружающей среды.

По метрологическому назначению *выделяют рабочие средства* измерений, которые применяют для определения параметров (характеристик) технологических процессов, окружающей среды, параметров тренировочной деятельности спортсменов и др. Рабочие средства могут быть *лабораторными* (для научных исследований они

самые точные и чувствительные), *производственными* (для обеспечения и контроля заданных характеристик технологических процессов, обладают устойчивостью к воздействиям различных факторов производственного процесса: температуры, влажности, вибрации и т.п.), *полевыми* (для самолетов, автомобилей, судов; работают в условиях, постоянно изменяющихся в широких пределах внешних воздействий).

3.4. Передача и представление измерительной информации.

Передача результатов измерения в области физической культуры и спорта осуществляется двумя способами:

— с помощью проводной связи между объектом измерения и исследовательской аппаратурой;

— путем беспроводной связи (с помощью радиоволн).

Проводная телеметрия чаще используется при лабораторных исследованиях. Она соединяет блок преобразования и предварительной обработки информации с блоком ее отображения. Проводная телеметрия отличается высокой помехоустойчивостью, но в то же время провода, идущие от исследуемого объекта, мешают его действиям.

Радиотелеметрия лишена этого недостатка и позволяет осуществлять контроль за состоянием объекта в реальных динамических условиях. На человеке или животном крепятся датчики, усилители и преобразователи информации, радиопередатчик и антенна. Все это выполняется в очень компактном варианте, и исследуемый объект получает возможность свободно перемещаться.

Аналоговая форма представления результатов измерений осуществляется приборами, называемыми самописцами. С их помощью получают наглядные диаграммные записи, которые позволяют анализировать динамику регистрируемого процесса.

Другая форма представления измерительной информации — с помощью *цифровых приборов*. Результаты измерений в этом случае высвечиваются на разных цифровых табло. Цифровая индикация может быть следующих типов:

- механические приборы цифровой индикации;
- оптические цифровые приборы;
- электронные цифровые приборы.

В электронных цифровых приборах используются светодиоды или жидкие кристаллы. Они наиболее популярны в сфере экологических исследований.

При использовании электронно-вычислительной техники результаты измерений могут:

- показываться (в виде графика или цифр) на экране дисплея;
- печататься на бланке;
- записываться на магнитные диски для хранения.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства средств измерений определяют качество получаемой измерительной информации?
2. Что называют метрологическими характеристиками средств измерений?
3. Что является характеристиками погрешностей средств измерений?
4. Что называется классом точности средства измерений?
5. Где обозначаются классы точности средств измерений?
6. Каковы задачи государственного метрологического контроля (ГМК)?

Темы докладов и рефератов

1. Свойства средств измерений определяющие качество получаемой измерительной информации.
2. Метрологические характеристики средств измерений.

3. Характеристики погрешностей средств измерений.

4. Классы точности средств измерений.

4. Предмет и задачи экологической метрологии.

Международное сообщество проявляет все большую заинтересованность в охране окружающей среды, обеспечении устойчивости развития стран и регионов, защите интересов будущих поколений.

Промышленно развитые страны прежде других ощутили приближение экологического кризиса. Еще в 1970-х г.г. они предприняли природоохранные меры законодательного и нормативного характера, выработали и в последующем реализовали определенную стратегию управления окружающей средой, другими словами, применили экологически ориентированные методы управления.

Развитие этих работ потребовало создания стандартов, определяющих единую методологию их проведения. В 1992 г. появился первый национальный стандарт в этой области — британский стандарт BS 7750 "Системы экологического управления".

Международная организация по стандартизации (ИСО), наряду с продолжением разработки стандартов на методы контроля компонентов окружающей среды (воздух, вода, почва), приступила к разработке комплекса международных стандартов на системы экологического управления — стандарты ИСО серии 14000.

В настоящее время приняты первые международные стандарты из указанной серии. Они определили методы создания и обеспечения функционирования систем экологического управления на предприятиях, требования к таким системам, установили требования к экологическому аудиту и др.

Системы экологического управления, являясь составной частью общей системы административного управления предприятий, имеют много общего с системами управления качеством продукции. Это определяет значительное сходство методологий управления качеством продукции и качеством окружающей среды, что отражается и в определенной общности стандартов ИСО серии 14000 и серии 9000. Различие указанных систем между собой заключается, в частности, в том, что в качестве окружающей среды заинтересована вся общественность, а в качестве продукции заинтересован, прежде всего, потребитель.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) также ведет активную работу в области учета экологических аспектов на всех стадиях жизни продукции электротехники и электроники. Свидетельством этому является Руководство МЭК 109 "Аспекты охраны окружающей среды, их учет в стандартах на продукцию электротехники".

Сегодня активно приступили к внедрению экологических требований ИСО и МЭК страны Европейского Союза, США и Япония.

Вхождение России в сообщество промышленно развитых стран с рыночной экономикой требует соблюдения единых норм и правил, в том числе в области применения экологически ориентированных методов управления. В 1998 г. были приняты Государственные стандарты Российской Федерации из серии ИСО 14000, в частности ГОСТ Р ИСО 14001-98 "Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению" и ГОСТ Р ИСО 14004-98 "Системы управления окружающей средой. Общие руководящие указания по принципам, системам и средствам обеспечения функционирования". 10 января 2002 года вступил в силу Закон РФ «Об охране окружающей среды», а 27 декабря 2002 г. — Закон РФ «О техническом регулировании».

Используемые в системах управления качеством методы входного контроля сырья и материалов, поступающих на предприятие,

непосредственно применимы для составления производственного экологического баланса в системе управления охраной окружающей среды при учете материальных потоков и контроле продукции на “входе — выходе”. Общими являются также методы операционного контроля, контроля оборудования, контроля над приборами и т.п., а также их техническое, метрологическое, организационное, кадровое и иное обеспечение. Поэтому вполне закономерным выступает и значительное сходство поэлементной структуры систем управления качеством и управления охраной окружающей среды, предусмотренной международными стандартами ИСО серии 9000 и ИСО серии 14000.

Однако есть и существенная разница в осуществлении контроля за качеством в системах международных стандартов ИСО серии 9000 и ИСО серии 14000.

Контроль за качеством по ИСО 9000 обеспечен нормативно-правовой базой метрологии, соответствующими измерительными приборами и осуществляется прямыми измерениями физических и химических характеристик с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения.

Контроль за экологическим качеством окружающей среды по стандартам ИСО 14000 не имеет узаконенной нормативной базы экологических характеристик (экологической метрологии). Оценка состояния эколого-экономических систем обеспечивается косвенными измерениями и основывается на известной зависимости между искомой величиной (экологическим состоянием эколого-экономической системы) и непосредственно измеряемыми величинами («индикаторными» показателями) аналогичными измерительными приборами.

В то же время современная практическая экология имеет научно обоснованные ботанические, биохимические, пространственные и др. показатели экологического состояния («норма», «риск», «кризис»,

«бедствие»), которые достаточно уверенно корреспондируются с директивными документами.

Следовательно, для эффективной организации и реализации системы управления и охраны окружающей среды весьма актуальным является «экологизация» современной метрологии.

5. Общая теория экологических величин и измерений.

С учетом изложенных выше общих тенденций можно выделить несколько позиций, требующих более детального рассмотрения и, по сути, определяющих правила оценки экологического состояния территории. В первую очередь, это концепция комплексной оценки состояния природной среды (экологического состояния территорий), а также выбор наиболее информативных критериев оценки состояния экосистем и их биотической, абиотической, медико-демографической и эколого-гигиенической составляющих при строгом соблюдении требований метрологии [29, 31].

Исходным и концептуальным положением такого подхода к оценке состояния окружающей среды при разработке нормативных принципов природопользования является отказ от механической (балльной) суммации состояний отдельных сред и переход к оценке состояния экосистемы в целом. Оно характеризуется функциональным единством всех входящих в нее компонентов, что позволяет общую оценку в последующем раскрыть через оценку состояний формирующих ее биотических (биома) и абиотических (геома) компонентов (сфер, сред). По сути, такой подход базируется на принципе от общего к частному, от оценки всей системы к оценкам составляющих ее компонентов, что обеспечивает учет прямых и обратных связей. Предлагаемая оценка состояния экосистемы проводится на основе ограниченного числа критериев, обеспечивающих при совместном рассмотрении уверенную квалификацию ее состояния. Принципиально важно, что такой подход позволяет избежать не только

явного субъективизма балльных оценок, но и последовательно раскрыть причины современного состояния экосистемы и разработать конкретные рекомендации по ее нормальному функционированию. Кроме того, рассматриваемая концепция позволяет достаточно экономичными способами (статистические данные, материалы аэрофотосъемок, ограниченный объем лабораторных анализов) получить информацию о состоянии экосистемы (экологического состояния определенной территории) и, исходя из результатов этой оценки, планировать ее более трудоемкие и затратные исследования.

Практическая реализация концепции может осуществляться только на основе единого подхода к оценке состояния как экосистемы, так и слагающих ее компонентов. Для этого экосистема и биота ранжируется на зоны нарушений, а геома — на соответствующие им классы состояний.

В настоящее время выделяют четыре уровня природно-антропогенных экологических нарушений — нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б). В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушений экосистем по глубине и необратимости, т.е. по реальным имеющим физическое выражение морфологическим факторам. В соответствии со сделанными разъяснениями предлагается выделять следующие *классы состояний и зоны нарушений*:

1. *Зона экологической нормы (Н)*, или класс удовлетворительного (благоприятного) состояния среды. Она включает в себя территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем, ее относительной стабильности. Значение прямых критериев оценки ниже ПДК или фоновых (деградация земель менее 5% площади).

2. *Зона экологического риска (Р)*, или класс условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния среды. Она включает территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, ведущим в дальнейшем к

спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями. Территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки незначительно превышают ПДК или фон (деградация земель от 5 до 20% площади).

3. *Зона экологического кризиса (К)*, или класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния среды. Она включает территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем и трудно обратимыми нарушениями. Необходимо хозяйственное выборочное использование территорий и планирование их глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки значительно превышают ПДК или фон (деградация земель от 20 до 50% площади).

4. *Зона экологического бедствия — катастрофы (Б)*, или класс катастрофического состояния сред. Она включает в себя территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, исключающими территорию из хозяйственного использования. Значения прямых критериев оценки в десятки раз превышают ПДК или фон (деградация земель более 50% площади).

Как уже отмечалось, выделение зон и классов экологического состояния территории должно осуществляться на основе небольшого числа наиболее представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев оценки. Эти показатели служат предметной основой при разработке нормативов и законодательной базы природопользования. Здесь важно подчеркнуть, что единого интегрального показателя состояния экосистемы в настоящее время не существует, однако число наиболее представительных показателей может быть сведено к оптимальному минимуму. Таким образом, оценка экологического состояния территории состоит из интегральной морфологической оценки состояния экосистемы с

расшифровкой ее через характеристику состояния геосфер (среды обитания). Только такая комплексная оценка отвечает на вопрос не только о современном состоянии экосистемы, но и причинах этого состояния с учетом влияния техногенеза.

Принципиально важно для создания общей теории экологических измерений вообще и для экологической метрологии, в частности, является выбор и научное обоснование критериев оценки экологического состояния территории.

5.1. Единицы и системы единиц экологических величин.

В настоящее время существует несколько подходов к классификации и иерархии показателей оценки состояния (классов) экосистем и геосферных оболочек Земли. Предлагается выделять биотические показатели, которые включают в себя три класса показателей: тематические, пространственные и динамические. В состав тематических показателей входят ботанические (геоботанические и биохимические), зоологические и почвенные показатели оценки. За исключением биохимических показателей, они характеризуют ресурсный потенциал анализируемого компонента, а через него — состояние экосистемы.

Нормирование и стандартизация являются важнейшими средствами регулирования природопользования, широко применяемыми как в отечественной, так и в зарубежной практике управления качеством окружающей среды. По своей сущности они относятся к административным методам регулирования. В последние годы в связи с развитием экономических методов они все чаще применяются в тесной взаимосвязи с последними показателями, расширяют диапазон возможностей органов управления и придают необходимую гибкость в достижении целей управления.

Нормирование как процесс установления количественных пределов, в которых допускается изменение характеристик нормируемого объекта, тесно связано с понятием “норма”. Общенаучного толкования этого понятия до настоящего времени нет, поэтому в большинстве случаев она рассматривается и определяется как среднее или через описание чего-либо оптимального или патологии.

В любом случае нормирование осуществляется исходя из понимания человеком своих потребностей, которые удовлетворяются показателями рассматриваемого объекта, в рамках которых он считается нормальным, “хорошим”. Затем выявляются границы количественных изменений показателей нормируемого объекта, т.е. определяется норма. При этом определяющим моментом является метрологическая правомерность показателя нормируемого объекта.

Под экологическим нормированием понимается научно обоснованное регулирование хозяйственной и иной деятельности или ограничение ее воздействия на ресурсы биосферы, обеспечивающее как социально-экономические интересы общества, так и его экологические потребности.

Разработанные и утвержденные в установленном порядке нормативы выступают в качестве стандартов. Единой научной классификации экологических нормативов (стандартов) в России в настоящее время, как уже отмечалось во введении, не существует, однако при определении экологических характеристик природно-климатических и экономических регионов, необходимых и достаточных для разработки и введения в практику нормативов, полезной будет представленная на рис. 2 классификация стандартов в области экологии.

При генерализации можно выделить три основные категории экологических нормативов, используемых или разрабатываемых для управления природопользованием.

Это экологические нормативы экосистем, нормативы качества компонентов окружающей среды и нормативы антропогенных воздействий на окружающую среду, включая связанные с ними технические и технологические нормативы.

Под *экологическим нормативом экосистемы* понимается граница количественного изменения параметров экосистемы, устанавливаемая из условия сохранения ее структуры и функции, а также всех экологических компонентов, необходимых для учета в хозяйственной деятельности. При этом понимается норма для экосистемы, оцениваемой человеком.

При определении параметров экосистем, подлежащих нормированию, исходят из основных признаков, которые характеризуют качество экосистемы. Это ее продуктивность, уровень разнообразия продукции необходимого качества, устойчивость. Конкретизация этих общих характеристик экосистем может приводить к выявлению других показателей, могущих быть индикаторами их качества. Например, “любой важный признак, характеризующий нетронутую систему, может рассматриваться как индикатор устойчивости”.

Конкретные параметры экосистемы, подлежащие экологическому нормированию, и критерии их выделения в настоящее время обсуждаются. Естественно, при экологическом экосистемном нормировании должны учитываться конкретные условия: тип биоценоза, региональные подходы к экологическому нормированию.

5.2. Методы и средства экологических измерений.

Нормирование качества компонентов окружающей среды применяется на практике значительно шире. Теоретически этот вид нормативов должен зависеть как от ценности объектов, подлежащих охране, так и от целей их использования.

Все экосистемы разделяют на 3 категории:

- уникальные или заповедные;
- широко распространенные естественные;
- сильно преобразованные или искусственные.

Очевидно, что требования к качеству объектов окружающей среды при переходе от первого ко второму и третьему типу экосистем должны смягчаться.

Цели использования также налагают ограничения на нормативы качества объектов окружающей среды. Например, земли, передаваемые под промышленную застройку, не требуют такого же качества, как пахотные; водные объекты, предназначенные для сплава и судоходства, не должны иметь нормативов воды питьевого качества и т.д.

Экосистемный подход к нормированию качества компонентов окружающей среды требует учета природных взаимосвязей между ними, например, путей миграции химических элементов, порогов воздействия на биоту и т.п. Так, нормативы содержания биогенов и пестицидов в почвах должны учитывать требования к качеству водных объектов, расположенных в пределах сельхозугодий.

Отличительной чертой экологического нормирования качества компонентов окружающей среды является учет следующих основных требований:

- необходимость защиты экологических систем, биологических сообществ в целом; при такой постановке вопроса потеря отдельных особей в популяциях не представляет опасности, если она не снижает потенциальной продуктивности, видового разнообразия, стабильности экосистемы;

- учет движения загрязняющих веществ по трофическим цепям с выделением “критического” по чувствительности и последствиям звена с учетом трансформации загрязняющих веществ и их совместного действия.

Поэтому в основе экологического нормирования должны лежать следующие основные принципы:

— принцип цели (приоритет долгосрочных последствий для общества и природы в целом над краткосрочными экономическими интересами отдельных природопользователей, региональных интересов над локальными и т.д.);

— принцип опережения (организация исследований по разработке норматива должна предшествовать началу планируемого воздействия);

— принцип порога (установление критических пороговых значений воздействия хозяйственной деятельности, не превышение которых гарантирует сначала экологическую безопасность, а затем взаимодействие общественных и экологических систем, т.е. создание нооценозов);

— принцип саморегуляции (учет в хозяйственной деятельности не только положительных, но и отрицательных обратных связей, соблюдение баланса положительного и отрицательного экологических эффектов в системах стимулирования социально-экономического развития);

— принцип “слабого звена”;

— принцип “больше не значит лучше” (переход на путь интенсификации технико-экономического развития за счет качественного совершенства при минимальном количественном росте);

— принцип “джиу-джитсу” (максимальное использование внутрисистемных сил, способных действовать в нужном для общества направлении и компенсировать отрицательное антропогенное воздействие);

— принцип снижения удельного риска (развитие только таких направлений роста материального потребления, при которых обеспечивается снижение антропогенной нагрузки на единицу площади и единицу производимой продукции).

Экологические нормативы качества компонентов окружающей среды относятся к вторичным нормативам, согласно приведенной на рис. 2 классификации. В развитых странах вторичные нормативы понимаются как ограничители вредных воздействий, наносящих ущерб материальным и иным общественным ценностям.

Контрольные вопросы

1. Какой критерий экологического состояния территории в настоящее время наиболее информативен?
2. В виде чего можно дать экологическую оценку состояния территории?
3. В чем заключается сходство и различие методологий управления качеством продукции и качеством окружающей среды в стандартах ИСО серии 9000 и ИСО серии 14000.
4. Назовите основные правила оценки экологического состояния территории.
5. Какие положения общей теории экологических величин формируют систему экологических измерений?
6. Чем характеризуется функциональным единством экологических систем?
7. На какие зоны нарушений ранжируется экосистема, а биома и геоба — на соответствующие им классы состояний?
8. Какие единицы и системы единиц экологических величин характеризуют экологическое состояние территории?
9. Что понимается под экологическим нормированием регулирования хозяйственной и иной деятельности?
10. Назовите современные методы и средства экологических измерений.
11. Какие принципы лежат в основе экологического нормирования?

Темы докладов и рефератов

1. Критерии экологического состояния территории.
2. Сходство и различие методологий управления качеством продукции и качеством окружающей среды в стандартах ИСО серии 9000 и ИСО серии 14000.
3. Основные правила оценки экологического состояния территории.
4. Общая теория экологических величин системы экологических измерений.
5. Экологическое нормирование регулирования хозяйственной и иной деятельности.
6. Современные методы и средства экологических измерений.

6. Особенности метрологии эколого-экономических систем.

Вести прямые эксперименты с биосферой планеты невозможно в принципе. Следовательно, математическое моделирование, которое включает в себя и методологию экспертной оценки, является средством получения информации о возможном состоянии биосферы вследствие крупномасштабных воздействий на нее со стороны человеческого общества. «Учение о природе будет содержать науку в собственном смысле лишь в той мере, в какой может быть применена в ней математика» (И. Кант).

Процессы прогнозирования и принятия решений в любой области человеческой деятельности в своей основе содержат как формализованные, так и неформальные (описательные) модели изучаемых процессов и явлений. Процесс моделирования может быть основан на различных принципах учета и анализа причинно-следственных связей. *Математическая модель* любого объекта исследований представляет собой его описание средствами математики. Уравнения модели, равенства и неравенства, различного вида ограничения, входящие в структуру

модели, позволяют имитировать поведение объекта в различных условиях, не прибегая к натурным экспериментам.

Возможность имитации достигается тем, что исследователь с помощью формальных методов решения уравнений и неравенств или с помощью *алгоритмической процедуры* исследования свойств модели на ЭВМ может предсказать изменение поведения объекта исследований в зависимости от изменения тех или иных условий, которые описываются параметрами модели. Таким образом, математическое моделирование путем изменения численных значений параметров модели позволяет производить разнообразные эксперименты с изучаемым объектом. История применения методов математического моделирования показывает, что математическая модель — это не только способ кодирования известных сведений об изучаемом объекте, но и неизвестных факторов, которые лишь потенциально могут превратиться в знания. Следовательно, одной из центральных задач науки является изучение модели, извлечение из нее той информации, тех возможностей, которые там содержатся.

Сказанное касается не только методов математического моделирования. *Математика — это язык количественного описания.* Модели могут представлять собой описания и на естественном языке, обладая при этом большой прогностической силой (наиболее ярким примером такой модели является периодическая таблица Менделеева). Для извлечения знаний из таких «описательных» моделей наряду с математическими методами применяются другие способы анализа явлений: логика, аналогии, ассоциации и т.д.

Началом работы по превращению учения Вернадского о ноосфере в теорию, оснащенную средствами предвидения и способную давать не только качественные, но и количественные оценки характера взаимодействия человеческого общества и окружающей среды, можно считать семинар ЮНЕСКО в Венеции в 1972 г., на котором шла дискуссия

о путях развития глобальных исследований свойств биосферы. Как же должна быть устроена модель или, точнее, система математических моделей биосферы? Из каких элементов она может состоять и какова ее организация?

Главное предназначение модели биосферы состоит в том, что она должна представлять собой своеобразную экспериментальную модель многоразового действия. Она должна быть предназначена для «проигрывания» различных сценариев человеческой деятельности по отношению к биосфере. Придавая определенные значения некоторым параметрам и функциям модели, характеризующим «нагрузку» на биосферу со стороны человеческого общества, с помощью численного эксперимента определяют возможное изменение состояния окружающей среды.

Естественными при этом являются требования к вычислительным особенностям модели: модель должна быть приспособленной для работы в интерактивном режиме (в режиме диалога с пользователем), компьютерные эксперименты с моделью не должны приводить к очень большим затратам времени. Ей надо быть, с одной стороны, достаточно грубой, тогда время вычислительного эксперимента будет вполне обозримым, но, с другой стороны, достаточно точной, чтобы имелась возможность в ходе вычислительного эксперимента различать сходные по типу экологические процессы, протекающие в разных регионах планеты. Такие требования часто оказываются противоречивыми, и, чтобы их удовлетворить, приходится перестраивать существующие модели и создавать специализированное математическое обеспечение. Более того, до недавнего времени в мировой науке отсутствовали «традиции» в использовании метода моделирования (макро)экосистем, в частности, потому, что науки под названием «математическая биология» до сих пор

не существует, а есть лишь некоторые направления в науке о природе, которые более или менее успешно используют математические методы.

Тем не менее, практика природопользования, с одной стороны, настоятельно требует прогноза экологических последствий хозяйственной деятельности человека. С другой стороны, уже имеется опыт моделирования при менеджменте конкретных производств.

В настоящее время во многих разделах биологии применяются математические методы, модифицированные в соответствии со спецификой объекта и явлений жизни и с особенностями биологических исследований.

Математика полезна при описании биологических множеств, таксономических разделов, популяций, штаммов, сортов, пород, линий, посевов, стад, подопытных групп и т.п.

Математика необходима для исчерпывающего извлечения информации о типичных объектах, разнообразии их, структуре этого разнообразия, о системах биологических взаимоотношений и взаимодействиях, о разных биоценозах, о влияниях разных факторов на биологические объекты, развивающиеся в различных условиях. Чем обширнее и глубже вскрываются эти явления, тем большую силу получает человек при использовании природных богатств и, главное, при направленных преобразованиях живой природы.

Некоторые биологические вопросы не могут быть решены без применения специальных математических методов. К таким вопросам относятся сравнение выборочных групп по изучаемым показателям и определение достоверности результатов такого сравнения с заданной вероятностью безошибочных прогнозов определение достаточной численности подопытных объектов, измерение силы влияния различных факторов на биологические процессы и явления, разработка формул и номограмм для практического использования зависимостей между

основными и сигнальными признаками, наконец, разработка алгоритмов для автоматизации диагнозов и прогнозов в макроэкологии, экологии, биологии, сельском хозяйстве и медицине при помощи компьютеров.

Изменились такие задачи современной биологии, которые не только не могут быть решены без математики, но и трудно понимаемы без соответствующей математической подготовки. Например, без знания основ дисперсионного анализа воспринимается не всегда правильно понятие о наследуемости, об устойчивости экологических систем, о предельно допустимой антропогенной нагрузке на экологические системы. Это часто приводит к ошибочным выводам и не подтверждающимся прогнозам как в теории, так и на практике.

Какие математические методы, когда и в какой форме применять, а также какой биологический смысл могут иметь возможные результаты расчетов, применительно к задачам каждого конкретного исследования, обосновано в теоретической части *биометрии*. Только после решения этих вопросов допустимо приступать к практическому использованию избранных методов, т.е. к биометрической обработке первичных материалов.

Новейшие вопросы биологической теории — теория популяций, математическое моделирование экологических процессов, оценка экологических последствий разных форм природопользования — не могли бы возникнуть без разработки специальных математических методов.

Многолетний обширный опыт использования математики в биологии и (макро)экологии выявил формы наиболее успешного сотрудничества между экологами и математиками, а также — наиболее эффективный метод внедрения математики в экологию.

Опыт показал, что математика (если не считать простейшие математические действия) обогащает биологию только тогда, когда

сливается с ней в особой модифицированной форме, предназначенной для решения биологических проблем.

Модификация состоит в отборе уже имеющихся математических методов и адаптации их для решения биологических задач, в разработке новых специальных методов и моделей, в особом построении математических алгоритмов, и, наконец, в усовершенствовании биоматематической терминологии и символики.

Биология и математика образуют не механическую смесь методов, а качественно новый эмерджентный инструмент, в котором оба элемента начинают выступать единым целым. На определенном этапе развития этого синтеза комплекс новых методов приобретает свои специфические отличия и выделяется в особую отрасль знаний.

На стыке биологии и математики сформировалась **“биометрия”** — новая синтетическая наука с собственным предметом изучения, с особыми основными методами, особыми терминологией, символикой и специфическими задачами. Исходя из современного развития этой науки, можно сформулировать следующее определение.

***Биометрия** — это наука о статистическом анализе групповых свойств в экологии. Под статистическим анализом в данном случае подразумевается определенная совокупность постулатов и методов теории вероятностей и математической статистики, модифицированных в соответствии со спецификой биологических объектов, применительно к особенностям экологических исследований.*

Изучаемые биометрией групповые свойства появляются только при объединении биологических объектов в группы и без этого объединения не существуют. Групповые свойства не могут быть у отдельных объектов, поэтому эти свойства отличают группу как целое от простой суммы входящих в нее элементов их эмерджентными качествами.

Биометрия изучает специфику не единичных явлений. Если получено измерение признака у одной особи, то этот признак может иметь большое значение и быть объектом изучения чисто биологических наук: анатомии, гистологии, физиологии и т.д. Но этот признак не может стать объектом изучения биометрии: один объект — не группа.

Биометрический анализ применим к любым неединичным явлениям, объединенным в группы любой численности, начиная с $n = 2$. Из этого вовсе не следует, что современная биометрия обладает силой делать достоверные выводы при любом числе изученных объектов. В большинстве случаев практически ценные прогнозы в экологии получаются на основе изучения достаточно больших групп. Из сказанного следует, что *биометрия является эффективным инструментом экологических исследований и совокупностью принципов экологической метрологии.*

Групповые свойства можно разделить на две категории: основные и сопряженные.

К *основным свойствам* следует отнести четыре групповых свойства:

- средний уровень признака, характерный для всей группы в целом;
- разнообразие признака, т.е. неизбежная неодинаковость, большее или меньшее различие особей в группе по изучаемому признаку;
- распределение признака, т.е. определенные соотношения в количествах особей, имеющих различную величину признака;
- репрезентативность выборочных групп, дающая возможность на основе изучения относительно небольшой правильно выбранной группы объектов (выборки) получить достаточно точную характеристику и всей большой группы объектов изучаемой категории (генеральной совокупности).

К *сопряженным свойствам* относятся такие групповые свойства, которые появляются вследствие связи или сопряжения в развитии основных свойств.

Сопряжение средних уровней двух одновременно изучаемых признаков состоит в том, что изменение средней по одному признаку происходит в большей или меньшей зависимости от изменения средней по второму признаку, например, увеличение площади саванн при хищническом вырубании ценных пород деревьев в джунглях Гвинеи. Это групповое явление получило название регрессии первого признака по второму, или второго по первому. Измеряется регрессия особыми сводными показателями — коэффициентами и формулами регрессии.

Особенно результативным в экологии, и, прежде всего в макроэкологии, оказалось учение о сопряженном разнообразии, т.е. о зависимости степени и структуры разнообразия одного признака (например, видового разнообразия в фитоценозе) от степени и структуры разнообразия одновременно изучаемого другого признака (например, от региональных особенностей распределения тяжелых металлов в почвах) [6, 28]. Это групповое явление получило название корреляции и измеряется различными коэффициентами простой, частной, сложной, прямолинейной и криволинейной корреляции.

Особый вид сопряженного разнообразия выражается в форме влияния факторов, определяющих развитие признака, изучаемого в качестве функции этих факторов. Сила и достоверность таких влияний измеряется различными показателями дисперсионного анализа, имеющего для экологических исследований особенно большое значение.

Любое свойство биологических групп измеряется при помощи сводных показателей, которые должны быть названы определенным термином и обозначены своим символом. Казалось бы, для биометрии проще всего

заимствовать терминологию и символику из дружественной математики [17].

Первые же попытки сделать это показали, что такое перенесение совсем не так просто, как кажется с первого взгляда. Все дело в том, что в математике нет твердо установленной терминологии и символики. Для громадного числа математических показателей не хватает букв нескольких алфавитов. Поэтому математики вынуждены обозначать разные показатели одинаковыми символами. Например, распространенный символ *M* применяется в математике для обозначения и средней величины, и математического ожидания, и варианты (среднего квадрата).

Кроме того, специфика математических школ и направлений приводит к тому, что один и тот же показатель обозначается разными символами и получает разные названия. Обычная средняя арифметическая обозначается в математических работах более чем семью различными символами. Сумма квадратов центральных отклонений имеет более девяти различных символов. Достоверность разности обозначается более чем шестью, а разнообразие признака — более чем пятью различными математическими терминами. Одни авторы называют дисперсией средний квадрат, другие этим термином обозначают сумму квадратов, а средний квадрат называют девиатой или более распространенным термином — вариансой (что и принято в настоящей книге).

Некоторые математические термины для биологии оказываются слишком абстрактными и поэтому в отдельных случаях неприемлемыми.

Результат первичного измерения в математике обозначается обобщенным термином “величина”, или “переменная величина”, “величина, принимающая разные значения”, безотносительно к тому объекту, на котором это измерение проведено.

Для биологии приемлем более конкретный термин “значение признака”, или “величина изучаемого признака”. Именно это содержание

вкладывается в термин «дата», т. е. результат измерения определенного признака у определенного объекта.

Такая конкретизация термина отражает существенное отличие экологического мышления от чисто математического. (Макро)экология и биология, используя биометрию, по-разному изучает различные категории признаков:

признаки количественные, поддающиеся точному измерению, — длина, ширина, объем, вес и т.д.;

признаки количественные, не поддающиеся точному измерению, оцениваемые на глаз в баллах или каким-нибудь другим способом, — развитие экстерьерных статей, густота спермы и т.д.; признаки качественные, которые имеют только две степени проявления — есть или нет — пол, мутация, болезнь и т.д.; признаки порядковые, которые никак не измеряются, но по степени развития которых объекты могут быть ранжированы, т.е. распределены в определенном порядке: цвет меха норки; злость бойцовых петухов; качество театральных постановок для лиц определенного возраста, пола и профессии; интенсивность окраски пера птиц и т. д.

Некоторые термины становятся неудобными при перенесении их в экологию, так как здесь имеют совсем не то значение, которое им придают в математике. Например, неизбежное большее или меньшее разнообразие особей в группе по любому признаку, измеренному в один определенный момент, называется обычно многими терминами: изменчивость, рассеяние, колеблемость, вариабильность и даже “разброс”. Все эти термины обозначают разные процессы и состояния, которые также могут интересовать исследователя, но ни один из этих терминов не соответствует сущности явления, заключающегося в том, что во всякой группе биологические объекты неизбежно различны по любому признаку, одновременно измеренному.

Наличие в группе особей, неодинаковых по весу — их разнообразие по этому признаку — нельзя называть изменчивостью веса, так как это совсем другое понятие.

Изменчивость генотипов нужно отличать от разнообразия генотипов в единовременно изученной группе. Рассеяние диких зверей по ареалу их обитания нельзя путать с их разнообразием. Колеблемость или вариабильность численности зайцев по годам нельзя обозначать тем словом, которым обозначают их разнообразие, например по величине шкурок в данном году.

Неприемлемы для (макро)эколога и биолога также и все те многочисленные термины (существенность, значимость, надежность, реальность, «разница есть», «разница достоверна, т. е. реальна»), которыми в математических работах обозначается понятие о достаточно точном прогнозе величины и знака разности генеральных параметров. Обилие таких терминов сильно дезориентирует экологов, скрывая от них громадные возможности научных обобщений.

Краткое сопоставление математических и биометрических терминов и символов представлено в табл. 6.1 [18].

Именно это обстоятельство и вызвало необходимость выделить специальный *раздел в биометрии о репрезентативности выборочных показателей и даже ввести новое понятие: пороги вероятности безошибочных прогнозов.*

Эта же таблица может служить и для справок о том, что могут означать термины и символы в различных математических работах. Определения и формулы в главах 7 и 8 «Биометрия экологической метрологии» могут быть использованы для расчета всех биометрических показателей с использованием минимальной вычислительной техники, например калькулятора, в полевых условиях или для предварительных расчетов.

Таблица 6.1

Сопоставление математических и биометрических терминов и символов

| Математика | Биометрия |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Величина V, x, X, y, a, ξ | Дата (результат измерения признака) V |
| Среднее значение (величины) $M, t, a, b, \beta, \mu, \bar{x}, \bar{X}$ | Средняя величина (признака) $M = \sum \frac{V}{n}$ |
| Сумма квадратов центральных отклонений, сумма квадратов, дисперсия $\sum(V - M)^2, \sum(x - \bar{x})^2, S, SS, SQ., SAQ., G$ | Дисперсия (сумма квадратов) $C = \sum (V - M)^2$ |
| Средний квадрат, дисперсия, девиата, варианса $\sigma^2, s^2, v^2, e, M, MS, MQ, ES$ | Варианса (средний квадрат)* $\sigma^2 = s^2 = \frac{C}{n-1}$ |
| Среднее квадратическое отклонение, сигма, стандарт, стандартное отклонение σ, s, v | Сигма (среднее квадратическое отклонение) $\sigma = s = \sqrt{\frac{C}{n-1}}$ |
| Изменчивость, колеблемость, рассеяние, вариабильность, разброс | Разнообразие |
| Разность: существенна, достоверна, значима, надежна, реальна, «разница есть», разница «достоверна, т.е. реальна». | Разность достоверна $\{\tilde{M}_1 > \tilde{M}_2\} \rightarrow \{\bar{M}_1 > \bar{M}_2\}$ |

* Генеральная варианса $\bar{\sigma}^2$, выборочная $\tilde{\sigma}^2$. Если требуется противопоставить выборочные показатели генеральным параметрам, удобнее обозначать генеральную вариансу символом σ^2 , а выборочную s^2 .

Контрольные вопросы

1. В чем выражаются особенности метрологии эколого-экономических систем?
2. В чем заключается главное назначение модели биосферы?
3. Какие биологические вопросы не могут быть решены без применения специальных математических методов?
4. В чем заключаются отличительные характеристики математики биометрии?
5. В чем заключается специфика предмета и методологии исследования биометрии?
6. В чем суть учения о сопряженном разнообразии?

7. В чем различие терминологии математики и биометрии?
8. Почему биометрия является эффективным инструментом экологических исследований и совокупностью принципов экологической метрологии?

Темы докладов и рефератов

1. Особенности метрологии эколого-экономических систем.
2. Значение модели биосферы для экологических измерений.
3. Отличительные характеристики математики биометрии.
4. Специфика предмета и методологии биометрических исследований.
5. Учение о сопряженном биологическом разнообразии.
6. Биометрия – как эффективный инструмент экологических исследований и совокупность принципов экологической метрологии.

7. Биометрия экологической метрологии (Репрезентативность показателей. Генеральная совокупность. Выборка).

7.1. Репрезентативность выборочных показателей.

Привлечение объектов для исследования можно проводить двумя основными методами. Можно подвергнуть изучению всех особей определенного массива или только их часть, выбранную определенным образом.

В первом случае проводится сплошное обследование всей генеральной совокупности, во втором случае производится выборочное исследование.

7.2. Генеральная совокупность.

Весь массив особей определенной категории называется генеральной совокупностью. Объем генеральной совокупности определяется задачами исследования.

Обычно генеральная совокупность включает очень большое число объектов изучаемой категории. Объем таких генеральных совокупностей считается равным бесконечности.

Иногда изучаются и небольшие генеральные совокупности, например группа животных, закрепленных за определенными работниками, с целью сравнения достижений этих работников. В таких случаях генеральной совокупностью будет совсем небольшое количество особей, которые все исследуются.

7.3. Выборка.

7.3.1. Определение выборки.

Выборка (A) — это группа объектов, отличающаяся тремя особенностями:

- 1) это часть генеральной совокупности;
- 2) отобранная в случайном порядке, определенным образом;
- 3) исследуемая для характеристики как отобранных объектов, так и всей генеральной совокупности.

Для того чтобы по выборке можно было получить правильную характеристику всей генеральной совокупности, необходимо организовать правильный случайный отбор объектов из генеральной совокупности.

Теорией и практикой разработано несколько систем отбора особей в выборку. Общим для всех этих систем может быть стремление обеспечить одинаковую вероятность выбора любого объекта из генеральной совокупности. Тенденциозность, предвзятость при отборе объектов для выборочного исследования препятствуют получению правильных общих выводов, делают результаты выборочного исследования непоказательными для всей генеральной совокупности, т. е. нерепрезентативными.

Числовые характеристики групповых свойств для генеральной совокупности называются генеральными параметрами, а для выборок — выборочными показателями.

7.3.2. Расчет средней арифметической M и среднего квадратического отклонения (сигмы) σ .

Два основных групповых показателя — средняя арифметическая M и среднее квадратическое отклонение σ — дают первичную меру среднего уровня и разнообразия признака у объектов, составляющих группу. Кроме того, эти показатели участвуют в образовании многих других биометрических величин: коэффициента вариации, нормированного отклонения, формул распределения, ошибок репрезентативности, коэффициентов корреляции, показателей силы и достоверности влияний в дисперсионном анализе, коэффициентов и уравнений регрессии и др.

Все способы расчета средней арифметической дисперсии (суммы квадратов центральных отклонений) и сигмы исходят из основных формул (7.1, 7.2, 7.3), дающих точные результаты:

$$M = \frac{\sum V}{n}, \quad (7.1)$$

$$C = \sum (V - M)^2 = \sum V^2 - \frac{(\sum V)^2}{n}, \quad (7.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (V - M)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{C}{n - 1}}. \quad (7.3)$$

где V — дата, результат первичного измерения признака у каждого объекта группы; n — число объектов в группе, или объем группы; C — дисперсия (сумма квадратов центральных отклонений).

По этим формулам можно вычислять M и σ без составления вариационных рядов во всех случаях для малых и больших групп.

При отсутствии достаточной счетной техники, например, в полевых условиях, основные формулы для многочисленных групп неудобны. В таких случаях вычисление M и σ ведется при помощи вариационного ряда по специальным рабочим формулам. Это сильно облегчает ручную счетную работу; при этом происходит незначительное снижение точности конечных результатов.

7.3.3. Выравнивание эмпирических вариационных кривых по нормальному закону.

Этот способ выравнивания применим для тех случаев, когда эмпирическое распределение предположительно и принято за случайную форму проявления закона нормального распределения, выраженного известной формулой (7.4) Муавра, Лапласа, Гаусса.

$$\rho' = \frac{Nk}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad (7.4)$$

Способ основан на применении значений ординат нормальной кривой $f(x)$ и рабочей формулы 7.5.

$$\rho' = \frac{Nk}{\sigma} f(x). \quad (7.5)$$

7.3.4. Оценка выборочных разностей.

Для определения достоверности разности средних показано применение двух критериев: критерия Стьюдента (t) и преобразованного критерия Фишера (F).

Для определения достоверности разности долей показано применение двух критериев: критерия Стьюдента с более правильной формулой ошибки выборочной доли $m^2 = pq/(n-1)$ и метода «фи» Фишера $\varphi = 2 \frac{\pi}{180} \arcsin \sqrt{\rho}$ в радианах. Второй критерий можно применять не только для малых или больших долей, но и всегда, когда требуется провести более точное сравнение долей, например, в исследованиях

мутационного процесса, при изучении действия токсинов, канцерогенов или лекарственных препаратов, последствий радиационного облучения и т.д.

Определение достоверности разности между выборочной и генеральной долями применяется при решении основных задач проверки гипотез: о принадлежности изучаемой группы к известной генеральной совокупности и о возможной величине генеральной доли.

Первая задача возникает обычно в таксономических исследованиях, вторая имеет большое распространение в работах по элементарному генетическому анализу и изучению популяций.

7.3.5. Репрезентативность.

Репрезентативность — это основное свойство выборочных групп характеризовать соответствующие генеральные совокупности с определенной точностью и достаточной надежностью.

7.3.6. Ошибки репрезентативности.

Ошибки репрезентативности возникают только по одной причине: вследствие того, что целое характеризуется на основе исследований одной только части этого целого.

Ошибки репрезентативности нельзя смешивать с другими — организационными ошибками, допускаемыми иногда при проведении экспериментов, наблюдений и при анализе материалов производственной отчетности. Организационные ошибки — это методические ошибки, ошибки точности, ошибки внимания и ошибки типичности; обычно они могут быть устранены правильным и тщательным проведением исследования или, во всяком случае, могут быть сведены к минимуму.

Но организационные ошибки не могут быть ни учтены, ни обезврежены никакими математическими приемами обработки уже полученного первичного материала.

Ошибки репрезентативности резко отличаются от четырех видов организационных ошибок. Ошибки репрезентативности, во-первых, могут быть устранены биометрическими методами и, во-вторых, не могут быть учтены при самой правильной и тщательной организации исследования (за исключением перехода на сплошное обследование генеральной совокупности).

При всей неизбежности ошибок репрезентативности их можно свести к минимуму путем привлечения в выборку достаточного числа объектов. Кроме того, величину ошибок репрезентативности можно определить с достаточным приближением на основе анализа выборочных данных и учесть при оценке генеральных параметров с требуемой точностью и надежностью.

Биометрические методы учета ошибок репрезентативности дают возможность:

- 1) определять доверительные границы генеральных параметров;
- 2) определять достоверность выборочных разностей.

7.3.7. Доверительные границы.

Оценка генеральных параметров производится особым способом, в форме определения двух их возможных значений — минимально-возможного и максимально возможного. Эти крайние значения, в пределах которых может находиться искомая величина генерального параметра, называются доверительными границами.

Доверительные границы любого генерального параметра определяются по следующему общему правилу.

Генеральный параметр может отличаться от выборочного показателя не более чем на величину t — кратной ошибки репрезентативности выборочного показателя.

Это можно выразить следующими общими формулами:

$$\bar{A} = \tilde{A} \pm \Delta \quad (7.6)$$

где \bar{A} — генеральный параметр, \tilde{A} — выборочный показатель, t — критерий надежности, или показатель вероятности того, что величина генерального параметра действительно будет внутри доверительных границ и не выйдет за эти границы.

Величина показателя надежности устанавливается при планировании исследования.

$m\tilde{A}$ — ошибка репрезентативности выборочного показателя, или показатель точности оценки генерального параметра. Рассчитывается по выборочным данным.

$\Delta - t m\tilde{A}$ — абсолютная погрешность оценки генерального параметра при данной точности и надежности.

7.3.8. Общий порядок оценки генеральных параметров.

В форме доверительных границ может оцениваться любой генеральный параметр:

1. Генеральная средняя \bar{M} .

2. Генеральная доля P . Доля равна отношению числа плюсовых объектов (обладающих изучаемым признаком) к общему числу обследованных объектов. Например, если в стаде всего имеется $n = 500$ овец и из них $a = 200$ тонкорунных, то доля таких овец (плюсовых объектов) равна:

$$P = \frac{a}{n} = \frac{200}{500} = 0,40 = 40\% \quad (7.7)$$

Доля остальных — $q = 1 - p = 1 - 0,40 = 0,60 = 60\%$. Выборочная доля обозначается символом p , генеральная — P .

3. Генеральная разность d_i .

Три величины, необходимые для оценки генерального параметра, — выборочный показатель (A), критерий надежности (t), показатель точности (m) — определяются следующим образом.

Выборочный показатель (A) рассчитывается по выборочным материалам способами, описанными выше.

7.3.9. Надежность.

Надежность — это вероятность того, что генеральный параметр действительно окажется внутри доверительных границ.

Критерий надежности определяется заранее, при планировании исследования, исходя из представления о большей или меньшей ответственности возможных результатов работы. Критерий надежности — это показатель вероятности безошибочных прогнозов.

Для достаточно больших выборок величина критерия надежности связана с этими четырьмя порогами вероятности определенным образом табл.7.1.

Таблица 7.1

Четыре порога вероятности безошибочных прогнозов (надежности)

| Порог | Применение порога | Вероятность безошибочных прогнозов (надежность) | Показатель надежности для больших выборок | Минимальный объем больших выборок |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | Понижение требования надежности в грубо-ориентировочных исследованиях трудно измеряемых признаков | $\beta_0 = 0,90$ | $t_0 = 1,645 \approx 1,6$ | $n \geq 20$ |
| 1 | Обычные требования надежности в большинстве биологических исследований | $\beta_1 = 0,95$ | $t_1 = 1,960 \approx 2,0$ | $n \geq 30$ |
| 2 | Повышенные требования надежности при проверочных опытах и в экономических работах | $\beta_2 = 0,99$ | $t_2 = 2,576 \approx 2,6$ | $n \geq 100$ |
| 3 | Высокие требования надежности при проверке гипотез при разрешении спорных вопросов и при исследовании вредных и ядовитых веществ | $\beta_3 = 0,999$ | $t_3 = 3,291 \approx 3,3$ | $n \geq 200$ |

Практика экологических и биологических исследований, проводившихся с помощью биометрии, выработала четыре порога вероятности безошибочных прогнозов: 0,90, 0,95, 0,99, 0,999.

7.3.10. Точность.

Точность — это степень приближения выборочного показателя к генеральному параметру при определенной надежности оценки.

Показатель точности, или ошибка репрезентативности выборочного показателя, определяется на основе выборочных данных по специальным формулам. Краткая сводка этих формул для некоторых показателей приведена в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Формулы ошибок репрезентативности

| Показатель | Формула |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ошибка средней арифметической: — при бесконечной генеральной совокупности | $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ |
| — при конечной генеральной совокупности, если объем выборки составляет не менее 1/5 от объема генеральной совокупности | $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$ |
| 2. Ошибка доли: — если генеральные доли неизвестны — если генеральные доли известны — если в выборке получено $p = 0$ или $p = 1$ | $m_p = \sqrt{\frac{PQ}{n}}$ $m_p = \sqrt{\frac{pq}{n-1}}$ $m_{(p=0)} = m_{p=1} = \frac{1}{n+1}$ |
| 3. Ошибка разности средних арифметических | $m_d = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ |
| 4. Ошибка разности долей | $m_d = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ |
| 5. Ошибка разности между выборочной и генеральной долями | $m_{p-p} = m_p = \sqrt{\frac{PQ}{n}}$ |

Необходимо обратить внимание на правильную интерпретацию понятия достоверности и особенно достоверности разности.

8. Биометрия экологической метрологии (Достоверность. Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Информационные критерии).

8.1. Достоверность.

8.1.1. Определение достоверности.

Достоверность — это особое свойство хорошо организованных выборок правильно отражать генеральные параметры.

Достоверная разность двух выборочных показателей правильно характеризует искомую генеральную разность между соответствующими генеральными параметрами. В указанном смысле выборочная разность может быть достоверна или недостоверна.

Что имеется в виду, когда утверждают, что разность достоверна? Если в выборочном исследовании оказалась разница между выборочными показателями, то такая же разница по знаку будет и между соответствующими генеральными параметрами. Основной вывод исследования может быть обобщен и перенесен на соответствующие генеральные совокупности.

Труднее понять, что означает утверждение: «разность недостоверна». Очень распространено ошибочное мнение, что наличие в выборках недостоверной разности свидетельствует об отсутствии разницы между генеральными параметрами. Такое правило не имеет ни теоретических, ни практических оснований.

Если получена недостоверная разность между выборочными показателями, то это значит, что не получено никакого определенного ответа о разности между соответствующими генеральными параметрами. Это можно иллюстрировать формулой 8.1

$$(\tilde{M}_1 > \tilde{M}_2) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bar{M}_1 > \bar{M}_2 \\ \bar{M}_1 = \bar{M}_2 \\ \bar{M}_1 < \bar{M}_2 \end{array} \right\} \quad (8.1)$$

При недостоверной выборочной разности невозможно определить с заданной надежностью значение генеральной разности: есть она или ее нет? Она больше или меньше нуля, или она равна нулю?

Эколог всегда сравнивает различные, неодинаковые для него генеральные совокупности: разные виды, сорта, породы, разные совокупности по полу, возрасту, особи, подвергавшиеся и не подвергавшиеся воздействиям, разные совокупности по времени их исследования.

То, что это разные совокупности определено еще до исследования и уже не требует выяснения ни в процессе исследования, ни по его результатам. Что бы ни получилось в результате выборочного исследования, генеральные совокупности всегда останутся разными. Только в одних случаях будет установлено их достоверное различие по изучаемому параметру, а в других случаях не будет установлено: ни того, что эти разные генеральные совокупности имеют различные параметры (например, средние), ни того, что эти разные генеральные совокупности по данному параметру не различаются.

8.1.2. Критерий достоверности разности.

При таком большом значении, которое имеет для исследователей получение достоверных (или недостоверных) разностей, появляется необходимость овладеть методами, позволяющими определить: достоверна ли реально существующая выборочная разность или при всей ее материальной действительности она не достоверна. Достоверность выборочной разности измеряется особым показателем, который можно назвать критерием достоверности разности.

Критерий достоверности разности равен отношению выборочной разности к ее ошибке репрезентативности и определяется по формуле 8.2

$$t_d = \frac{d}{m_d} \geq t_{st}, \text{ при } v = n_1 + n_2 - 2, \quad (8.2)$$

где $d = M_1 - M_2$ — разность выборочных показателей; $m_d = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ — ошибка выборочной разности; m_1 и m_2 — ошибки репрезентативности сравниваемых выборочных показателей; t_{st} — стандартное значение критерия, определяемое по таблице критериев Стьюдента для каждого порога надежности в зависимости от числа степеней свободы; n_1 и n_2 — численности сравниваемых выборок.

При использовании критерия достоверности возможны два основных случая:

$t \geq t_{st}$ — полученный в исследовании критерий достоверности разности равен или превышает стандартное значение критерия, найденное по Стьюденту. В этом случае разность достоверна с определенной надежностью, т.е. соответствует по знаку генеральной разности (между генеральными параметрами). Если эмпирический критерий равен или превышает стандартное значение нулевого порога, значит, достоверность установлена с вероятностью не менее 0,90. В этом случае эмпирический критерий подчеркивается пунктиром. Если эмпирический критерий равен или превышает первый порог, значит, надежность не менее 0,95 и эмпирический критерий подчеркивается одной чертой. Если эмпирический критерий равен или превышает второй или третий пороги, надежность равна соответственно $\beta_2=0,99$ и $\beta_3 = 0,999$, эмпирический критерий подчеркивается соответственно двумя или тремя чертами.

$t < t_{st}$ — полученный в исследовании критерий достоверности разности меньше стандартного значения для минимального или требуемого порога вероятности. В этом случае разность недостоверна, что значит:

а) по выборочной разности нельзя сделать никакой оценки генеральной разности;

б) осталось невыясненным, какая из двух генеральных средних больше;
в) осталось недоказанным как наличие, так и отсутствие различия между генеральными средними.

За минимальный порог достоверности в подавляющем большинстве исследований принимается первый порог, соответствующий вероятности безошибочных прогнозов $\beta_1 = 0,95$.

8.2. Корреляционный анализ.

Вычисление коэффициента корреляции проводят для малых и больших групп без применения и с применением корреляционной решетки. Для больших групп применяют способ сумм (лучший способ при отсутствии достаточной счетной техники) и модифицированный способ произведений.

Определение достоверности коэффициента корреляции рекомендуется проводить не обычным способом ($t_r = r/m_r$), а путем сравнения числа коррелируемых пар со стандартными объемами, определенными по показателю Фишера,

$$z = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+r}{1-r}\right) : N = \frac{t_{st}^2}{z^2} + 3, \quad (8.3)$$

где t_{st} —критерий Стьюдента.

Полный корреляционный анализ необходим при изучении сопряженного разнообразия новых признаков, корреляция которых еще не изучалась или изучена недостаточно.

В случаях, когда известно, что связь между признаками прямолинейна, или требуется выяснить меру только прямолинейной связи, например при прямолинейном («линейном») программировании, можно ограничиться расчетом одного прямолинейного коэффициента корреляции.

8.3. Дисперсионный анализ.

Основой алгоритмов дисперсионного анализа взяты следующие положения.

1. Лучшим показателем силы влияния следует считать отношение факториальной дисперсии (суммы квадратов) к общей дисперсии, т.е. основной показатель силы влияния по формуле 8.4

$$\eta_x^2 = C_x / C_y. \quad (8.4)$$

2. Попытки уточнить этот показатель, основанные на применении формулы,

$$\hat{\eta}_z^2 = 1 - \sigma_z^2 / \sigma_y^2 \text{ или } \sigma_x^2 = \sigma_z^2 + n\hat{\sigma}_x^2 \quad (8.5)$$

не улучшают, а ухудшают определение силы влияний.

3. Показателем достоверности влияния может быть преобразованный критерий Фишера $F = \sigma_x^2 / \sigma_z^2$ или отношение основного показателя к его ошибке $\Phi = \eta_x^2 / m_{\eta_x^2}$, дающее точно такие же значения, как и критерий Фишера.

Ошибка показателя силы влияния (пока не найдено точной формулы) может быть определена по формулам (8.6, 8.7, 8.8, 8.9) для однофакторных комплексов,

$$m_{\eta_x^2} = (1 - \eta_x^2) \frac{r - 1}{N - r}, \quad (8.6)$$

для двухфакторных комплексов,

$$m_{\eta_x^2} = (1 - \eta_x^2) \frac{r_A r_B - 1}{N - r_A r_B}, \quad (8.7)$$

для суммарного влияния факторов,

$$m_{\eta_i^2} = \eta_i^2 \frac{\sigma_z^2}{\sigma_i^2}, \quad (8.8)$$

для остальных влияний,

$$m_{\eta_i^2} = v_i \frac{\eta_z^2}{\gamma_z}. \quad (8.9)$$

Эта ошибка может быть использована для примерного определения доверительных границ генерального параметра по формуле 8.10

$$\bar{\eta}^2 = [(\tilde{\eta}^2 - \Delta) \div (\tilde{\mu}^2 + \Delta)] \quad \Delta = F_{st} m_{\eta^2}, \quad (8.10)$$

где F_{st} — стандартные значения фишеровского критерия, определяемого по двум степеням свободы для трех порогов вероятности безошибочных прогнозов.

Алгоритмы дисперсионного анализа даны для однофакторных и двухфакторных, пропорциональных и неравномерных комплексов, малых и больших групп, мало- и многозначных дат, количественных и качественных признаков.

Однофакторные комплексы используются для оценки силы и достоверности какого-нибудь одного влияния, которое выделяется из общей массы факторов как главное или требующее проверки.

Путем анализа однофакторных комплексов можно, например, получить показатели наследуемости по отцам или матерям в потомстве одного отца. Градациями таких комплексов должны быть классы родителей (отцов или матерей) по изучаемому признаку или отдельные отцы, матери, а в градации следует включать детей каждого родителя или каждого класса родителей. Основной показатель силы влияния такого комплекса и есть соответствующий показатель наследуемости, определяемый по формуле 8.11,

$$h^2 = \eta_x^2 \pm m_{\eta_x^2}. \quad (8.11)$$

Двухфакторные комплексы используются для оценки и сопоставления силы и достоверности влияния двух одновременно изучаемых факторов. Для того чтобы правильно понять и использовать алгоритмы анализа двухфакторных комплексов, необходимо ясно представить некоторые ключевые положения дисперсионного анализа.

Факторы для таких комплексов подбираются независимые, например, температура и влажность, первый и второй стимуляторы, ионы тяжелых металлов, дозы облучения, неродственные отцы и матери и т.д.

При анализе двухфакторных дисперсионных комплексов определяется сила и достоверность пяти влияний.

1. Первого фактора при усредненном влиянии второго фактора.
2. Второго фактора при усредненном влиянии первого фактора.
3. Сочетания градаций обоих факторов.
4. Суммарного влияния обоих организованных факторов.
5. Влияния всех остальных неорганизованных в исследовании факторов.

Влияние сочетаний градаций возникает вследствие того, что второй фактор обычно действует различно при разных градациях первого. То же наблюдается и в отношении первого фактора: его действие проявляется неодинаково при различных градациях второго фактора.

Например, при изучении действия стимулятора линьки (две градации — контроль и опыт — второго фактора) можно наблюдать, что введение стимулятора самкам дает больший эффект, а самцам — незначительный (две градации второго фактора). Это разнообразие действий стимулятора при разных половых группах отразится на величине третьего показателя $\eta_{AB}^2 > 0$. Он будет больше нуля и тем больше, чем сильнее половые различия в восприятии действия стимулятора. Если же стимулятор действует одинаково на самцов и самок, то $\eta_{AB}^2 = 0$.

8.4. Регрессионный анализ.

8.4.1. Определение регрессии.

Регрессией называется изменение функции в зависимости от изменений одного или нескольких аргументов. Для изображения регрессии используется: ряд регрессий (эмпирический и теоретический), линия регрессии, коэффициент регрессии и уравнение регрессии.

Эмпирический ряд регрессии — это двойной ряд цифр, включающих значения аргумента и соответствующие средние величины функции. При графическом изображении ряда регрессии аргумент откладывается по оси абсцисс, а функция — по оси ординат.

Анализ эмпирической линии и регрессии дает практически ценную характеристику основных особенностей, связанных с зависимостью изучаемой функции от избранного аргумента.

Разбором особенностей изменения функции по отдельным участкам течения аргумента часто невозможно ограничиться. Требуется определить такое течение функции, которое было бы при усредненном, следовательно, одинаковом напряжении всего комплекса условий, определяющих развитие функции на всей амплитуде значений.

Процесс получения усредненного течения функции при равномерном усилении аргумента называется выравниванием эмпирических рядов. Выравнивание эмпирических рядов регрессии имеет большое и разностороннее применение.

Вскрывая усредненное течение функции, исследователь выявляет ту закономерность изучаемого явления, которая в эмпирическом ряду была скрыта случайностями своего проявления. Эта вскрытая закономерность, выраженная формулой или теоретическим рядом регрессии, помогает более точно, с меньшими ошибками дать описание внешних проявлений закономерности, что, в свою очередь, может помочь вскрытию и

внутренних факторов, управляющих данным явлением. В этом и заключается познавательное значение исследований регрессии различных признаков. Результаты этих исследований имеют широкое применение и в практике.

Каждый выравненный ряд дает возможность определить значение функции при любом значении аргумента (или нескольких аргументов). Это обстоятельство дает возможность использовать ряды и уравнения регрессии при определении значений таких признаков, непосредственное измерение которых в обычных условиях или невозможно, или затруднительно.

В практических работах использование уравнений и линий регрессии получило широкое распространение при определении (без взвешивания) нормального живого веса животных и их убойного веса при жизни, веса сена в стогах, овощей в овощехранилищах, силосной массы в силосохранилищах, древесины в стволах и штабелях и др.

Широкое практическое применение во многих отраслях производства находит также специальная форма линий регрессии — номограмма.

8.4.2. Способ скользящей средней.

Если форма функции неизвестна, то сгладить случайные изломы эмпирической кривой можно, применив способ простой скользящей средней. Этот способ заключается в том, что для каждого значения аргумента берут среднюю арифметическую из нескольких (соседних) значений функции.

Если скользящую среднюю берут по трем значениям аргумента, то складывают соседние значения функций для меньшего значения аргумента, для данного и для большего. Частное от деления этой суммы на три дает выровненное значение функции для данной величины аргумента.

8.4.3. Графический способ.

Графический способ дает возможность с достаточным приближением получить теоретическую линию, а затем и теоретический ряд регрессии без каких-либо вычислений.

Наиболее простым оказывается применение графического способа к прямолинейной регрессии. В этих случаях на график наносят сначала эмпирическую линию регрессии, затем между крайними выступами ломаной эмпирической линии проводят прямую таким образом, чтобы сумма расстояний теоретической прямой от точек эмпирической линии была бы наименьшей.

При известном навыке это можно сделать от руки, может помочь при этом натянутая нитка или прозрачная линейка с нанесенной прямой чертой. Натянутую нить располагают по среднему течению эмпирической линии и после нахождения наилучшего положения нитки на графике отмечают две крайние точки: для минимального и максимального значения аргумента. Теоретической линией регрессии будет прямая, соединяющая эти две точки.

По теоретической прямой можно определить числовые значения функции (ординаты), соответствующие определенным значениям аргумента (абсциссы).

Если регрессию нельзя считать прямолинейной, то графическое выравнивание эмпирической кривой также может быть проведено, но для этого необходимо иметь представление об общих закономерностях изменения функции.

8.4.4. Точечный график.

Графический анализ может быть проведен на основе индивидуальных значений без расчета средних значений эмпирического ряда — с помощью точечного графика.

Для составления точечного графика устанавливают две перпендикулярные шкалы: горизонтальную шкалу аргумента, идущую слева направо, и вертикальную шкалу функции, идущую снизу вверх. Ни аргумент, ни функцию не разделяют на градации.

Каждую особь отмечают на графике точкой, положение которой определяется по абсциссе значением аргумента, а по ординате — значением функции. Получается вытянутое скопление точек, которое дает возможность провести приближенную теоретическую линию регрессии.

Преимущество такого графика заключается в том, что он наглядно показывает и среднее течение функции, и то разнообразие значений, которое характерно для данной функции при данном аргументе.

8.4.5. Коэффициент прямолинейной регрессии.

Прямолинейная корреляция отличается тем, что при этой форме связи каждому из одинаковых изменений первого признака соответствует тоже одинаковое в среднем изменение другого признака, связанного с первым или зависящего от первого.

Та величина, на которую в среднем изменяется второй признак при изменении первого на единицу измерения, называется коэффициентом регрессии. Рассчитывают его по формуле 8.12.

$$R_{2/1} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} r_{2/1}, \quad (8.12)$$

где $R_{2/1}$ — коэффициент регрессии второго признака по первому; σ_2 — среднее квадратическое отклонение второго признака, который изменяется в связи с изменением первого; σ_1 — среднее квадратическое отклонение первого признака, в связи с изменением которого изменяется второй признак; $r_{2/1}$ — коэффициент корреляции между первым и вторым признаком.

Ошибка коэффициента регрессии равна ошибке коэффициента корреляции, умноженной на отношение сигм и рассчитывается по формуле 8.13.

$$m_R = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \times m_r = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \times \sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}} \quad (8.13)$$

Критерий достоверности коэффициента регрессии равен критерию достоверности коэффициента корреляции (8.14).

$$t_R = t_r. \quad (8.14)$$

8.5. Информация.

В настоящее время используется несколько различных понятий термина «информация», которые можно классифицировать следующим образом.

8.5.1. Единичная информация.

Информация — сообщение, осведомление: словесное, письменное или при помощи жестов. Например: сегодня 1 января 1976 года; выстрел из пушки в полдень; информационный бюллетень; передача сообщений на кораблях условными движениями флагов.

Информация — сигнал, т.е. такое сообщение, которое вызывает последствия, по своим размерам значительно превосходящие размеры сигнала, например: красная ракета как сигнал начала военного действия; нажатие гашетки для производства выстрела; звонок как сигнал начала уроков в школе.

8.5.2. Групповая информация.

Информация — снятие неопределенности о состоянии массового явления, или уменьшение энтропии.

Информация — отражение разнообразия. Соединение понятий «информация» и «разнообразии» впервые предложено И.И.Шмальгаузенем [32] в 1960 г. Он утверждал, что количество информации является мерой

многообразия в строении популяции, а также — мерой наследственного многообразия в строении зиготы особей. Такое же положение высказывает В.М.Глушков [5], он утверждает, что информация существует постольку, поскольку существует неоднородность материальных тел, неоднородность несет информацию.

В самом общем случае информация определяется как отражение разнообразия. Общая характеристика информации выступает как взаимосвязь разнообразия и отражения. Такое понимание информации дает очень многое при анализе наследственных явлений массового порядка при изучении наследования количественных признаков.

Информация — основное свойство материи. В последнее время появились работы, в которых информация рассматривается как основное свойство в форме связи разнообразия с отражением и обуславливает возможность проявления материи в любой ее форме и в любых условиях.

Для того чтобы воздействовать на живые и неживые объекты, определенная форма материи должна иметь: во-первых, разнообразие (в простейшем случае: есть, нет) и, во-вторых, должна отражать это разнообразие на внешние (по отношению к ней) объекты.

8.5.3. Энтропия.

Понятие «энтропия» возникло при изучении энергетических процессов. Было установлено, что бесконечные превращения энергии в природе сопровождаются необратимыми качественными изменениями — энергия теряет способность производить работу. Такое качественное изменение энергии Клаузиус в 1865 г. назвал энтропией.

Больцман в 1877 г. показал, что возрастание энтропии равносильно переходу упорядоченного маловероятного состояния в хаотическое, более вероятное, причем величина энтропии пропорциональна логарифму состояния системы и может быть выражена формулой 8.15.

$$\mathcal{E} = -p \lg_2 p, \quad (8.15)$$

где p — вероятность (или доля) события (или состояния), энтропию которой требуется измерить; \lg_2 — двоичный логарифм вероятности (доли), показатель степени, в которую надо возвести основание логарифма 2, чтобы получить данное число.

Используя понятие энтропии, можно заключить, что информация есть мера того количества неопределенности, которое исчезает при получении сообщения. Количество информации равно количеству исчезнувшей энтропии.

Устанавливаются следующие основные термины.

Информация — явление уменьшения энтропии.

Негэнтропия (H) — мера информации, количество снятой энтропии.

Значения энтропии для любой вероятности (доли) можно рассчитать заранее. Краткая двузначная таблица показателей энтропии приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Значения показателей энтропии (без ноля целых) для любой двузначной доли ($0,5 \Rightarrow 0,05$; $38 \rightarrow 0,38$; и т. д.)

| | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0,0 | 00 | 07 | 11 | 15 | 19 | 22 | 24 | 27 | 29 | 31 |
| 0,1 | 33 | 35 | 37 | 38 | 40 | 41 | 42 | 43 | 45 | 47 |
| 0,2 | 46 | 47 | 48 | 49 | 49 | 50 | 51 | 51 | 51 | 52 |
| 0,3 | 52 | 52 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 0,4 | 53 | 53 | 53 | 52 | 52 | 52 | 52 | 51 | 51 | 50 |
| 0,5 | 50 | 50 | 49 | 49 | 48 | 48 | 47 | 46 | 46 | 45 |
| 0,6 | 44 | 43 | 43 | 42 | 41 | 40 | 40 | 39 | 38 | 37 |
| 0,7 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 |
| 0,8 | 26 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 17 | 16 | 15 |
| 0,9 | 14 | 12 | 11 | 10 | 08 | 07 | 06 | 04 | 03 | 01 |

Например:

$$\mathcal{E}_{0,00} = 0,00; \mathcal{E}_{0,10} = 0,33; \mathcal{E}_{0,25} = 0,50;$$

$$\mathcal{E}_{0,50} = 0,50; \mathcal{E}_{0,88} = 0,16; \mathcal{E}_{1,00} = 0,00.$$

Более точные знания энтропии можно получить, используя "общую" формулу 8.16.

$$\mathcal{E}_p = -p \lg_2 p = -p \times \frac{\lg_{10} p}{0,30103}, \quad (8.16)$$

где p — доля, \lg_2 , \lg_{10} двоичный и обычный десятичный логарифмы. Например,

$$\mathcal{E}(0,75) = -0,75 \frac{\lg_{10} 0,75}{0,30103} = -0,75 \frac{-0,12494}{0,30103} = 0,31128$$

$$\mathcal{E}(0,25) = -0,25 \frac{\lg_{10} 0,25}{0,30103} = -0,25 \frac{-0,60206}{0,30103} = 0,50000$$

Если имеется система долей, например, распределение количественного признака с относительными частотами (в долях), то общая энтропия группы равна сумме частных энтропий по классам распределения. Такая система показана в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Расчет общей энтропии для распределения количественного признака

| | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| W | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | G = 7 |
| F | 1 | 5 | 20 | 25 | 19 | 7 | 2 | N = 78 |
| $p = \frac{f}{n}$ | 0,01 | 0,06 | 0,26 | 0,32 | 0,23 | 0,09 | 0,03 | $\Sigma p = 1,00$ |
| Э | 0,07 | 0,24 | 0,51 | 0,53 | 0,49 | 0,31 | 0,15 | Э = |

Сравнение групп по их негэнтропии (снятой энтропии), если группы различаются по структуре качественных разделений, можно провести, определив общие энтропии этих групп. Такое сравнение показано в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Сравнение двух биоценозов по видовому составу мхов и по суммарным энтропиям видовых структур в битах

| Виды мхов | Биоценозы | | | | | |
|-----------|-----------|------|------|----|------|------|
| | А | | | В | | |
| | f | p | Э | F | P | Э |
| I | 43 | 0,86 | 0,19 | 13 | 0,26 | 0,51 |
| II | 3 | 0,06 | 0,24 | 13 | 0,26 | 0,51 |
| III | 2 | 0,04 | 0,19 | 12 | 0,24 | 0,49 |
| IV | 2 | 0,04 | 0,19 | 12 | 0,24 | 0,49 |
| Σ | 50 | 1,00 | 0,81 | 50 | 1,00 | 2,00 |

Суммарная информация о видовом составе биоценозов оказалась: по биоценозу А $\mathcal{E}_A = 0,81$, а по биоценозу В два с половиной раза больше $\mathcal{E}_B = 2,00$.

В первом биоценозе очень велико содержание одного первого вида мхов, что увеличивает его относительное содержание и тем уменьшает суммарную энтропию.

8.5.4. Информационный показатель силы влияния.

Использование основных понятий теории информации дает возможность сконструировать новый информационный показатель силы влияния: ИПВ, что иллюстрируется на следующем примере.

Выявлялось действие химического вещества на рост трехдневных крысят. Действие испытывалось в трех дозах — контроль, одинарная доза, двойная доза, рост измерялся длиной тела (без хвоста) в миллиметрах.

Для этого исследования эффект действия вещества не был известен, эту неопределенность можно измерить энтропией всей системы, состоящей из всех трех градаций в сумме \mathcal{E}_2 .

Затем можно определить ту энтропию, которая осталась после разделения всего комплекса на три градации $\mathcal{E}_{2/1}$. Оценка выявленной

информации (количество снятой энтропии) определяется как разность общей и остаточной энтропии:

$$\text{негэнтропия} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_{2/1}.$$

Если отнести эту разность к общей энтропии, то можно получить информационный показатель силы влияния (8.17):

$$\text{ИПВ} = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_{2/1}}{\mathcal{E}_2} \quad (8.17)$$

Расчет приведен в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Расчет информационного показателя силы влияния фактора

| Дли- на | Контроль | | | Одинарная доза | | | Двойная доза | | | Σ | | |
|-----------------|----------|----|----|----------------|----|----|--------------|----|----|---------|----|----|
| | f | p | Э | f | p | Э | f | p | Э | F | p | Э |
| 6 | | | | | | | 4 | 22 | 48 | 4 | 07 | 27 |
| 5 | | | | 6 | 30 | 52 | 5 | 28 | 51 | 11 | 19 | 47 |
| 4 | 5 | 25 | 50 | 12 | 60 | 44 | 6 | 33 | 53 | 23 | 39 | 53 |
| 3 | 10 | 50 | 50 | 2 | 10 | 33 | 3 | 17 | 43 | 15 | 26 | 51 |
| 2 | 5 | 25 | 50 | | | | | | | 5 | 09 | 31 |
| Σ _Э | n = 20 | | | n = 80 | | | n = 18 | | | N = 58 | | |
| nΣ _Э | 30,00 | | | 25,80 | | | 35,10 | | | = 90,90 | | |

Примечания к таблице: f — частоты распределений, p — относительные частоты (доли f/n), \mathcal{E} — частные энтропии каждой доли, n — число крысят в каждой градации.

Общая энтропия (8.18).

$$\mathcal{E}_2 = \Sigma \mathcal{E} = 2,09. \quad (8.18)$$

Остаточная энтропия (8.19).

$$\mathcal{E}_{2/1} = \frac{\Sigma(n\Sigma\mathcal{E})}{N} = \frac{90,90}{58} = 1,57. \quad (8.19)$$

Негэнтропия $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_{2/1} = 2,09 - 1,57 = 0,52$.

Информационный показатель силы влияния (8.20).

$$\text{ИПВ} = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_{2/1}}{\mathcal{E}_2} = \frac{0,52}{2,09} = 0,25. \quad (8.20)$$

Эта схема применима к любому числу градаций изучаемого влияния. Расчет дисперсионного показателя силы влияния по этому примеру дал (8.21).:

$$\eta_x^2 = Cx/Cy = 0,42 \quad (8.21)$$

В некоторых случаях для сравнения с другими показателями силы влияния удобнее использовать извлечение квадратного корня (8.22):

$$\text{ИПВ} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_{2/1}}{\mathcal{E}_2}} = \sqrt{0,25} = 0,5. \quad (8.22)$$

Контрольные вопросы.

1. Как определяют репрезентативность выборочных показателей?
2. Что называется генеральной совокупностью?
3. Какие предъявляются требования к выборке для получения правильной характеристики всей генеральной совокупности?
4. Как определить репрезентативность выборки генеральной совокупности?
5. Как определить надежность и точность выборки генеральной совокупности?
6. Как определяется достоверность полученных данных?
7. Как проводится корреляционный анализ?
8. Какие существуют в биометрии способы регрессионного анализа?
9. Что такое «энтропия информации»?
10. Как определяется информационный показатель силы влияния фактора?

Темы докладов и рефератов.

1. Определение репрезентативности выборочных показателей.
2. Требования к выборке при получении правильной характеристики генеральной совокупности.
3. Репрезентативность выборки показателей.

4. Надежность и точность выборки генеральной совокупности.
5. Определение достоверности полученных данных.
6. Корреляционный анализ в биометрии экологической метрологии.
7. Регрессионный анализ в биометрии экологической метрологии.
8. Информационные показатели силы влияния фактора.

9. Критерии оценки экологического состояния территории.

9.1. Метрологические основы и нормативные принципы экологической оценки и измерений.

Как было сказано выше, оценка воздействия любого объекта на окружающую среду многокомпонентна и достаточно сложна в практической реализации. В общем виде оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) должна учитывать все виды воздействия на компоненты окружающей среды (ОС), включая экологические, экономические и социальные аспекты. При этом следует учитывать, что окружающая, и в том числе природная среда, едина и неделима, а все ее компоненты (включая техногенные) взаимосвязаны и взаимозависимы, образуя природно-техногенную систему (ПТС) разных уровней организации. Следовательно, в оптимальном виде ОВОС должна быть единой и комплексной. Однако на практике из-за недостаточной разработанности этой проблемы ОВОС чаще всего решается отдельно применительно к основным природным средам (атмосфера, поверхностная и подземная гидросфера, педосфера, литосфера и биосфера). Для них имеются соответствующие нормативные и директивные документы, что во многом и определяет правила проведения экологических экспертиз. Другим важным исходным положением является то, что ОВОС выступает как составная часть всего этапа проектирования, а уровень ее проработки зависит от типа и масштаба промышленного проекта и особенностей его размещения. Другими словами, оценка воздействия на окружающую среду

является процессом, который ведется поэтапно по мере продвижения исследования с разграничением его на предварительную оценку воздействия на ОС и собственно ОВОС. Такой подход заложен в качестве основы в Законе Российской Федерации «Об экологической экспертизе» (1995г.).

Помимо общей территориальной ОВОС, практикуется разработка соответствующих отраслевых нормативных документов для конкретных предприятий (технологий), что сближает их с обычными техническими нормами или СНиПами. В большинстве таких документов изучение собственно экологической обстановки отходит на второй план, а прогнозы становятся частными, индивидуальными, приспособленными для решения конкретных, а то и просто конструктивных вопросов. Такие нормативы и прогнозы необходимы, но они не заменяют ОВОС и должны рассматриваться только как составная часть схемы природоохранных мероприятий.

Из этого вытекают следующие важные методические положения при проведении ОВОС:

— приоритетной оценкой того или иного проекта должна быть экологическая, лежащая в основе решения о сооружении объекта и месте его размещения;

— необходима общая (фоновая) оценка экологической обстановки изучаемой территории и определение возможности внесения дополнительной экологической нагрузки, в том числе и по отдельным компонентам окружающей среды;

— необходим комплексный подход к решению природоохранных задач, причем не только в границах данного объекта, но и в зоне его влияния с учетом уже действующих предприятий и сооружений;

— прогнозы изменения окружающей среды под влиянием объекта проводятся с тех же позиций и включают в себя учет воздействия всех действующих предприятий.

Конкретная реализация рассмотренных положений осуществляется в два этапа.

Первый этап — предварительная оценка воздействия планируемой деятельности на окружающую среду. Она проводится на стадии предпроектных проработок, включая технико-экономическое обоснование (ТЭО) в случаях:

— когда намечаемая деятельность природопользователей может оказать на окружающую среду негативное воздействие;

— когда состояние окружающей среды в районе недостаточно изучено.

Второй этап — оценка воздействия планируемой деятельности на окружающую среду на стадии проектирования и рабочих чертежей. Она может осуществляться отдельно на стадии проектирования и строительства объекта, на стадии эксплуатации и консервации объекта.

10. Биологические критерии состояния территории.

10.1. Ботанические критерии.

Ботанические критерии имеют наибольшее значение, поскольку они не только чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наиболее физиономичны и наилучшим образом прослеживают зоны экологического состояния по размерам в пространстве и по стадиям нарушения во времени.

Пример ранжирования состояния экосистем по ботаническим критериям дается в табл. 10.1 (усредненные основные показатели, районированные для определенных зональных условий).

Таблица 10.1

Ботанические нарушения экосистем

| ПОКАЗАТЕЛИ | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ухудшение видового состава естественной растительности и характерных видов | Естественная смена доминантой, субдоминантов, в особенности полезных видов | Уменьшение обилия господствующих, в особенности полезных видов | Смена господствующих видов на вторичные, в основном непоемые сорные и ядовитые | Уменьшение обилия вторичных видов, полезных растений практически нет |
| Повреждение растительности (дымом заводов) | Отсутствие | Повреждение наиболее чувствительных (хвойных деревьев, лишайников) видов | Повреждение среднечувствительных видов | Повреждение слабо чувствительных (травы, кустарников) видов |
| Относительная площадь коренных (квазикоренных) ассоциаций, % | > 60 | 40 – 60 | 20 – 30 | < 10 |
| Биоразнообразие (уменьшение индекса разнообразия Симпсона, %) | < 10 | 10 – 20 | 25 – 50 | > 50 |
| Лесистость, % от зональной | > 80 | 60 – 70 | 50 – 30 | < 10 |
| Гибель посевов, % площади | < 5 | 5 – 15 | 15 – 30 | > 30 |
| Проективное покрытие пастбищной степной и полупустынной растительности (в % нормального) | > 80 | 60 – 70 | 20 – 50 | < 10 |
| Продуктивность пастбищной растительности (в % потенциального) | >80 | 60 – 70 | 10 – 20 | <5 |

Ботанические показатели весьма специфичны, т.к. разные виды растений и разные растительные ассоциации в разных географических условиях имеют неодинаковую чувствительность и устойчивость к нарушающим воздействиям, и, следовательно, одни и те же показатели для квалификации зон экологического состояния могут существенно варьировать для разных ландшафтов. При этом учитываются признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте).

10.2. Биохимические критерии.

Биохимические критерии экологического нарушения основаны на измерениях аномалий в содержании химических веществ в растениях. Для квалификации критического экологического нарушения территории используются показатели изменения соотношения содержания токсичных и биологически активных микроэлементов в укосах растений с пробных площадок и в растительных кормах. В целом же аэротехногенный путь поступления поллютантов в растения через их ассимиляционные органы является определяющим деградацию лесных биогеоценозов в условиях воздействия выбросов горно-металлургических предприятий. Накопление металлов в ассимилирующих органах исследуемых растений увеличивается при увеличении уровней загрязнения среды их произрастания. Такая закономерность характерна только для тех металлов, которые являются приоритетными для состава выбросов металлургических предприятий. Другие металлы (непромышленного происхождения) распределяются по территории равномерно, и зависимостей их аккумуляции от зоны поражения растительности пока не найдено.

Наиболее информативные биохимические показатели поражения лесных экосистем приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Биохимические критерии нарушенности экосистем

| ПОКАЗАТЕЛИ | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| По содержанию химических веществ в сухой массе травянистых растений в мг/кг: | | | | |
| Соотношение С : N в растениях* | 8 – 12 | 6 – 8 | 4 – 6 | < 4 |
| Содержание Pb, Cd, Hg, Ni, Or, As, Sb, по превышению МДУ* | 1,1 – 1,5 | 2 – 4 | 5 – 10 | > 10 |
| Содержание Tl, Se, по превышению фона | < 1,5 | 2 – 4 | 5 – 10 | > 10 |
| Содержание Al, Sn, Bi, Te, Wo, Mn, Ga, Ge, In, It по превышению фона | | 1,5 – 2,0 | 2,0 – 10 | 10 – 50 |
| Содержание Cu в растениях кг/кг | 10 - 0 | 30 – 70 | 80 – 100 | > 100 |
| Содержание Zn в кг/кг | | 30 - 60 | 60 – 100 | 100 – 500 |
| Содержание Fe в мг/кг | | 50 – 100 | 100 – 200 | 100 – 500 |
| Содержание Mo в мг/кг | 2 – 3 | 3 – 10 | 10 – 50 | > 50 |
| Содержание Co в мг/кг | | 0,3 – 1,0 | 1 – 5 | 5 – 50 |

МДУ* - Максимально допустимый уровень.

10.3. Зоологические критерии.

Зоологические критерии и показатели нарушения животного мира могут рассматриваться как *на ценотических уровнях*: видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса и продуктивность, энергетика, так и *на популяционных*: пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структура.

По зоологическим критериям могут быть выделены ряд стадий экологического нарушения территории. Зона риска выделяется, главным образом, по экологическим критериям начальной стадии нарушения — синатропизация, потеря стадного поведения, изменение путей миграции,

реакция толерантности. Последующие стадии нарушения выделяются дополнительно по пространственным, демографическим и генетическим критериям. Зона кризиса характеризуется нарушением структуры популяций, групп и стай, сужением ареала распространения и обитания, нарушением продуктивного цикла. Зона бедствия отличается исчезновением части ареала или места обитания, массовой гибелью возрастных групп, резким ростом численности синатропных и нехарактерных видов, интенсивным ростом антропозоонозных и зоонозных заболеваний. Ввиду сильной разногодичной изменчивости зоологических показателей (не менее 25%) некоторые из приводимых критериев приводятся за 5 — 10-летний период. Пример ранжирования состояния экосистемы по этим критериям дается в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Зоологические критерии нарушенности экосистем

| ПОКАЗАТЕЛИ | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|-------------------|--------------|
| Частота антропо-зоонозных заболеваний | Случайная | спорадическая | регулярная | Массовая |
| Падеж домашних животных, % | Случайно < 10 | спорадически (10 – 20) | регулярно 20 – 50 | массово > 50 |
| Биоразнообразие (на % от исходного) | < 5 | 10 – 20 | 25 – 50 | > 50 |
| Плотность популяции вида-индикатора антропогенной нагрузки (в % от исходной) | < 10 | 10 – 20 | 20 – 50 | > 50 |

11. Почвенные критерии состояния территории.

Почвенные критерии рассматриваются в статусе оценочных критериев экосистемы, так как ухудшение свойств почв является одним из наиболее сильных факторов формирования зон экологического риска, кризиса или бедствия. Прежде всего — это снижение плодородия почв на большой площади и с высокой скоростью. Почвенно-эрозионные критерии связаны с вторично антропогенными геоморфологическими процессами,

ускоренными неблагоприятной хозяйственной деятельностью человека. Эти процессы распространены и в естественных условиях, но нарушение человеком устойчивости растительного и почвенного покрова (вырубкой лесов, распашкой почв, перевыпасом пастбищ и т.п.) вызывают их значительное ускорение и расширение площади, что приводит к формированию зон экологического риска, кризиса и бедствия. Одним из *интегральных показателей загрязнения почвы* является ее *фитотоксичность* (свойство почвы подавлять рост и развитие высших растений) и *гентотоксичность* (способность влиять на структурно-функциональное состояние почвенной биоты). Пример выделения зон экологического состояния по основным почвенным критериям приводится в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Почвенные критерии нарушения экосистем

| ПОКАЗАТЕЛИ | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
|------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Плодородие почв (в % от потенциального) | > 85 | 65 – 85 | 65 – 25 | < 25 |
| Содержание гумуса (в % первоначального) | > 90 | 70 – 90 | 30 – 70 | < 30 |
| Площадь вторично засоленных почв (в %) | < 5 | 5 – 20 | 20 – 50 | > 50 |
| Глубина смывости почвенных горизонтов | | смыв горизонт А 1 или 0,5 горизонта В | Смыв горизонт А и частично АВ | смыв горизонт А и В |
| Площадь ветровой эрозии (полностью сдутые почвы в %) | < 5 | 10 – 20 | 20 – 40 | > 40 |

Для почв зоны сельскохозяйственного использования важнейшим признаком «нормы» является ненарушенность свойств почвенного покрова. Вследствие этого при определении нормативов состояния основное внимание уделяется тем свойствам почвы, которые более чувствительны к воздействию антропогенных факторов. Совокупность

характеристик, отражающих эти свойства, можно разделить на следующие группы:

— *показатели химического состояния почв* (емкость поглощения, состав обменных катионов, степень засоления, валовые содержания элементов, концентрации, активность ионов в жидкой фазе почвы, групповой и фракционный состав гумуса, окислительно-восстановительный потенциал и другие);

— *показатели физического состояния почв* (водопроницаемость, влажность, плотность почвы, температура, электропроводность, намагниченность, крутизна слоя и другие);

— *показатели биологического состояния почв* (дыхание, скорость разложения целлюлозы, численность и видовое разнообразие микроорганизмов и т.п.);

— *показатели эрозионного воздействия на почвы* (относительная мощность гумусового горизонта, наличие погребенных горизонтов).

В оценках состояния зоны сельскохозяйственного использования вряд ли целесообразно учитывать все из перечисленных характеристик, поскольку многие из них тесно взаимосвязаны между собой.

Среди перечня характеристик химического состояния почв специалисты основное внимание уделяют емкости катионного обмена (ЕКО), показателю кислотно-основных и восстановительных свойств почвы (рН), измеряемого активностью ионов водорода, окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП).

Уровень ЕКО (измеряется в мг-экв/100 г почвы) достаточно чувствителен к разного рода антропогенным воздействиям. Его уменьшение свидетельствует о деградации почвы вследствие дегумификации, снятия плодородного слоя и т.п.

При проведении разумных, рациональных восстановительных мероприятий (противоэрозионных, рекультивационных и т.п.) почва

способна увеличивать уровень ЕКО. Здесь следует отметить, что фоновые (природные) значения ЕКО специфичны для разных типов почвы. Наиболее высоки они у черноземов (25 — 75), в средней полосе России фоновый уровень этого показателя находится в пределах 20 — 40 единиц.

Показатель рН почвы определяется как $pH = \lg aH^+$, где aH^+ — активность ионов водорода, влияет на интенсивность почвообразовательных процессов, доступность питательных элементов для растений.

Фоновое значение рН различается в зависимости от типа почвы. Оно колеблется в пределах 4,0 — 6,5 для лесных почв, 5,0 — 7,0 для луговых, 8,0 — 10,0 в почвах с избытком натрия. Под влиянием антропогенного воздействия уровень рН может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Обычно при значительных кислотных атмосферных осадках с высоким содержанием SO_2 , HF_x и других соединений уровень рН в почве снижается. Напротив, вторичное засоление и осолонцевание вызывает рост рН, что, в свою очередь, вызывает снижение продуктивности, изменение видового состава растительного покрова и другие негативные для экосистемы последствия.

Величина ОВП (измеряется в мв) может рассматриваться как интегральная характеристика всего комплекса физических, химических и биологических процессов, протекающих в почве и определяющих состояние биоценоза. Различные типы почв характеризуются специфическими фоновыми уровнями ОВП (для сероземных интервал его фоновых значений составляет 450 — 500 мв, для черноземных 500 — 700 мв и т.д.). Значения ОВП обычно снижаются в результате подтопления, засоления, осолонцевания и увеличиваются при распашке, осушении, эрозии.

Основной характеристикой, отражающей качество физического состояния почвы, является ее водопроницаемость (измеряется в мм/мин

для слоя почвы 0 — 20 см). От нее зависит способность почв к самоочищению, качество воздушного и водного режимов и т.п.

Водопроницаемость — интегральный показатель. Его уровень зависит от гранулометрического состава почвы, ее структуры, влажности, минералогического состава, количества органического вещества и ряда других факторов. Фоновый уровень водопроницаемости определяется типом почвы и режимом ее использования: у черноземов обыкновенных, находящихся под лесом, он составляет 8,0 мм/мин, у пахотных — около 2,0 мм/мин, у подзолистых почв под лесом — 1,8 мм/мин, а у пахотных подзолистых почв — около 0,6 мм/мин и т.д.

Водопроницаемость — достаточно чуткий индикатор многих видов антропогенных воздействий, особенно механических. Как правило, ее уровень снижается при усилении нагрузки на почву, что свидетельствует о ее уплотнении и, как следствие, о возможности оголения.

Фоновые показатели содержания гумуса в верхнем слое различных типов почв и их «дыхания» приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Фоновые показатели содержания гумуса и интенсивности выделения углекислоты в различных типах почвы

| Тип почвы | Содержание гумуса в гумусовых горизонтах, % | «Дыхание» почв, кг/га-ч |
|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|
| Луговые черноземы, лугово-болотные | 10 | 10 |
| Черноземы обыкновенные | 6 — 10 | 10 |
| Серые лесные, темно-каштановые | 4 - 6 | 7 — 10 |
| Дерново-подзолистые, сероземы | 2 — 4 | 5 — 7 |
| Подзолистые, бурые | 2 | 2 — 5 |

Показатели содержания гумуса отражают совокупность биохимических, физических, физико-химических свойств почвы. К ним относятся,

например, мощность гумусового слоя (%), характеристики «дыхания» почв (кг/га-ч). Снижение содержания гумуса в почве (ее дегумификация) является следствием значительной антропогенной нагрузки (уничтожение растительности, снятие верхнего слоя почвы, неправильная технология обработки и т.п.). «Дыхание» почв выражает уровень биологической активности системы и определяется интенсивностью выделения углекислоты почвой. Отклонения от его фонового уровня свидетельствуют о нарушениях почвенной поверхности.

12. Пространственные критерии состояния территории.

Помимо оценки степени нарушенности экосистемы большое значение имеет оценка площади ее пораженности. Если площадь изменения невелика, то при равной глубине воздействия малая по площади нарушенная система быстрее восстановится, чем обширная. Если площадь нарушения больше предельно допустимых размеров, то разрушение среды практически необратимо и относится к уровню катастрофы. Например, выгорание лесов на площади в десятки и сотни га практически обратимо, и леса восстанавливаются — это не катастрофа. Однако если площадь выгорания лесов или какой-либо формы техногенного разрушения растительного покрова достигает площади десятков и сотен тысяч га, изменения практически необратимы, и происшествие квалифицируется как катастрофа. Таким образом, размер катастрофического экологического нарушения достаточно велик и превышает, по В.В.Виноградову, площадь 10000 — 100000 га в зависимости от типа растительности и геолого-географических условий.

Чем серьезнее нарушение, тем больше репрезентативная площадь его влияния. Пространственным критерием зон экологического нарушения служит относительная площадь земель (в %%), выведенных из землепользования в пределах исследуемой экосистемы.. Даже в норме, в

стабильном растительном покрове, относительная площадь нарушенных земель может достигать 5%, а в зонах экологического бедствия превышает 50%. При одной и той же стадии нарушения, выявленной по тематическим критериям, увеличение относительной площади нарушения квалифицирует более высокий уровень опасности. Это может быть выражено в виде матрицы для административного района площадью 100 — 200 тыс.га. Пример такой матрицы приводится в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Выделение зон нарушенности экосистем в зависимости от глубины экологического нарушения и его площади

| Зоны нарушенности экосистем (Н, Р, К, Б) | | Площадь нарушения в % | | | |
|------------------------------------------|-----------|-----------------------|-------|--------|------|
| | | < 5 | 5 —19 | 20 —50 | > 50 |
| Глубина нарушения | Норма | — | — | — | — |
| | Умеренное | Н | Н | Н | Р |
| | Среднее | Н | Н | Н | К |
| | Сильное | Н | Р | К | Б |

Из нее следует, что если сильное нарушение занимает площадь менее 5% территории, изменение квалифицируется в пределах нормы; но умеренное нарушение на относительной площади более 50% экспертируемой территории уже служит основанием для объявления территории зоной экологического риска, что иллюстрируется табл. 12.2.

Таблица 12.2

Классификация зон экологического риска

| Нарушение | Норма (Н) | Риск (Р) | Кризис (К) | Бедствие (Б) |
|-----------|-----------|----------|------------|--------------|
| Умеренное | < 70 | < 30 | < 30 | < 20 |
| Среднее | < 10 | > 40 | > 40 | > 30 |
| Сильное | < 5 | < 40 | < 30 | > 40 |

Для квалификации зон экологического риска, кризиса и бедствия необходимо учитывать пространственную неоднородность нарушенных

зон и наличие в ней комбинаций относительной площади разной степени нарушенности.

Например, *зона риска* может составлять комбинацию, где менее 30% площади занимают слабо измененные, более 40% площади — средне измененные и менее 40% площади — сильно измененные экосистемы, *зона кризиса* — менее 30% площади — слабо-и среднеизмененные, более 40% площади — сильно и очень сильно измененные, менее 30% площади — очень сильно измененные экосистемы, *зона бедствия* — более 40% площади — сильно измененные, менее 20% площади — слабо-и средне измененные, более 30% площади — очень сильно измененные экосистемы,

13. Динамические критерии состояния территории.

Перечисленные выше статистические критерии выявления зон экологического нарушения при всей их очевидности недостаточны для их объективной оценки, поскольку они не отражают истинной картины бедствия. Следует иметь в виду, что имеются стабильные природные зоны кризисных и бедственных признаков, которые не являются не только антропогенными, но и динамическими. Так, известные биогеохимические провинции (например, на Южном Урале или на Алтае) могут быть отнесены по статистическим биогеохимическим показателям к зонам экологического кризиса. Вместе с тем по динамическим критериям они таковыми не являются, так как повышенные концентрации металлов в почвах и растениях были там и до антропогена. Точно так же не являются зонами экологического бедствия изначально незакрепленные пески (например, Арчадинские, которые такими являлись с плейстоцена) и другие устойчивые природные эрозионные комплексы. Поэтому наиболее достоверны динамические критерии выявления зон экологического нарушения по скорости нарастания неблагоприятных изменений

природной среды (скорости накопления тяжелых металлов, скорости прироста площади подвижных песков и т.п.).

Для выявления скорости смен и исключения разногодичных колебаний при выделении зон экологического бедствия необходима представительная продолжительность наблюдений. Считается, что минимальный срок для определения линейной скорости изменений составляет 8 — 10 лет, а для выявления нелинейной скорости - 20 — 30 лет. Примеры динамических показателей зон экологического риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б) представлены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Динамические критерии нарушения экосистем по повышению скорости изменения мощности индикационного показателя в год (среднее за 5—8 лет непрерывных наблюдений)

| ПОКАЗАТЕЛИ | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Увеличение площади нарушенных экосистем, % | < 1,0 | 1 – 2 | 2 – 4 | > 4 |
| Уменьшение годичной растительной продукции, % | < 1 | 1,5 – 3,5 | 3,5 – 7,5 | > 7,5 |
| Увеличение площади сбитых пастбищ, % | < 2 | 3 – 5 | 5 – 8 | > 8 |
| Увеличение площади эродированных земель, % | < 0,5 | 1 – 2 | 2 – 5 | > 5 |
| Увеличение площади засоленных почв, % | < 1 | 1 – 2 | 2 – 5 | > 5 |
| Увеличение площади подвижных песков, % | < 0,5 | 1 – 2 | 2 – 4 | > 4 |

По этому показателю В.В.Виноградов выделяет четыре класса динамизма растительного покрова. *Стабильные территории* со скоростью изменений менее 0,5% площади в год подвержены лишь разногодичной и циклической флюктуации. *Умеренно динамичные территории* со

скоростью изменений до 1 — 2% площади в год, полная смена которых происходит за 50 — 100 лет и которые формируют слабо выраженные тренды, соответствуют зонам экологического риска. *Средне динамичные территории* со скоростью изменений до 2 — 3% площади в год, полная смена которых происходит в течение 30 — 50 лет с выраженной формой тренда, соответствуют зонам экологического кризиса. *Сильно динамичные территории* со скоростью изменений свыше 4% площади в год, полная смена которых происходит менее чем за 25 лет, соответствуют зонам экологического бедствия.

14. Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Атмосфера. Поверхностная и подземная гидросфера).

Для оценки современного состояния геосферных оболочек, как уже отмечалось ранее, используются прямые, косвенные и индикаторные критерии [25].

Прямые критерии включают в себя группы геогидрохимических, геодинамических, медико-санитарных и ресурсных критериев.

Геогидрохимическая группа критериев позволяет оценить: химическое, механическое, радионуклидное загрязнение геосфер, а медико-санитарная — бактериологическое. Геодинамическая группа критериев связана с оценкой площадной пораженности геосфер природными и антропогенными геологическими процессами, а ресурсная — с оценкой ресурсов, необходимых для нормального существования биоты, включая человеческое сообщество.

Косвенные критерии оценки позволяют оценить современное состояние геосфер опосредованно, через критерии оценки смежных сред, с которыми они тесно взаимодействуют (атмосфера и почвы, атмосфера и растительность и т.д.).

Индикаторные (индикационные) критерии оценки, как правило, дают общую картину состояния той или иной геосферы (компонента природной среды).

Не останавливаясь на общеизвестных нормативных и директивных документах, используемых при оценке современного состояния отдельных природных сред, акцентируем внимание на рассмотрении их специфических особенностей, методически важных при проведении экологических экспертиз.

14.1. Атмосфера.

Оценка состояния атмосферы при проведении экологической экспертизы основана на интегральной оценке загрязнения воздушного бассейна исследуемой территории, для определения которой используется система прямых, косвенных и индикаторных критериев.

Прямые критерии оценки. Основными критериями состояния загрязнения воздушного бассейна являются величины предельно допустимых концентраций (ПДК), утвержденных еще Минздравом СССР для вредных веществ, оказывающих отрицательное воздействие на здоровье человека. При этом следует учитывать, что атмосфера занимает особое положение в экосистеме, являясь средой переноса техногенных загрязнителей и наиболее изменяемой и динамичной из всех составляющих ее абиотических компонентов. Поэтому для оценки степени загрязнения атмосферы применяются максимально разовые ПДК_{мр} — для краткосрочных эффектов и среднесуточные ПДК_{сс} и среднегодовые ПДК_г — для длительного воздействия.

Степень загрязнения воздуха оценивается по кратности и частоте превышения ПДК с учетом класса опасности, суммации биологического действия загрязняющих веществ. Уровень загрязнения воздуха веществами разных классов опасности определяется «приведением» их концентраций,

нормированных по ПДК, к концентрациям веществ 3-го класса опасности. Используются фактические максимально разовые, среднесуточные и среднегодовые концентрации за последние несколько лет, но не менее чем за 2 года.

Другим важным критерием оценки суммарного загрязнения атмосферного воздуха (различными веществами по среднегодовым концентрациям) является величина комплексного показателя (P), равная корню квадратному из суммы квадратов концентраций веществ различных классов опасности, нормированных по ПДК и приведенных к концентрациям веществ 3-го класса опасности.

Атмосферный воздух является начальным звеном в цепочке загрязнений природных сред и объектов. В отдельных случаях почва и поверхностные воды могут быть источниками вторичного загрязнения атмосферы или, наоборот, показателями ее загрязнения. Такое положение определяет необходимость помимо оценки загрязнения непосредственно воздушного бассейна учет возможных последствий влияния загрязнения атмосферы на сопредельные среды и получения интегральной (комплексной) оценки состояния атмосферы. Оптимальная система компонентов (элементов) интегральной оценки состояния атмосферного воздуха должна включать оценки: 1) уровней загрязнения с санитарных и гигиенических позиций; 2) ресурсного потенциала атмосферы; 3) степени влияния на определенные среды: почвенно-растительный покров и поверхностные воды; 4) тенденций и интенсивности (скорости) процессов антропогенного развития экспортируемой природно-технической системы для выявления краткосрочных и долгосрочных эффектов воздействия; 5) определение пространственного и временного масштабов возможных негативных последствий антропогенного воздействия.

Загрязняющие вещества в воздушном бассейне по вероятности их неблагоприятного влияния на здоровье населения делятся на четыре

класса: 1-й — чрезвычайно опасные вещества; 2 - й — высоко опасные; 3-й — умеренно опасные и 4-й — мало опасные.

Наиболее общим и информативным показателем загрязнения воздуха является КИЗА — комплексный показатель среднегодового загрязнения атмосферы. Его количественное ранжирование по классу стояние атмосферы приведено в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Критерии оценки состояния загрязнения атмосферы по комплексному индексу (КИЗА)

| ПОКАЗАТЕЛИ | Классы экологического состояния атмосферы | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------|--------------|
| | Нормы (Н) | Риска (Р) | Кризиса (К) | Бедствия (Б) |
| Уровни загрязнения воздуха (J_m) | < 5 | 5 – 8 | 8 – 15 | > 15 |

Приведенное ранжирование по классам состояния атмосферы выполнено в соответствии с классификацией уровней загрязнения воздуха по четырехбалльной шкале, где класс нормы соответствует уровню загрязнения воздуха ниже среднего по городам страны, класс риска равен среднему уровню, класс кризиса выше среднего уровня, а класс бедствия значительно выше среднего уровня.

КИЗА применяется для сравнения загрязнения атмосферы различных участков исследуемой территории (городов, районов и т.д.) и для оценки временной (многолетней) тенденции изменения состояния загрязнения атмосферы.

Ресурсный потенциал атмосферы территории определяется ее способностью к рассеиванию и выведению примесей, соотношением фактического уровня загрязнения и величиной ПДК. Оценка рассеивающей способности атмосферы основана на величине таких комплексных климатических или метеорологических показателей, как

потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) и параметр потребления воздуха (ПВ). Эти характеристики определяют особенности формирования уровней загрязнения в зависимости от метеоусловий, способствующих накоплению и выведению примеси из атмосферы.

ПЗА — комплексная характеристика повторяемости метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания примеси в воздушном бассейне. На территории страны выделены пять классов ПЗА, характерных для городских условий, в зависимости от повторяемости приземных инверсий и застоев, слабых ветров и продолжительности туманов.

Параметр потребления воздуха (ПВ) представляет собой объем чистого воздуха, необходимый для разбавления выбросов загрязняющих веществ до уровня средней концентрации.

В качестве критерия для оценки оптимального размещения источников загрязнения атмосферы и селитебных территорий используется величина резерва (дефицита) рассеивающих свойств (ВР) атмосферного воздуха.

Оценка ресурсного потенциала атмосферы проводится с учетом гигиенического обоснования комфортности климата территории, возможности использования территории в рекреационных и селитебных целях. Важной исходной составляющей при этой оценке является физиолого-гигиеническая классификация погод (т.е. сочетания таких метеофакторов, как температура и влажность воздуха, солнечная радиация и др.) холодного и теплого периодов года.

Косвенными показателями оценки загрязненности атмосферы является интенсивность поступления атмосферной примеси в результате сухого осаждения на почвенный покров и водные объекты и вымывания ее атмосферными осадками.

Критерием этой оценки служит величина допустимых и критических нагрузок, выраженных в единицах плотности выпадений с учетом временного интервала (длительности) их поступления.

Группой экспертов северных европейских стран рекомендованы следующие критические нагрузки для кислых лесных почв, поверхностных и грунтовых вод (с учетом совокупности химических изменений и биологических эффектов для этих сред):

— для соединений серы 0,2 — 0,4 гS кв. м/год;

— для соединений азота 1 — 2 г N кв. м/год.

Завершающим этапом комплексной оценки состояния загрязненности атмосферного воздуха является анализ тенденций динамики техногенных процессов. Необходима, также оценка возможных негативных их последствий в перспективе на локальном и региональном уровнях. При анализе пространственных особенностей и временной динамики последствий воздействия загрязнения атмосферы на здоровье населения и состояние экосистемы применяется метод картографирования с использованием набора картографических материалов, характеризующих природные условия региона, включая наличие заповедных территорий.

14.2. Поверхностная гидросфера.

Оценка качества поверхностных вод (степени загрязненности) хорошо разработана и базируется на представительном пакете нормативных и директивных документов, использующих прямые гидрогеохимические критерии оценки.

Индикационные критерии оценки. В последние годы биоиндикация получила достаточно широкое распространение при оценках качества поверхностных вод. Она по функциональному состоянию (поведению) тест-объектов (ракообразные — дафнии, водоросли — хлорелла, рыбы — гуппии) позволяет ранжировать воды по классам состояний (нормы, риска, кризиса, бедствия) и по существу дает интегральную оценку их качества и определяет возможность использования воды для питьевых целей. Лимитирующим фактором использования метода биотестирования

является продолжительный срок проведения анализа (не менее 96 часов) и отсутствие информации о химическом составе воды. Пример использования биотестов для определения качества воды приводится в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Критерии оценки состояния поверхностных и сточных вод на основе биотестов (по состоянию тест-объекта)

| Оценочные показатели (тест-объекты) | Классы состояния поверхностных вод | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| | Нормы (Н) (нормальная степень загрязнения) | Риска (Р) (малой степени загрязнения) | Кризиса (К) (средней степени загрязнения) | Бедствия (Б) (катастрофическая степень загрязнения) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ракообразные (дафнии) | < 10 | 10 — 20 | 20 — 60 | > 60 |
| Водоросли (хлорелла) | < 10 | 10 — 20 | 20 — 60 | > 60 |
| Рыбы (гупии) | < 10 | 10 — 20 | 20 — 60 | > 60 |

Примечание:

Цифры в таблице:

— для дафний — % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде;

— для хлорелл — % уменьшения числа клеток в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде по сравнению с контрольной;

— для гупий — % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде.

Ресурсные критерии оценки. Для поверхностных вод в качестве критериев оценки их ресурсов можно рекомендовать два наиболее емких показателя — величина поверхностного или речного стока или изменение его режима применительно к определенному бассейну и объема возможного единовременного отбора.

Сами критерии являются общепринятыми и используемыми в нормативных документах, а их градация по классам состояния поверхностных вод договорная и опирается на публикации специалистов.

Эти критерии, с ранжированием по классам состояния, приведены в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Ресурсные критерии оценки поверхностных вод

| Оценочные показатели | I Нормы (Н) | II Риска (Р) | III Кризиса (К) | IV Бедствия (Б) |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Изменение речного стока (в % от первоначального) | < 15 | 15 — 20 | 50 — 75 | > 75 |
| Объем возможного единовременного водоотбора (м ³ /с) | > 5 | 1 — 5 | < 1 | Отсутствует |

Фоновые значения качества вод. Особые сложности имеются в вопросе о составе показателей, отражающих гидрофизическое, гидрохимическое и биологическое состояние водных систем. Для этих целей наряду с известными показателями концентраций веществ и соединений часто предлагается использовать следующие интегральные показатели:

- индексы сапробности (по Сладечку или Ватанабе);
- степень прозрачности (по диску Секки);
- уровень хлорофилла (для непроточных вод);
- содержание нитратов, фосфатов, хлоридов, сульфатов;
- валовая суточная продукция фитопланктона;
- биомасса фитопланктона;
- удельная электропроводность и некоторые другие.

Индексы сапробности, показатели продукции фитопланктона и его биомассы характеризуют состояние воды по ее биоте. Это направление оценки качества водных систем относится к биоиндикации. Его

достоинством является возможность комплексной оценки степени загрязненности вод (степени токсичности) даже в отсутствии информации о структуре загрязнителей.

Фоновые значения этих характеристик для различных классов вод приведены в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Фоновые значения характеристик качества различных классов вод

| Показатель | Класс качества воды | | | | |
|------------------------------------------|---------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | II | III | IV | V |
| Индекс сапробности: | | | | | |
| по Сладечку | 0—0,5 | 0,5—1,5 | 1,5—2,5 | 2,5—3,5 | 3,5—4,0 |
| по Ватанабе | 85—100 | 50—85 | 30—50 | 15—30 | 0—15 |
| Прозрачность, м: | | | | | |
| проточные водоемы | 3 | 0,5—0,7 | 0,3—0,5 | 0,1—0,3 | 0,05—0,1 |
| непроточные водоемы | 6 | 4 | 2 | 1 | 0,5 |
| Хлорофилл «а», кг/л | | | | | |
| (для непроточных вод) | 3 | 8 | 15 | 30 | 60 |
| Валовая суточная продукция фитопланктона | 0—1,5 | 1,5—4,5 | 4,5—7,5 | 4,5—7,5 | 10,5—12,0 |
| Биомасса фитопланктона, мг/л | 0—0,1 | 0,1—1,0 | 1,0—5,0 | 5,0—50,0 | 50—100 |
| Удельная электропроводность (мкС/см): | | | | | |
| проточные водоемы | <400 | 700 | 1100 | 1300 | 1600 |
| непроточные водоемы | 150 | 250—300 | 500 | 1000 | 1000 |
| Концентрация NO_3^- , мг/л | <0,05 | 0,05—0,2 | 0,2—1,0 | 1,0—2,0 | >2 |
| Концентрация PO_4^{3-} , мг/л; | | | | | |
| проточные водоемы | <0,005 | 0,005—0,015 | 0,015—0,1 | 0,1—0,3 | >0,3 |
| непроточные водоемы | <0,01 | 0,01—0,02 | 0,02—0,04 | 0,04—0,08 | >0,08 |

Индексы сапробности и показатели продуктивности и массы биопланктона отражают способность организмов существовать в

загрязненной органическими соединениями среде. Их количественные характеристики определяются по набору растений-индикаторов и их обилию в водной среде. Методика их расчета апробирована во многих странах, в том числе в СНГ, вследствие чего индексы сапробности получили достаточно широкое распространение в практике оценки экологического качества водных систем разной категории.

Прозрачность воды определяет глубину проникновения солнечных лучей в ее толщу и зависит от концентрации минеральных и органических соединений в ее слоях.

Удельная электропроводность водного слоя также определяет общий уровень его загрязнения химическими веществами и соединениями. Повышение их концентрации ведет к увеличению ее значения.

Соединения азота и фосфора необходимы для жизни биоорганизмов, рост их концентрации свидетельствует об интенсификации продукционно-деструкционных процессов, что ведет к общему снижению качества водных систем.

14.3. Подземная гидросфера (подземные воды).

Оценка качества (состояния) подземных вод четко регламентирована нормативными и директивными документами и устанавливается по отношению к ПДК. Для оценки масштабов техногенного загрязнения подземных вод предлагается ввести физические точки их отсчета. Такими точками отсчета могут быть качество подземных вод в естественном состоянии (C_e) предельно-допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ в подземных водах, используемых для питьевых целей.

Кроме того, для характеристики масштабов загрязнения подземных вод важное значение имеет размер площади (F) области загрязнения. Таким образом, состояние загрязнения подземных вод дается по двум показателям: качеству подземных вод (C) и размерам области загрязнения

(F). На этой основе выделяется четыре уровня состояния подземных вод или классов их состояний:

— относительного благополучия (класс нормы). В основном качество подземных вод соизмеримо с C_e , может превышать его, но не выходить за рамки ПДК, то есть: $C_e < C/ПДК$, при этом области загрязнения или вообще отсутствуют, или незначительны по размерам ($P < 0,5 \text{ км}^2$);

— проявление постоянных тенденций негативных изменений (класс риска). Качество подземных вод непрерывно ухудшается, оно достигло ПДК или превышает его, но не свыше 3 — 5 ПДК на отдельных участках (F от 0,5 до 5 км^2);

— кризисное состояние (класс кризиса). Качество подземных вод на больших площадях существенно превышает ПДК (до 10 раз), то есть $ПДК < C/ПДК$, при этом размеры площадей загрязнения меняются от 5 до 10 км;

— бедственное состояние (класс бедствия). Качество подземных вод в зоне загрязнения более 10 ПДК с тенденцией к ухудшению, при этом размеры площадей загрязнения более 10 км с тенденцией к увеличению.

В первой зоне не требуется никаких специальных природоохранных мер, кроме соблюдения требований законодательства и осуществления контроля за состоянием подземных вод.

Во второй зоне должны быть предусмотрены ограничительные меры.

В третьей и четвертой зонах необходимо незамедлительное осуществление специальных защитных мер.

Для подземных вод в качестве критериев оценки их ресурсов можно рекомендовать несколько основных показателей. Модуль эксплуатационных запасов (л/с с км^2 территорий), который при необходимости может быть дифференцирован по водоносным горизонтам, используемым для централизованного водоснабжения и величину сработки водоносных горизонтов. Эти показатели наиболее целесообразно использовать на предпроектной стадии работ.

15. Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Почва. Литосфера).

15.1. Педосфера (почвы).

К прямым критериям оценки состояния собственно почвенного покрова относятся характеристики его загрязнения различными токсикантами. Все их многообразие рассмотрено в соответствующих нормативных документах. Анализ публикаций по этому вопросу позволяет предложить укрупненные показатели оценки техногенной загрязненности почв с количественным ранжированием значений по классам состояний (табл. 15.1).

Таблица 15.1

Укрупненные показатели оценки техногенной загрязненности почвенного покрова

| Критерии (показатели оценки) | Размерность | Классы состояния | | | |
|--------------------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| | | I Нормы (Н) | II Риска (Р) | III Кризиса (К) | IV Бедствия (Б) |
| 1. Содержание легкорастворимых солей | В весовых % | < 0,6 | 0,6 — 1,0 | 1,0 — 3,0 | > 3,0 |
| 2. Содержание токсичных солей | — | < 0,3 | 0,3 — 0,4 | 0,4 — 0,6 | > 0,6 |
| 3. Содержание пестицидов | В ПДК | < 0,1 | 1,0 — 2,0 | 2,0 — 5,0 | > 5,0 |
| 4. Содержание полютантов | ВПДК | < 0,1 | 1,0 — 3,0 | 3,0 — 10,0 | > 10,0 |
| 5. Содержание нефти и нефтепродуктов | В весовых % | < 0,1 | 1,0 — 5,0 | 5,0 — 10,0 | > 10,0 |

Ресурсные критерии оценки состояния педосферы приведены выше, как основные для оценки состояния всей экосистемы.

Индикационные критерии оценки состояния почв основаны на их генотоксичности (влиянии на биоту) и реализуются через уровень активной микробной биомассы (снижение в число раз), биомассу

почвенной мезофауны и численность почвенных микроартопод (колибалы, арбатидные клещи) от нормального природного уровня. Они ранжируются по классам состояний почвы и одновременно могут быть использованы для оценки состояния экосистемы. Все они направляют ход почвенных микробиологических процессов и осуществляют так называемые «цепи питания» в почвах, что позволяет считать учет их численности и массы интегральным показателем биогенности почвы (табл. 15.2).

Таблица 15.2

Динамические критерии нарушения земельных зон (в %)

| Показатели (средние за 5—8 лет наблюдения) | I Нормы (Н) | II Риска (Р) | III Кризиса (К) | IV Бедствия (Б) |
|--------------------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Увеличение площади нарушенных экосистем | Менее 1,0 | 1–2 | 2–4 | Более 4 |
| Уменьшение годичной растительной продукции | Менее 1,0 | 1–3,5 | 3,5–7,5 | Более 7,5 |
| Увеличение площади сбитых пастбищ | Менее 2,0 | 2–5 | 5–8 | Более 8,0 |
| Увеличение площади эродированных земель | Менее 0,5 | 0,5–2 | 2–5 | Более 5,0 |
| Увеличение площади засоленных почв | Менее 1,0 | 1–2 | 2–5 | Более 5,0 |

15.2. Литосфера

Отличительной чертой этой геосферной оболочки является ее многокомпонентность, включающая в себя рельеф, приповерхностную часть литосферы (собственно геологическую среду) и развитые на территории природные и антропогенные геологические процессы. Соответственно, требуется более представительный состав критериев оценки и особые подходы к их интеграции.

Прямые критерии оценки. Группа геохимических критериев. Их применение основано на сопоставлении существующего загрязнения литосферы и ее компонентов (без подземных вод) с ПДК или фоном с

учетом токсичности загрязнителя. В общем виде такая оценка с ранжировкой по классам состояний показана в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Прямые критерии оценки состояния литосферы

| Оценочные показатели | Классы состояния | | | |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | I | II | III | IV |
| | Номы (незагрязненного) | Риска (ограниченно загрязнен- ного) | Кризиса (сильно загрязненного) | Бедствие (катастрофически загрязненного) |
| Концентрация всех определяемых элементов и соединений | Фоновые или ниже ПДК | Компоненты 2-го и 3-го классов опасности в пределах 1–5 ПДК; 1-го класса опасности на уровне ПДК | Компоненты 2-го и 3-го классов опасности в пределах 5–10 ПДК; 1-го класса опасности на уровне 1–5 ПДК | Компоненты 2-го и 3-го классов опасности более 10 ПДК; 1-го класса опасности превышает ПДК более чем в 5 раз |

Предлагаемая таблица позволяет оценить состояние литосферы и ее компонентов по любому загрязнителю или их сумме.

Геодинамическая группа критериев используется преимущественно для оценки состояния рельефа и развития природных и техногенно активизированных геологических процессов. Для рельефа и подземного пространства можно предложить два показателя: площадь и глубину техногенной переработки (нарушенности, освоенности, застроенности). Пример использования этих показателей приведен в табл. 15.4.

Рекомендованные градации критерия оценки достаточно условны (научного обоснования для них не существует) и ориентированы, главным образом, для предварительной оценки измененности рельефа на стадии предпроектных проработок. На стадии проекта критерий оценки может быть трансформирован по количественному значению выделяемых

градаций в соответствии с конкретными условиями территории и характером планируемого техногенного воздействия.

Таблица 15.4

Оценка активизированных геологических процессов

| Оценочные показатели: Показатели измененности рельефа (договорные) | Размерность | Классы экологического состояния территорий | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|
| | | Благоприятного | Ограниченно благоприятного | Неблагоприятного | Катастрофического |
| 1. Площадь техногенного рельефа к площади участка | % | До 10% | 10—25 | 25—50 | более 50 |
| 2. Техногенный размах рельефа | | До 10м | 10—20 | 20—50 | — |
| 3. Площади подработанных территорий | % | < 10 | 10 — 20 | > 20 | — |

Оценка площадной и относительной пораженности территории природными и антропогенными геологическими процессами изложена во многих публикациях, однако узаконенных, нормированных количественных значений пока не имеет. Разработки сотрудников ВСЕГИНГЕО, МГУ позволяют предложить следующую шкалу оценок (табл. 15.5).

При практической реализации предложенных критериев оценки необходимо учитывать, что ключевым моментом является выделение для каждой территории ведущих, наиболее опасных геологических процессов или их парагенезов. Критерием их выделения является оценка экологического и экономического ущерба для данной территории при определенных видах техногенного воздействия.

Интегральная оценка измененности геологической среды. В настоящее время существует несколько методических подходов к суммарной

(интегральной) оценке современного состояния геологической среды и степени ее измененности.

Таблица 15.5

Оценка рельефа по развитию геологических процессов

| Оценочные показатели | Классы состояния | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | I (Н) | II (Р) | III (К) | IV (Б) |
| Площадная пораженность территории опасными геологическими процессами (ОГП) в %. | <5 | 5—25 | 25—50 | >50 |
| Сложность инженерно-геологических условий и меры инженерной защиты от ОГП | Несложные, локальные меры инженерной защиты | Сложные, инженерная защита необходима на ограниченной территории | Весьма сложная, необходима повсеместная инженерная защита | Зоны систематического проявления катастрофических геологических процессов (извержение вулканов, наводнение и т. д.), меры инженерной защиты не гарантируют безопасности |

Первый способ базируется на использовании двухрядной матрицы, на которой по вертикальной шкале располагаются анализируемые компоненты геологической среды с разбивкой по степени измененности, а по горизонтальной шкале — группы оценочных критериев. Все они индексируются, что позволяет на пересечении вертикальных и горизонтальных граф получить искомую оценку состояния каждого компонента ГС по степени измененности по всем оценочным критериям. На карту выносятся индекс, а его расшифровка дается в экспликации. Суммарный учет частных оценок проводится путем учета наиболее измененных компонентов геологической среды с составлением карт

«семафорного» типа с указанием в каждом выделенном контуре через циклограммы степень и характер измененности.

Для практической реализации такого подхода можно рекомендовать отбраковку второстепенных критериев оценки и выбор определяющих и учет только тех компонентов среды, на которые ожидается основное антропогенное воздействие. Другой путь показа суммарной оценки — отражение ее не на одной, а на нескольких оценочных картах. Очевидно, что критерии оценки геогидрохимической группы целесообразно объединить на одной карте, геологическую основу которой будет составлять либо оценка защищенности от загрязнения первого от поверхности водоносного горизонта, либо в более широком плане учет чувствительности территории к техногенному загрязнению. Критерии оценки остальных групп (инженерно-геологической, гидродинамической, ландшафтной и ресурсной) следует показать на другой карте, геологическую основу которой составляют таксоны типологического, инженерно-геологического районирования с выделением типов строения геологической среды на глубину техногенного воздействия. Общей рекомендацией следует считать выбор и отражение на карте не более 4 — 5 критериев оценки по единой шкале градации измененности ГС.

Второй способ (метод) получения суммарных (интегральных) оценок степени геоэкологической измененности территории реализуется через учет коэффициента площадной пораженности и относительной изменности, путем их суммирования по всем рассматриваемым критериям и компонентам среды.

Для каждого вида воздействия определяется площадь пораженности S_i по градациям степени измененности. Далее определяется отношение площади пораженности к оцениваемой площади (S_i), что соответствует коэффициенту относительной измененности (K_{pi}), определяется для

каждого вида воздействия с учетом степени измененности (интенсивности пораженности) по формуле 15.1,

$$G_i = K_{pi} \cdot n_i \quad (15.1)$$

где n_i — интенсивность пораженности (градации). Затем он суммируется с G_i , и полученная величина отражает суммарную (интегральную) измененность территории таксона районирования.

Такая оценка является относительной, хотя и характеризует вполне определенные (в физическом выражении) участки территории, пораженные тем или иным видом антропогенного воздействия.

Таковы в общих чертах методические подходы и правила, которые рекомендуются к использованию при проведении экологических экспертиз территорий. Они в равной мере относятся как к составителям и разработчикам ОВОС, так и членам экспертных комиссий

16. Эргодемографические критерии состояния территории.

Вариабельность природно-производственных комплексов в значительной мере определяется плотностью населения и техногенной насыщенностью территории, хотя принадлежность ее к определенной природно-климатической зоне тоже имеет больше значение. В соответствии с энергетическим подходом к соизмерению природных и производственных потенциалов территории зональная принадлежность и производственная насыщенность территории могут быть количественно оценены с помощью энергетических показателей. Масштаб технической энергетики и плотность населения, отнесенные к биотическому потенциалу территории, характеризуют эколого-экономические системы разных типов. Поэтому в основу типизации может быть взят «эргодемографический индекс» (ЭДИ – рассчитывается по формуле 16.1 [3]:

$$\text{ЭДИ} = \frac{7 \cdot 10^{-6} \rho_E}{\rho_0 R_S S} \quad (16.1)$$

где ρ — средняя плотность населения территории (чел./км²); ρ_0 — средняя плотность населения страны (для РФ — 8,5 чел./км²); R_s — суммарная солнечная радиация на данной территории (т.у.т./см² · год, рассчитывается по графику на рис. 16.1); S — площадь территории (км²); E — общий расход топлива, горючего и топливных эквивалентов электроэнергии на территории (т.у.т./год), рассчитывается по табл. 16.1 и формуле 16.2:

$$E = 123\mathcal{E} + 143T + 0,85Y + 1,1\Gamma + 1,55Ж + 0,38Д \quad (16.2)$$

где \mathcal{E} — потребление в территории электроэнергии, полученной от местных нетопливных источников (ГЭС, АЭС) или импортированной из соседних территорий (млн. кВт · ч/год); T — импортированная тепловая энергия (тыс. Гкал/год); Y — сжигание угля в топках территории (т/год); Γ — сжигание газа (тыс. м³/год); $Ж$ — сжигание жидкого топлива (мазут, дизельное топливо, бензин и др.) стационарными и мобильными потребителями (т/год); $Д$ — сжигание растительного топлива и торфа (т/год).

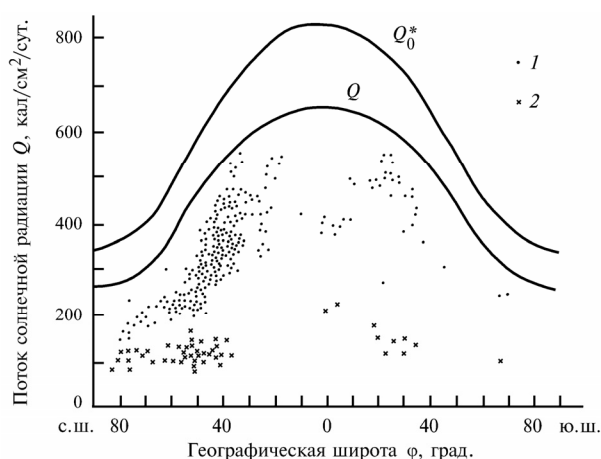


Рис. 16.1. Зависимость среднегодового значения суточной суммы радиации на верхней границе атмосферы (Q_0^*), на уровне земной поверхности при безоблачном небе (Q_0) и фактически зарегистрированных величин Q суммарной (1) и рассеянной (2) радиации от географической широты [Федоров, Гильманов, 1980].

Таблица 16.1

Таблица перевода единиц энергии

| Единица энергии | Дж | кал | кгс × м | КВт × ч | Т у.т.* |
|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Дж | 1 | 0,239 | 0,102 | $2,78 \times 10^{-7}$ | $3,41 \times 10^{-11}$ |
| кал | 4,187 | 1 | 0,427 | $1,16 \times 10^{-6}$ | $1,43 \times 10^{-10}$ |
| кгс × м | 9,81 | 2,342 | 1 | $2,65 \times 10^{-6}$ | $3,34 \times 10^{-10}$ |
| КВт × ч | $3,60 \times 10^6$ | $8,60 \times 10^5$ | $3,67 \times 10^5$ | 1 | $1,23 \times 10^{-4}$ |
| Т у.т. | $2,93 \times 10^{10}$ | 7×10^9 | $2,99 \times 10^9$ | $8,15 \times 10^3$ | 1 |

*Т у.т. – тонна условного топлива (угольный эквивалент) [Акимова, Хаскин, 2000].

Таблица 16.2

Каталог типов эколого-экономических систем и эргодемографические индексы территорий с различной степенью хозяйственного освоения*

| Тип ЭЭС | Краткое описание территориального комплекса | ЭДИ |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| I | Заповедники, государственные природные заказники, национальные парки; малонаселенные хозяйственно неосвоенные территории | 0 — 5 |
| II | Районы без крупных населенных пунктов, лесное и сельское хозяйство, имеются значительные площади необразованных ландшафтов | 5 — 10 |
| III | Небольшие города и поселки с перерабатывающей промышленностью местного значения; в окрестностях - сельскохозяйственные территории с преобладанием площади агроценозов | 10 — 50 |
| IV | Преимущественно аграрные или лесохозяйственные территории с наличием единичных крупных объектов энергетики, добывающей или перерабатывающей промышленности; вахтовые поселки | 50 — 100 |
| V | Средний город с крупными промышленными предприятиями небольшого числа отраслей и с отчетливым функциональным зонированием территории; в окружении аграрного или аграрно-лесного ландшафта | 100 — 300 |
| VI | Крупный город с многоотраслевым промышленным узлом, интенсивными транспортными магистралями в окружении лесного или аграрно-лесного ландшафта | 300 — 500 |
| VII | Очень крупный промышленный центр с большой концентрацией различных отраслей индустрии и транспорта, без отчетливого функционального зонирования территории и с индустриально преобразованным окружающим ландшафтом | 500 — 1000 |

*Классификация относится к территориям площадью от 500 до 2500 км² [Акимова, Хаскин, 1994].

В зависимости от конкретных условий ЭДИ (рассчитывается по формуле 16.1) может варьировать в пределах нескольких порядков, что позволяет довольно отчетливо контрастировать различные территориальные комплексы. В табл. 16.2 представлена классификация ЭЭС, основанная на таком подходе.

Разумеется, полная классификация не может ограничиваться только такой обобщенной характеристикой, она должна включать также сведения об отраслевой структуре и о качестве техногенных потоков загрязнения среды. Но в этом случае число градаций намного увеличится.

17. Критерии экологической техноемкости территории.

Экологическая техноемкость территории (ЭТТ) — это обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительно времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств. Синонимом ЭТТ является предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН) [3].

Расчет превышения ЭТТ сводится к определению фактической интегральной техногенной нагрузки на определенную территорию или совокупность реципиентов и сопоставлению ее с предельно допустимой техногенной нагрузкой на эту территорию. В случае химического или радиационного загрязнения эта задача совпадает с задачей определения K_p — суммарной кратности превышения нормативно допустимой загрязненности среды обитания людей. Поскольку для расчетов K_p требуется большой объем численной информации об эмиссии многих веществ из многих источников и сложная процедура обработки, и так как оценка K_p не охватывает всех форм экологического поражения, были

предложены методы косвенного расчета экологической техноемкости территории.

Расчет ЭТТ основан на эмпирически подтвержденном допущении, согласно которому ЭТТ составляет долю общей экологической емкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеристического состава среды от естественного уровня и его колебаний. Превышение этого уровня изменчивости приписывается антропогенным воздействиям, достигшим предела устойчивости природного комплекса территории. Если трем компонентам среды обитания — воздуху, воде и земле (включая биоту экосистем и совокупность реципиентов) приписывать индексы соответственно 1, 2 и 3, то ЭТТ приближенно вычислена по формуле 17.1:

$$H_T = \sum \mathcal{E}_i X_i \tau_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (17.1)$$

где H_T — оценка ЭТТ, выраженная в единицах массовой техногенной нагрузки (усл. т/год); \mathcal{E}_i — оценка экологической емкости i -среды (т/год); X_i — коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде; τ_i — коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей).

Экологическая емкость каждого компонента среды рассчитывается по формуле 17.2:

$$\mathcal{E} = V \times C \times F \quad (17.2)$$

где V — экстенсивный параметр, определяемый размером территории, площадь (км^2) или объем (км^3) (для воздуха $V_1 = S h_z$, где S — площадь территории, h_z — приведенная высота слоя воздуха (км), подвергающегося техногенному загрязнению (в зависимости от типа ландшафта от 0,01 до 0,05 км); для воды V_2 — полный среднегодовой объем всех поверхностных водоемов и водотоков территории (км^3); для земли $V_3 = S$); C — содержание (концентрация, плотность) главных экологически значимых субстанций в i -й среде (т/км^2 или т/км^3): для воздуха (содержание

кислорода и углекислого газа) $C = 3 \cdot 10^5$ т/км³; для воды $C_2 = 10^9$ т/км³; для земли C_3 — плотность поверхностного распределения сухого вещества биомассы территории (т/км²); F — скорость кратного обновления объема или массы среды (год⁻¹): для воздуха — $F_1 = 55896v/s^{1/2}$, где v — годовая средняя скорость ветра (м/с); для воды $F_2 = (0,0315f + 3 \cdot 10^{-6} Ws)/V$, где f — сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию (м³/с); W — среднее годовое количество осадков (мм); для биоценозов территории $F_3 = P_B/V$, где P_B — средняя годовая продукция сухого вещества биомассы (т/год, см. табл. 17.1); $V = C_3 V_3$ — среднегодовая биомасса сухого вещества (т).

Таблица 17.1

Биомасса и первичная продуктивность основных типов экосистем биосферы (сухое вещество) [3]

| Экосистемы | Биомасса, т/га | Продукция, т/га · год |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| Пустыни | 0,1-0,5 | 0,1-0,5 |
| Центральные зоны океана | 0,2-1,5 | 0,5-2,5 |
| Полярные моря | 1,0-7,0 | 3,0-6,0 |
| Тундра | 1,0-8,0 | 1,0-4,0 |
| Степи | 5,0-12,0 | 3,0-8,0 |
| Агроценозы | — | 3,0-10,0 |
| Саванна | 8,0-20,0 | 4,0-15,0 |
| Тайга | 70,0-150,0 | 5,0-10,0 |
| Лиственный лес | 100,0-250,0 | 10,0-30,0 |
| Влажный тропический лес | 500,0-1500,0 | 25,0-60,0 |
| Коралловый риф | 15,0-50,0 | 50,0-120,0 |

Примечание. В некоторых экосистемах годовая продукция может быть больше среднегодовой биомассы из-за малой продолжительности жизни большинства продуктивных форм.

Значения коэффициента X : для воздуха (естественные колебания содержания кислорода и углекислого газа в атмосферном воздухе) $X_1 = 3 \cdot 10^{-6}$; для воды равнинных рек и озер $X_2 = (4 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$; для

биоты на основании данных о дисперсиях продукции биоценозов $X_3 = 0,43 \cdot F_3$, т.е. в зависимости от биоценозов от 0,03 до 1.

Экологическая техноёмкость территории или суммарная предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН) может быть приближенно оценена на основе энергетического подхода. В таком случае расчет основан на ограничении техногенной нагрузки максимальной возможностью природного комплекса территории сохранять целостность экосистем и качество среды путем преобразования солнечной энергии для процессов самоочищения и регенерации.

Энергетический эквивалент суммарной ПДТН рассчитывается по формуле 17.3,

$$E = \gamma (72R + 123W + 0,6P) S - K_e N \quad (17.3)$$

где E — предельно допустимое потребление топлива и энергии (в топливных эквивалентах) на данной территории на нужды производства и транспорта (т.у.т./год); γ — коэффициент, учитывающий антропогенную насыщенность территории; R — радиационный баланс территории (по материалам климатического описания) (ккал/см² · год); W — средний модуль поверхностного стока (м³/га · сут.); при отсутствии прямых данных для большинства районов России $W \approx 0,01w$, где w — годовое количество осадков (мм); P — удельная продукция сухого вещества биомассы (т/км² · год, см. табл. 20); S — площадь территории (км²); K_e — нормативный минимум бытового расхода энергии на одного человека за год; в зависимости от климатических условий в пределах России K_e изменяется от 0,5 до 1,5 т.у.т./чел. · год; N — общая численность населения территории (чел.).

Коэффициент, учитывающий антропогенную насыщенность территории, рассчитывается по формуле 17.4:

$$\gamma = 1 + \lg I_{\text{Эд}} \quad (17.4)$$

где $I_{\text{Эд}}$ — «эргодемографический индекс» территории.

18. Критерии демографической напряженности территории.

Количественное выражение этого критерия осуществляется с помощью нескольких известных показателей и их относительной значимости [3].

Индекс демографической напряженности в территории рассчитывается по формуле 18.1,

$$\text{ИДН} = Y \lg \rho (0,1Z - 2P + C) \cdot C_d^2 \nu \quad (18.1)$$

где Y — степень урбанизации территории: для площади (от 0 до 1); ρ — плотность населения, чел./км²; Z — общая годовая заболеваемость населения (на 1000); P — рождаемость (на 1000); C — общая смертность (на 1000); C_d — детская смертность (на 1000); $\nu = 10^{-4}$ масштабный множитель, при котором ИДН = 1.

19. Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории.

19.1. Медико-демографические критерии состояния территории.

Состояние здоровья населения оценивают в совокупности с критериями и показателями загрязнения окружающей среды.

К основным медико-демографическим показателям отнесены: заболеваемость, детская смертность, медико-генетические нарушения, специфические и онкологические заболевания, связанные с загрязнением окружающей среды.

Примеры показателей и параметров, характеризующих медико-демографические критерии, приведены в табл. 19.1.

Показатели на обследованных территориях (раздельно для городского и сельского населения) сравнивают с показателями контрольных (фоновых) территорий. В качестве контрольных используют те территории, где регистрируются наиболее благоприятные значения медико-демографических показателей [27].

Таблица 19.1

Медико-демографические критерии состояния здоровья населения*

| Показатели | Параметры зоны | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| | Экологического бедствия | Чрезвычайной ситуации |
| 1 | 2 | 3 |
| Основные показатели | | |
| Изменение структуры и увеличение перинатальной смертности | в 1,5 раза и более | От 1,3 до 1,5 раза |
| Увеличение детской смертности: младенческой (до 1 года) детской (1—4 года) | в 1,5 раза и более в 1,5 раза и более | От 1,3 до 1,5 раза От 1,3 до 1,5 раза |
| Медико-генетические показатели | | |
| Увеличение частоты врожденных пороков развития новорожденного и спонтанных выкидышей | в 1,5 раза и более | От 1,3 до 1,5 раза |
| Изменение заболеваемости детей и взрослых: увеличение распространенности по отдельным нозологическим формам и возрастным группам, изменение структуры заболеваемости онкологические заболевания (заболеваемость и смертность): отдельные формы злокачественные новообразования у детей | в 2 раза и более в 2 раза и более в 2 раза и более | От 1,5 до 2 раз От 1,5 до 2 раз От 1,5 до 2 раз |
| Специфические заболевания, связанные с загрязненностью территории | Наличие таких заболеваний | |
| Дополнительные показатели | | |
| Увеличение нарушений репродуктивной функции женщин: осложнение течения и исходов беременности (число случаев на 1000) | в 2 раза и более | От 1,5 до 2 раз |
| Изменение массы тела, роста, окружности головы у новорожденных | Критерии устанавливаются по экспертным оценкам | |
| Средняя продолжительность жизни мужчин и женщин: отставание от аналогичных показателей на контрольных территориях по годам: при рождении в возрасте 15 лет 35 лет 65 лет | М — 3,6, Ж — 3,5 М — 4,0, Ж — 2,5 М — 3,0, Ж — 2,0 М — 2,3, Ж — 1,7 | М — 3,2, Ж — 2,6 М — 4,0, Ж — 2,5 М — 2,5, Ж — 2,4 М — 2,0, Ж — 1,8 |
| Психическое развитие детей: доля детей с отклонениями | 20% и более | от 10 до 20% |
| Изменение иммунного статуса | Критерии устанавливаются по экспертным оценкам | |

*Приводится с сокращениями.

Показатели на обследованных территориях (раздельно для городского и сельского населения) сравнивают с показателями контрольных (фоновых) территорий. В качестве контрольных используют те территории, где регистрируются наиболее благоприятные значения медико-демографических показателей [27].

19.2. Санитарно-гигиенические нормативы состояния территории.

Санитарно-гигиенические нормативы — это качественно-количественные показатели, соблюдение которых гарантирует безопасные или оптимальные условия существования человека. В связи с высокой социальной значимостью охраны здоровья человека санитарно-гигиеническое нормирование в нашей стране было разработано и внедрено в практику управления природопользования хронологически первым. Например, предельно допустимые гигиенические концентрации (ПДК) содержания в атмосферном воздухе первых 10 веществ были утверждены еще в 1951 году, тогда как национальные стандарты качества воздуха на содержание 6 веществ в США были приняты в 1980 году. Поэтому методологическая база гигиенического нормирования в настоящее время является теоретически обоснованной, методически проработанной и организационно оформленной [7, 10].

ПДК — количество загрязняющего вещества в окружающей среде, при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных воздействий у его потомства.

В настоящее время установлены ПДК для более 1000 химических веществ в воде, более 250 в атмосферном воздухе, более 30 в почве. Кроме того, для атмосферного воздуха установлены безопасные ориентировочные уровни воздействия (ОБУВ) более чем для 400 веществ.

Гигиенические ПДК устанавливаются из принципа охраны здоровья человека и должны учитывать отдаленные последствия (мутагенные, канцерогенные и т.д.).

Атмосферный воздух. Максимально-разовая ПДК (ПДК_{мр}) — концентрация 20 — 30 минутного осреднения, определяется на основании изучения, прежде всего рефлекторного действия веществ: обонятельной функции организма, функционального состояния зрительного анализатора и т.п.

Среднесуточная ПДК (ПДК_{сс}) — концентрация длительного осреднения, определяется на основе изучения резорбтивного (обще токсического, аллергенного, гонадотоксического, эмбриотропного, мутагенного и т.п.) действия атмосферных загрязнений.

ПДК для химических веществ устанавливается исходя из концентрации пороговости их действия. Для определения ПДК строится зависимость доза-эффект, по которой определяется минимально действующая и максимально недействующая концентрация. В качестве ПДК принимается подпороговая максимально недействующая концентрация с соответствующим коэффициентом запаса, устанавливаемым в зависимости от потенциальной опасности соединения. Коэффициент запаса чаще всего принимается равным 2—10.

Определение ПДК осуществляется по наиболее чувствительным тестам. При этом концентрация, которая оказывает прямое или вредное косвенное воздействие или к которой адаптируется организм, признана недопустимой. ОБУВ определяется экспертным и расчетным методом. Из аналогичных санитарно-гигиенических соображений исходят при нормировании допустимых уровней шума.

Гигиеническое регламентирование содержания радиоактивных веществ в атмосфере имеет свои принципиальные особенности. В первую очередь, отличие заключается в принципе отсутствия порога действия радиации,

т.е. признается, что любое поступление в организм человека того или иного радионуклида сопряжено с риском для здоровья. В качестве основного гигиенического норматива воздействия радиации для лиц категории Б (т.е. для лиц, непосредственно не работающих с источниками излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могущих подвергаться воздействию радиоактивных веществ) установлен предел дозы (ПД). Предел дозы — это предельная эквивалентная доза за год для ограниченной части населения (лиц категорий Б). ПД обуславливает очень малый риск проявления вредных эффектов. Вероятность возникновения соматических (прямого повреждения или появления заболеваний) и генетических (проявлений вредных воздействий на потомках в 2—3 поколениях) эффектов, по крайней мере, на порядок величины ниже по сравнению с риском от комплекса факторов различной природы («фоновый» риск). Допустимая концентрация для лиц категории Б (ДК) является производной величиной от ПД и устанавливается из расчета достижения дозового предела к концу жизни (70 лет) при среднегодовом объеме вдыхаемого воздуха $7,3 \times 10^6$ литров.

В отличие от химического вещества, ДК устанавливается в единицах радиоактивности Беккерелях (B_k) в кубическом метре. ДК, рассчитанные из условия формирования ПД за счет облучения от радионуклидов, поступающих в организм только по ингаляционному пути, табулированы в «Нормах радиационной безопасности» (НРБ—76/87). В связи с необходимостью учета всех путей поступления радионуклидов в организм, а также внешнего облучения, на внутреннее облучение от веществ, поступивших по ингаляционному пути, будет приходиться только часть ПД, поэтому рассчитанные ДК практически будут всегда меньше приведенных в НРБ.

Водные объекты. Для водных объектов ПДК устанавливается в зависимости от целей водопользования. Различают ПДК для водных

объектов хозяйственно-питьевого (ПДК_{хп}), культурно-бытового (ПДК_{кб}) и рыбохозяйственного водопользования (ПДК_{рх}). В основе регламентирования содержания загрязняющих веществ в водных объектах лежат тесты, учитывающие следующие показатели вредного воздействия:

— токсикологический — исходит из оценки влияния веществ на организм человека (для ПДК_{хп}, ПДК_{кб}) и гидробионтов (ПДК_{рх});

— органолептический — исходит из оценки влияния веществ на органолептические показатели качества воды (цвет, запах и т.п.);

— общесанитарный — исходит из оценки влияния веществ на процессы самоочищения водных объектов.

Наименьшая допустимая по каждому тесту концентрация принимается в качестве ПДК с указанием лимитирующего показателя вредности, по которому она установлена.

ОБУВ для пестицидов в водных объектах определяется путем экспрессной оценки токсичности вещества.

Важно отметить, что при разработке ПДК_{рх} учитываются ряд экосистемных показателей, таких как обеспечение качества среды обитания рыб, поддержания их кормовой базы и т.д. В этом смысле они наиболее близки к экологическим нормативам.

ДК_б для радиоактивных веществ в воде является гигиеническим нормативом. Табулированные в НРБ величины определены исходя из формирования ПД только за счет радионуклидов, поступающих с водой, поэтому с учетом всех путей поступления в организм и внешнего облучения требуют корректировки в сторону снижения для каждого конкретного объекта нормирования, исходя из годового потребления воды человеком (800 кг).

Почвы. Определение ПДК загрязняющих почву веществ осуществляется по ряду тестов, учитывающих 6 показателей вредного воздействия: органолептического, общесанитарного,

фитоаккумуляционного, миграционно-водного, миграционно-воздушного, токсикологического.

В эксперименте используется дерново-подзолистая эталонная почва. Минимальная из 6-ти допустимых концентраций принимается в качестве ПДК. Таким образом, при установлении ПДК для почв реализованы как гигиенические (через токсикологический показатель), так и некоторые экологические (через другие показатели) подходы к нормированию содержания загрязняющих веществ.

Комбинированное действие различной природы. Все вышеизложенные нормативы относятся к национальным, действующим на территории России.

В реальной жизни люди подвергаются целому комплексу факторов воздействия. При этом одновременное воздействие нескольких факторов одной природы определяется как комбинированное действие различной природы — сочетанное действие. О комплексном действии говорят, когда одно и то же соединение поступает в организм различными путями. В настоящее время в практике нормирования природопользования учитывается комбинированное действие (например, нескольких химических соединений; нескольких радионуклидов, нескольких источников шумовых нагрузок и т.д.) и комплексное (учет суммарной дозы облучения организма с учетом всех путей поступления радионуклидов).

При совместном действии нескольких химических веществ возможны 5 вариантов эффекта на организм человека: независимое действие, суммирование, антагонизм, синергизм (эффект, превышающий суммирование), изменение характера действия (например, появление мутагенных свойств).

В настоящее время на уровне нормативов учитывается комбинированное действие химических веществ. При этом наиболее изученным является эффект суммирования (рассчитывается по формуле 19.1):

$$\sum_i \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1 \quad (19.1)$$

где C_i — концентрация веществ в окружающей среде; $ПДК_i$ — соответствующее ПДК веществ в воздухе, воде.

Принципы суммирования можно применять и при расчете комплексного действия, например, по формуле (19.2):

$$\frac{C_{атм}}{ПДК_{атм}} + \frac{C_{вод}}{ПДК_{вод}} + \frac{C_{прод}}{ПДК_{прод}} \leq 1 \quad (19.2)$$

где: в числителе концентрация, а в знаменателе ПДК вещества, поступающего в организм с воздухом, водой, пищей.

В настоящее время учитывается эффект суммирования при действии 33 комбинаций вредных веществ в воздухе.

В водных объектах эффект суммирования учитывается через лимитирующий показатель вредности.

По другим эффектам имеются лишь обрывочные данные научных исследований, в нормативах они не учтены.

Резюмируя практику регламентирования качества компонентов окружающей среды, следует отметить:

— разработка и установление качества компонентов окружающей среды осуществляется, главным образом, на основе санитарно-гигиенических принципов;

— санитарно-гигиенические нормативы не могут служить базой для защиты природных компонентов, т.к. не учитывают соотношения порогов чувствительности человека и других природных объектов, пренебрегают эффектами кумуляции и миграции, изменением химических форм в окружающей среде, региональными экологическими особенностями.

Перспективы нормирования качества компонентов окружающей среды связаны с созданием единой системы эколого-гигиенического

нормирования, где в качестве норматива устанавливается наиболее жесткий количественный показатель для человека и различных экосистем.

Наиболее широко применяемыми в практике природопользования являются нормативы антропогенных воздействий на окружающую среду. Под антропогенным воздействием понимается прямое и косвенное влияние человека, различных форм его хозяйственной деятельности во множестве проявлений на окружающую среду. Нормативы антропогенных воздействий — это широкий класс экологических нормативов, включающих нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в водные объекты, размещения твердых отходов, квоты изъятия природных ресурсов, а также многочисленные нормы и регламентации различных сторон хозяйственной деятельности, изложенные в санитарно-гигиенических, строительных, природоохранных нормах и правилах, включая технологические, планировочные, рекреационные и иные нормативы. Нормативы изъятия биологических видов природных ресурсов представляются в форме квот — законодательно установленных норм добычи разрешенных к отстрелу (отлову, сбору и т.п.) особей популяции хозяйственно ценных видов животных и растений. Они носят региональный характер (рис. 2).

Современные формы природопользования, учет и планирование материальных ресурсов, обеспечение взаимозаменяемости и кооперирования производства, улучшение качества продукции и окружающей среды связано с повсеместным использованием измерительной техники. Совершенствование технологий измерения, возможность определения технического состояния и своевременное выявление возникших дефектов систем является одним из важных условий, от выполнения которого зависит эффективность и надежность их функционирования.

Контрольные вопросы

1. Какие критерии оценки экологического состояния территории используются в экологической метрологии?
2. Какие биотические критерии оценки экологического состояния территории используются в экологической метрологии?
3. Какие абиотические критерии оценки экологического состояния территории используются в экологической метрологии?
4. Как выполняется экологическая диагностика территории по эргодемографическим индексам?
5. Как определяется экологическая техноемкость территории?
6. Как определяется демографическая напряженность территории?
7. В чем отличие информации полученной по медико-демографическим критериям от информации по санитарно-гигиеническим нормативам?

Темы докладов и рефератов

1. Критерии оценки экологического состояния территории в экологической метрологии.
2. Биотические критерии оценки экологического состояния территории.
3. Абиотические критерии оценки экологического состояния территории.
4. Экологическая диагностика территории по эргодемографическим индексам.
5. Экологическая техноемкость территории.
6. Демографическая напряженность территории.

20. Экологическая метрология территорий.

Как уже было отмечено выше, основное различие целевых установок экосистемного и гигиенического нормирования состоит в том, что в первом случае принципиально допускается элиминация (или изменение) отдельных природных видов (кроме человека) в ходе развития экосистемы.

Эти изменения рассматриваются как определенная форма стабилизации биоценоза в новых условиях, поскольку практически всегда реакцией экосистемы на внешнее воздействие является не разрушение, а ее перестройка. При этом не исключается возможность восстановления ее прежнего состояния.

При таком подходе уровень экологического качества территории можно охарактеризовать степенью соответствия ее текущего состояния принятым стандартам, т.е. показателями состояния: норма, риск, кризис, бедствие (см. п.9.1 гл. 9).

В научной литературе по проблемам экосистемного нормирования выделяется четыре уровня размеров территории показатели норм состояния которых имеют достаточно принципиальные различия: элементарный ландшафт (простое урочище), локальный (его примером является экосистема в пределах элементарного водосборного бассейна), региональный и глобальный ландшафты (страна и континент) [24].

Различия их нормативов качества можно проиллюстрировать следующим примером.

Основным объектом нормирования на локальном уровне следует считать биогеоценоз (экосистема в пределах водосборного бассейна), поскольку на нем можно установить влияние окружающих источников антропогенного воздействия на состояние окружающей среды. В то же время популяции целесообразно использовать в нормировании как минимум на региональном уровне, поскольку зона распространения популяции обычно шире территории локальной экосистемы и перекрывает зону влияния антропогенных воздействий.

Основным объектом приложения природоохранного механизма является локальный уровень. Именно в нем наиболее четко прослеживается взаимосвязь между силой воздействия и его последствиями для природных систем и человека, конкретизируется область применения

природоохранных и рекультивационных мероприятий. Кроме того, в рамках одного региона нормы состояния разных территорий локального уровня, как правило, одинаковы, что объясняется сходством природно-климатических условий, видового состава биогеоценоза и другими факторами. В такой ситуации для охраны окружающей среды в регионе может быть использован типовой (по составу и уровню нормируемых характеристик, методам их оценки и учету) управленческий механизм.

20.1. Принцип антропоцентризма экологического нормирования

Принцип антропоцентризма, на котором базируется эколого-системное нормирование, предполагает дифференциацию норм в зависимости от различий социально-экономических функций, отводимых различным зонам рассматриваемой территории. С учетом специфических особенностей хозяйственного использования отдельных участков территории, рекомендуется выделять следующие зоны:

- пригодные для сельскохозяйственного использования (пахотные, кормовые, приусадебные земли и участки, многолетние насаждения, сенокосы и т.п.);
- лесное хозяйство (почвозащитные, полезащитные, курортные, рекреационные, общего использования леса);
- селитебные зоны (городские и поселковые застройки, городские лесонасаждения и т.п.);
- дороги (автомагистрали, грунтовые и прилегающие к ним участки, шириной до 100 м);
- водный ландшафт и прилегающие к нему земли (пойма, лес, заболоченные участки);
- промышленные зоны;

— беллигеративные земли (территории, отведенные под использование, связанное со значительным разрушением их состояния, т.е. испытательные полигоны, карьеры, отвалы и т.п.).

Каждая из зон характеризуется специфическим набором показателей, которые могут выражать уровень ее экологического состояния, устойчивости и служить исходной информационной основой для разработки аналогичных обобщенных показателей всей территории.

В научной литературе обосновывается использование характеристик фитоценоза для определения экологического состояния отдельных зон экосистем (прежде всего сельскохозяйственной, лесной, беллигеративной). Они мотивируются существованием значительной реакции растительного покрова на разные виды антропогенного воздействия — химические, физические, биологические территории.

Дополнительно к перечисленным в этих параграфах показателям для этой цели могут подойти характеристики видового состава фитоценоза, в частности, коэффициенты Жаккара и Сьеренсена, количественные оценки которых несложно определить на практике на основании следующих выражений (20.1 и 20.2),

$$K_{жс} = \frac{c}{a + в - c} \times 100\%; \quad (20.1)$$

$$K_c = \frac{2c}{a + в} \times 100\%; \quad (20.2)$$

где c — общее число видов в фоновом и исследуемом фитоценозах; a — число видов в фоновом фитоценозе; $в$ — число видов в исследуемом фитоценозе.

Уменьшение этих характеристик (т.е. значение $K < 100\%$) свидетельствует о нарушениях в исследуемой экосистеме.

Уровень химического загрязнения почв соединениями и веществами может быть определен на основе сопоставления их концентраций в исследуемой зоне с ПДК почв или фоновыми концентрациями.

В случае нахождения в почве нескольких загрязнителей обычно обобщенную оценку ее экологического состояния стремятся проводить с учетом эффекта их комплексного воздействия на окружающую среду или конкретного реципиента (как правило, человека). Теоретически в зависимости от конкретного состава химических элементов и соединений в почве возможны пять различных проявлений такого эффекта: независимое действие, суммирование, антагонизм, синергизм и изменение характера действия (в частности, появление мутагенных последствий). Однако на практике все сводится к оценке эффекта суммирования. Для этого обычно используют суммарный показатель загрязнения Z_c , рассчитываемый по формуле 20.3.

$$Z_c = \sum_{i=1}^n k_{ci} - (n - 1), \quad (20.3)$$

Аналогичная задача может быть решена с использованием суммарного коэффициента концентрации путем сопоставления текущего уровня загрязнителя с ПДК по формуле (20.4).

$$k_i = \sum \frac{c_i}{ПДК_i} \quad (20.4)$$

Экологическое состояние водных экосистем определяет значительное число показателей, отражающих их физические параметры, химический и биологический состав и ряд других свойств. С учетом этого, по мнению ряда авторов [24], их выбор для индикации происходящих в водной среде изменений (см. п. 14.2, гл. 14) должен проводиться для каждой конкретной зоны с учетом специфических особенностей антропогенной нагрузки и чувствительности к ней того или иного параметра.

Виды антропогенной нагрузки на водные экосистемы можно разделить на три группы: изъятие водных и биологических ресурсов, загрязнение вод различными веществами и изменение режима функционирования водных экосистем.

Реакция водных экосистем на эти нагрузки подразделяется на первичную и вторичную.

Первичная реакция характеризуется изменениями:

- площади акватории, глубины и т.п.;
- скоростей течения, водообмена, температурного режима и т.д.;
- биотопического разнообразия, запасов ценных и редких видов гидробионтов;
- концентраций минеральных и органических взвесей и веществ.

Вторичная реакция проявляется в изменениях:

- содержания кислорода, свободной углекислоты, органического вещества в воде и т.п.;
- биомассы и численности доминирующих видов, концентрации гидрокарбонатов;
- концентраций химических веществ и соединений в водном слое и донных отложениях.

Перечисленные изменения могут быть определены по отклонениям от нормы ряда характеристик, выражающих те или иные аспекты состояния водной зоны. Среди них обычно выделяют:

- геофизические характеристики состояния водных систем (площадь, глубина, скорость течения и т.п.);
- гидрофизические и гидрохимические показатели качества воды как среды обитания (прозрачность, кислородный режим, концентрация водородных ионов (рН), концентрация соединений азота и фосфора как элементов жизнеобеспечения, концентрации загрязнителей — химических соединений и веществ);
- биотические характеристики (продукция фитопланктона, биомасса фитопланктона и т.п.).

Экологическое состояние зоны лесного хозяйства может быть оценено по характеристикам фитоценоза. Из них наиболее информативными, с

точки зрения отражения реакции лесных сообществ на антропогенные воздействия, дополнительно к представленным выше параметрам (п. 10.1 гл. 10 и гл. 12), являются параметры древостоя (плотность, сомкнутость полога, запас, санитарное состояние и др.), возобновление пород-лесообразователей (количество и качество подроста), надпочвенный покров (видовой состав, биомасса и др.). На основе мониторинга легче всего поддаются учету количественные значения параметров первой группы. Среди них обычно выделяют:

- видовой состав фитоценоза (число видов на 0,25 га для древесных сообществ);
- сомкнутость эдификаторного яруса (в процентах);
- возрастной состав ценопопуляций доминирующих видов деревьев (в процентах от участия особей каждой возрастной группы).

Внимание специалистов к этой группе показателей объясняется тем, что древостой наиболее чувствителен к антропогенной нагрузке и от его состояния зависит последующая циркуляция поллютантов в лесной экосистеме.

Показатели второй группы менее информативны вследствие того, что токсиканты на процесс возобновления лесных сообществ воздействуют в большей степени опосредованно (через изменение ценоотической среды). Из-за этого реакция подроста на загрязнение может запаздывать.

Напротив, травянисто-кустарниковый ярус наиболее чувствителен к антропогенным воздействиям разного вида. Он реагирует на них даже быстрее древостоя, вследствие чего многие специалисты предлагают использовать характеристики третьей группы в оценках состояния лесных экосистем. Это, в первую очередь, относится к видовому составу кустарников и трав (структура видов на 100 м², индексы видового состава).

В селитебных и промышленных зонах характеристиками качества их состояния традиционно принято считать концентрации вредных веществ в

воздушной среде и почве. Нормативы состояния обычно выражаются соответствующими ПДК. (ПДК_{р.з.}). Перспективным является классификация селитебных и промышленных зон по эргодемографическому индексу (см. гл. 16).

В зонах дорог аналогичным образом концентрации химических веществ и соединений в почве, поступающих в первую очередь от автотранспорта, принято рассматривать как основные характеристики качества их состояния. Среди этих веществ особое внимание уделяется свинцу и цинку. В оценках состояния дорожных зон на территориях военных объектов целесообразно использовать также характеристики механических разрушений дорог, придорожных участков, выражаемые в процентах от общей площади зоны. Это связано с тем, что дорожные участки на территориях военных объектов в значительной степени подвержены именно механическим нагрузкам.

При оценке состояния беллигеративных земель степень нарушенности поверхности территории рассматривается в качестве важнейшего экологического показателя. Она выражается обычно в долях поврежденной, загрязненной отходами площади, представленной в процентах. Кроме того, качество состояния беллигеративной зоны может определяться по концентрациям химических соединений и веществ в почве, по нарушенности почвенного покрова и лесных сообществ, находящихся на данной территории.

Н.П. Тихомиров с соавторами [24] рекомендует перечень достаточно информативных показателей, которые могут быть использованы в оценках качества экологического состояния различных зон достаточно типичной по их составу территории.

Для сельскохозяйственной зоны такими параметрами являются:

1) уровень ЕКО — емкости катионного обмена (в слое 0 — 20 см, мг-экв/100 г почвы);

- 2) величина рН (на глубине около 10 см);
- 3) величина ОВП — окислительно-восстановительного потенциала (на глубине около 10 см);
- 4) водопроницаемость гумусового слоя почвы (0 — 20 см, мм/мин);
- 5) содержание гумуса (0 — 20 см, %);
- 6) «дыхание почвы» — интенсивность выделения углекислоты (кг CO₂/га в час);
- 7) характеристики видового состава фитоценоза (например, коэффициенты Жаккара и Сьеренсена);
- 8) концентрации химических веществ и соединений в почве и их обобщенные характеристики (суммарные показатели загрязнения, коэффициент концентрации).

Экологическое качество зоны водных объектов может быть оценено на основе следующих показателей:

- 9) индексы соприобности (по Сладечеку и/или Ватанабе);
- 10) прозрачность воды (м);
- 11) содержание нитрат-ионов в воде (мг/л);
- 12) содержание фосфат-ионов в воде (мг/л);
- 13) электропроводность воды (микросименс/см);
- 14) валовая продукция фитопланктона (г O₂/м² в сутки);
- 15) биомасса фитопланктона (мг/л);
- 16) концентрации химических веществ и соединений в водных слоях и донных отложениях.

Для оценки качества экологического состояния лесной зоны могут быть использованы следующие характеристики:

- 17) видовой состав фитоценоза (число видов древесных сообществ на 0,25 га);
- 18) сомкнутость эдификаторного яруса (в %);

19) возрастной состав ценопопуляций доминирующих видов деревьев (в % особей каждой возрастной группы);

20) видовой состав кустарников и трав (в % каждого вида на 100 м²).

В селитебной и промышленной зонах качество их экологического состояния может быть оценено по таким показателям:

21) концентрации загрязнителей в воздушной среде (мг/л, мг/м³);

22) концентрации загрязнителей в почвенном слое (мг/кг, мг/м³ почвы).

В дорожной зоне экологическое состояние может быть определено по следующим показателям:

23) концентрации химических веществ, характерные для выхлопных газов автотранспорта (в первую очередь, свинца, цинка и некоторых других);

24) степень механических нарушений дорожной зоны (% нарушенных дорожных участков и прилегающих территорий).

Качество биогенных зон может быть оценено по степени их нарушенности, а также по характеристикам загрязненности и деградации фитоценоза:

25) доля поврежденной и (или) загрязненной отходами территории (в %);

26) концентрации химических веществ и соединений в почвенном слое;

27) показатели состояния фитоценоза (см. п. 17 — 20).

Приведенный перечень параметров, естественно, не может считаться законченным. По мере поступления новой информации о реакции различных элементов окружающей среды на антропогенные воздействия он может быть изменен и расширен. Кроме того, в конкретных исследованиях для оценки экологического состояния территории может быть использована лишь часть из перечисленных параметров. Вследствие трудностей измерения, высокой корреляции между ними, некоторые из представленных характеристик могут быть опущены.

На основании отобранных показателей качества экологического состояния выделенных зон территории, может быть определена обобщенная характеристика ее экологического состояния. Для этих целей следует использовать обобщенный индекс качества экологического состояния территории (индекс экологического качества).

Количественная характеристика индекса экологического качества может быть рассчитана с использованием следующего выражения (20.5):

$$I_k = \frac{\sum_i \sum_j S_i^j \frac{P_{ij}}{P_{ij\phi}(\text{ПДК}_{ij})}}{S} \quad (20.5)$$

где S_i^j — площадь территории i -й зоны с j -м нарушением; S — общая площадь территории; P_{ij} , — текущий уровень j -й учитываемой характеристики нарушения экологической ситуации в i -й зоне; $P_{ij\phi}$ — фоновый уровень нарушения по j -й характеристике в районе расположения территории; ПДК_{ij} — ПДК j -го загрязнения в i -й зоне.

В расчетах индекса для химических элементов и соединений рекомендуется использовать максимум P_{ij} или ПДК_{ij}. Таким образом, для территорий без нарушения отношение $P_{ij}/P_{ij\phi}$ или $P_{ij}/\text{ПДК}_{ij}$ равно 1.

Если значение нормы ($P_{ij\phi}$, ПДК_{ij}) оказалось выше, чем характеристика «худшего» текущего состояния P_{ij} , то при расчете индекса в выражении (20.5) следует использовать отношение $P_{ij\phi}/P_{ij}$ или ПДК_{ij}/ P_{ij} .

Так, основной уровень рН-показателя активности ионов водорода — для большинства типов почв Владимирской области находится в пределах от 6 до 7,5. Если текущий показатель для какой-либо зоны равен 5, то вместо отношения $P_{ij}/\text{ПДК}_{ij}$ для рН следует использовать обратную величину, $6/5=1,2$.

В отсутствие экологических нарушений значение индекса на территории равно 1, поскольку $P_{ij} = P_{ij\phi}$, а $\sum_i S_i^j = S$.

В расчетах индекса экологического качества территории могут быть использованы весовые коэффициенты, отражающие значимость качества той или иной сферы природной среды в каждой зоне. Например, характеристики почв (особенно их механических нарушений) и непроточных вод должны иметь более высокий балл по сравнению с характеристиками атмосферы и проточных вод, поскольку атмосфера и проточные воды, как правило, имеют более высокий восстановительный потенциал. С учетом сказанного индекс качества территории будет определяться по следующей формуле 20.6.

$$I_k = \frac{\sum_i \sum_j \beta_i^j S_i^j \frac{P_{ij}}{P_{ij\phi}(\text{ПДК}_{ij})}}{S}, \quad (20.6)$$

где β_i^j – весовой коэффициент, отражающий значимость качества i -й зоны при j -м загрязнении.

Таким образом, сформулированный индекс качества (формулы 20.5 и 20.6) при оценке степени ухудшения экологической ситуации на территории учитывает как площади нарушений по ее зонам, так и силу нарушений.

На примере выражения (20.5) рассмотрим составляющие индекса экологического качества территории.

Для этого представим данное выражение в развернутом виде,

$$I_k = \frac{S_i \sum_j \frac{P_{ij}}{P_{ij\phi}} + \dots + S_r \sum_j \frac{P_{rj}}{P_{rj\phi}}}{S} \quad (20.7)$$

В выражении (20.7) слагаемое $\sum_j \frac{S_i^j}{S} \cdot \frac{P_{ij}}{P_{ij\phi}}$ — характеризует вклад нарушений в i -й зоне в общее ухудшение экологической обстановки территории, а $\sum_j \frac{S_i^j}{S} \cdot \frac{P_{ij}}{P_{ij\phi}}$ — частный индекс качества i -й зоны. Обозначим его через $I_{ik..}$.

Тогда общий индекс экологического качества всей территории определяется как средневзвешенный показатель по площадям разных зон их частных индексов,

$$I_k = \sum_i S_i I_{ik} / S. \quad (20.8)$$

В некоторых источниках индекс экологического качества рекомендуется рассчитывать как долю площади с экологическими нарушениями в общей площади территории, т.е. согласно выражению 20.9,

$$I_k = \sum_i S_i \frac{S_i^j}{S}. \quad (20.9)$$

где S_i^j — общая площадь территории с экологическими нарушениями в i -й зоне.

Значение S_i^j определяется как сумма площадей с нарушениями по всем ингредиентам за вычетом пересечений, т.е. площадей, на которых имели место два или более нарушения. Однако использование для оценки ухудшения экологического состояния территории формулы 20.5 представляется более предпочтительным, так как в этом случае учитывается степень нарушенности каждой из ее зон.

20.2. Учет устойчивости территории к антропогенной нагрузке.

Особый интерес представляют вопросы анализа устойчивости локальных экосистем, составляющих практически низший уровень, до которого спускаются природоохранные механизмы. Его, как правило, образуют достаточно сложные, комплексные геосистемы, находящиеся в едином административном подчинении. Именно на этом уровне возможно реальное согласование техногенных нагрузок на окружающую среду и необходимого уровня ее «биологического» качества, позволяющего в той или иной степени поддерживать естественное течение природных процессов.

Количественную оценку устойчивости экосистемы можно получить на основе сопоставления изменений ее состояния ΔS и вызвавшей эти изменения нагрузки ΔF . В частности, в качестве меры устойчивости теория предлагает использовать так называемый индекс устойчивости, определяемый следующим выражением.

$$I_{уст} = 1 - \left| \frac{\Delta' S}{\Delta' F} \right| \quad (20.10)$$

где $\Delta' S$ — относительное изменение обобщенного показателя состояния системы (по перечню определяющих его характеристик), определяемое как $\frac{S_1 - S_0}{S_0}$, где S_1 — исходное состояние, S_0 — текущее состояние экосистемы; $\Delta' F$ — относительное изменение уровня нагрузки на экосистему (ее обобщенный показатель), определяемое как $\frac{F_1 - F_0}{F_0}$, где F_0 — предыдущий уровень нагрузки, F_1 — текущий.

Экосистема считается устойчивой, если значение индекса $I_{уст}$ близко к единице, т.е. при $\Delta' S < \Delta' F$. Если же $\Delta' S \rightarrow \Delta' F$, то $I_{уст} \rightarrow 0$, что свидетельствует о неустойчивости экосистемы.

Решение проблем анализа устойчивости конкретных экосистем на практике базируется на разработках экологического нормирования, занимающегося определением границ их «нормы» (т.е. пограничных параметров состояния экосистем) и предельно возможных уровней воздействия (нормативов воздействия), при которых экосистема еще остается в пределах «нормы».

Наука выработала несколько подходов к определению этих нормативов. Основные из них используют анализ зависимости «доза — эффект», связывающей по кибернетическому принципу «черного ящика» антропогенную нагрузку как входной параметр экосистемы с ее состоянием — выходным параметром.

Рассмотрим вопросы использования понятия устойчивости территории к антропогенным нагрузкам при организации природоохранной деятельности с использованием принципов и методов экосистемного нормирования.

Если значения общего и частных индексов экологического качества, определенные по выражениям (20.5) — (20.9), превышают единицу, то это свидетельствует об ухудшении экологического состояния территории. Но, как было отмечено выше, это может и не быть поводом для серьезного беспокойства, особенно если территория оказалась достаточно устойчивой к антропогенной нагрузке и способна сама без вмешательства извне вернуться в исходное состояние (может быть, даже в условиях существования нагрузки). В других случаях для ее возврата в исходное состояние необходимо проведение специальных мероприятий. Это могут быть прекращение нагрузки или осуществление комплекса восстановительных рекультивационных работ в отдельных зонах. Определить целесообразность и масштабы их проведения можно на основе оценки нарушения экологического состояния территории и показателей ее устойчивости в рамках определений: норма, риск, кризис, бедствие.

Оценка уровня предельно допустимого состояния экосистемы, за пределами которого она переходит в новое качество, является сложной проблемой. В настоящее время пути ее решения еще только намечаются. В частности, в практической экологии часто применяют классификацию состояния территорий по площади и глубине нарушений (см. главы 11 и 12).

Для определения уровня экологического состояния и глубины нарушения могут использоваться и другие виды критериев (ботанические, биохимические и т.п. – см. главы. 10, 14, 15, 16, 18, 19). Например, биохимические критерии учитывают аномалии в содержании химических

веществ в растениях (п. 10.2 главы 10). Уровень нарушения территории может быть оценен по биохимическому критерию.

Экологическое качество земельных участков может быть оценено также по уровню превышения концентрации загрязнителя соответствующего ПДК или его фонового содержания в почве. Отношения менее 1 характеризуют нормальное состояние почв, 1,0 — 3,0 — почвы категории риска, 3,0 — 10,0 — кризиса и свыше 10,0 — бедствия.

Динамические критерии обычно предлагается применять при определении уровня экологического состояния на территориях с повышенным фоновым уровнем «неблагополучности» (с повышенными природными концентрациями металлов и т.п.). Их примерами являются приросты негативных изменений некоторых показателей состояния (нарушенных площадей, растительной продукции и т.п.). Для земельных зон один из вариантов классификации экологического состояния приведен в п. 10.3 главы 10.

Для определения уровня экологического состояния атмосферного воздуха (в населенных пунктах и рабочих зонах) обычно используются приведенные к ПДК и третьему классу опасности загрязнителя интегральные показатели. Наиболее информативным из них считается комплексный показатель среднегодового загрязнения атмосферы (комплексный индекс загрязнения атмосферы – КИЗА – см. п. 14.1, гл. 14), уровень которого определяется согласно следующему выражению.

$$I_{\text{за}} = \sum_{j=1}^n (q_{\text{фj}} / ПДК_{\text{сco}})^{c_j} \quad (20.11)$$

где $I_{\text{за}}$ — индекс загрязнения атмосферы; $q_{\text{фj}}$ — средняя концентрация j -го вещества в воздухе; c_j — показатель вредности, зависящий от класса опасности вещества.

Значение показателя c_j для веществ первого класса опасности равно 0,9, для второго — 1,0, третьего — 1,3, четвертого — 1,7.

Единица соответствует веществам одного класса опасности с диоксидом серы (второго).

Пример классификации состояния атмосферного воздуха приведен в п. 9.1, гл. 9.

Вообще говоря, КИЗА как комплексный показатель определяет не абсолютный, а относительный уровень загрязнения местности. Так, класс нормы по КИЗА соответствует уровню загрязнения воздуха ниже среднего по городам страны, класс риска равен среднему значению, класс кризиса означает превышение среднего уровня, а класс бедствия — его значительное превышение.

Аналогичные оценки рубежных значений показателей качества экологического состояния могут быть определены и для водных объектов.

Такой же принцип может быть использован и для определения характеристик устойчивости выделенных зон территории и всей территории в целом с использованием экосистемных показателей. Иными словами, для i -й зоны должны быть определены значения I_{i1} , I_{i2} , I_{i3} так, что при $I_{ik} < I_{i1}$ можно было бы с достаточной степенью обоснованности утверждать, что i -я зона находится в устойчивом (нормальном) состоянии. При $I_{i1} \leq I_{ik} < I_{i2}$ — i -я зона находится в состоянии с умеренным нарушением устойчивости (в состоянии риска). При $I_{i2} \leq I_{ik} < I_{i3}$ — в состоянии кризиса и при $I_{i3} < I_{ik}$ — в состоянии бедствия.

Здесь следует отметить, что рубежные значения характеристик экологического качества территории не имеют универсального характера в том смысле, что они, как правило, дифференцированы с учетом способностей конкретной местности и сферы окружающей среды к самоочищению и сопротивлению антропогенным воздействиям, т.е. связаны с ее устойчивостью. Эти способности опять же зависят от ряда их свойств, которые могут быть выражены определенными показателями, многие из которых уже были рассмотрены нами.

Устойчивость почв выражают ее свойства выдерживать внешние нагрузки и нейтрализовать их путем «сбрасывания» на другие элементы экосистемы. Эти свойства могут быть определены, например, с помощью следующих характеристик:

- емкости катионного обмена (ЕКО);
- мощности гумусового аккумулятивного горизонта;
- типа водного режима почвы;
- положения биогеоценоза в катоне (см. ниже);
- крутизны склона.

Выбор данного перечня мотивируется тем, что эти характеристики отражают оба вида устойчивости почвенной системы: адаптационную (ЕКО — к загрязнению, а мощность гумусового горизонта — к механическим нарушениям) и регенерационную (следующие три показателя). Рассмотрим роль в процессе самовосстановления почвы двух последних из них. Остальные были описаны ранее.

Положение биогеоценоза в катоне определяет характер и интенсивность само восстановительных процессов в почве (измеряется в баллах). Этот показатель отражает уровень данного участка по отношению к другим элементам рельефа. Чем выше этот уровень, тем большую способность к самоочищению имеет данный участок. Обычно выделяют три типа положений биогеоценоза:

- элювиальные — 5 баллов (водораздельные территории, чей уровень наиболее высок, к ним вещества попадают в основном из атмосферы);
- транзитные — 3 балла (геохимически подчиненные, как получающие вещества из более высоко расположенных экосистем, так и отдающие их в низко расположенные);
- аккумулятивные — 1 балл (в основном только получающие вещества из других экосистем).

Крутизна склона, с одной стороны, указывает на степень устойчивости, обусловленной способностью территории выносить поступающие загрязнители, а с другой — отражает подверженность почв к эрозии вследствие увеличения риска механического сброса твердых частиц. Количественно этот показатель определяется углом соответствующего откоса.

«Оптимальные» уровни выделенных показателей свидетельствуют о максимальной способности почвы к сопротивлению внешним воздействиям и восстановлению утрачиваемых в результате внешних воздействий свойств без «дополнительной помощи». В этом случае значение I_{i1} , I_{i2} , и I_{i3} для территории с такими характеристиками могут быть выше, чем для других, более "уязвимых", местностей.

Экологическое состояние почв и укрупненные показатели оценки их техногенной загрязненности представлены в главах 11 и 15.

Устойчивость атмосферы к антропогенным нагрузкам определяет ее способность рассеивать и выводить примеси. Для ее оценки могут быть использованы комплексные климатические и метеорологические характеристики типа ПЗА (потенциал загрязнения атмосферы) и ПВ (потребление воздуха). Так, в зависимости от повторяемости неблагоприятных для самоочищения воздуха метеоусловий (приземных инверсий и застоев, слабых ветров, продолжительности туманов и т.п.) территория РФ разбита на пять зон, характеризующихся различными уровнями -ПЗА, а следовательно, и устойчивости.

Значение ПВ представляет собой объем чистого воздуха, необходимый для разбавления выбросов загрязнителей до уровня их средней концентрации при данных метеоусловиях. Чем ниже значение этой характеристики, тем выше устойчивость атмосферы к загрязнению.

После определения устойчивости атмосферы к антропогенным нагрузкам проводят интегральную оценку загрязнения воздушного

бассейна исследуемой территории, для определения которой используют систему прямых, косвенных и индикаторных критериев (см. п. 14.1, гл. 14).

Устойчивость водных систем к антропогенной нагрузке определяют до экологической оценки водоема (см. п. 14.2, гл. 14). Водные системы обычно разделяют на три группы признаков по следующим особенностям:

- физико-географическое положение и климатические особенности;
- гидрологические параметры;
- морфология водного объекта.

Соотношение их значений определяет обобщенную характеристику устойчивости водного объекта. Она обычно выражается в баллах. Одним из наиболее информативных и весомых показателей устойчивости вод является величина поверхностного стока. Чем выше скорость течения, чем больший объем стока воды в водном объекте, тем выше его уровень устойчивости к загрязнению. Следует отметить, что эти характеристики могут быть выражены через объем возможного единовременного водоотбора (чем выше его уровень, тем устойчивее объект по отношению к нагрузке). Водные объекты с возможным водоотбором свыше $5 \text{ м}^3/\text{с}$ принято считать максимально устойчивыми, с уровнем $1 — 5 \text{ м}^3/\text{с}$ — среднеустойчивыми, при уровне менее $1 \text{ м}^3/\text{с}$ — слабоустойчивыми и при нулевом уровне (что характерно для замкнутых водоемов) — неустойчивыми.

Оценка экологического качества подземных вод проводится по методике, представленной в п. 14.3, гл. 14. Обычно предварительная оценка осуществляется по отношению фактической концентрации химических веществ в воде к ПДК этих веществ.

На этой основе "нормальное" их состояние определяется соотношением $C_i/\text{ПДК}_i < 1$. Состояние риска определяют концентрации загрязнителей – 3

— 5 ПДК, кризисное состояние – 5 — 10 ПДК и бедственное состояние — концентрации свыше 10 ПДК.

Из рассмотренного материала вытекает, что сформировать единый показатель, пригодный для определения степени устойчивости каждой из зон территории, необычайно сложно, поскольку экологическое качество зависит от множества специфических характеристик. В таких ситуациях специалисты рекомендуют использовать балльный принцип оценки. В нашем случае его использование сводится к следующему.

Для каждой зоны выделяется набор факторов, которые оказывают существенное влияние на устойчивость. Уровень каждого из них, отождествляемый с этим влиянием, оценивается в баллах (по пятибалльной шкале). Пусть оценка 5 баллов определяет самую высокую степень устойчивости. Тогда усредненная оценка устойчивости i -й зоны территории может быть определена как среднеарифметическое значение всех учитываемых факторов.

$$y^i = \frac{\sum_{r=1}^R d_r^i \cdot f_r^i}{\sum_{r=1}^R d_r^i}, \quad (20.12)$$

где y^i — усредненная оценка устойчивости i -й зоны; f_r^i — балльная оценка r -го фактора устойчивости в i -й зоне ($f_r^i = 1, 2, 3, 4, 5$); d_r^i — «вес» r -го фактора, его значимость при определении устойчивости; $\sum_r d_r^i = 1$ — для всех i .

В случае равнозначности факторов с точки зрения их влияния на устойчивость $d_r^i = 1/R$.

Несложно заметить, что расчетные значения y^i находятся в пределах от 1 до 5. Зона с высоким уровнем устойчивости характеризуется значением этого показателя в пределах $4 < y \leq 5$, средний уровень устойчивости будет означать диапазон $2,5 < y^i \leq 4$, низкий уровень устойчивости – $1 \leq y^i \leq 2,5$. Эти диапазоны и должны, по нашему мнению, определять выбор

значений характеристик I_{11} , I_{12} , I_{13} , характеризующих границы нормы, риска, кризиса и бедствия для конкретной территории.

За исходную базу таких оценок, на наш взгляд, следует выбрать зоны с минимальной устойчивостью. Для них значения I_{11} , I_{12} , I_{13} определяются как минимальные показатели по всем таким зонам. Например, для почвы I_1 может быть выбран на уровне $I_1 = 1,0$; $I_2 = 2$; $I_3 = 3$. Тогда для зон со средним уровнем устойчивости эти характеристики могут быть увеличены в 1,5 раза, т.е. $I_{11} = 1,5$; $I_{12} = 3$ и $I_{13} = 4,5$, а для зон с высокой устойчивостью – в 2 раза, т.е. $I_{11} = 2$; $I_{12} = 4$ и $I_{13} = 6$.

21. Оценка экологического качества территории методами экологической метрологии.

Тихомиров с соавторами [24] приводит пример использования выражения (20.5) для оценки степени ухудшения экологического состояния территории. В примере использованы условные характеристики.

Предполагается, что структура территории образована семью зонами: земли сельскохозяйственного использования, лесное хозяйство, городские и поселковые застройки, автомагистральные и грунтовые дороги, водный ландшафт, промышленная зона, беллигеративные земли, размеры которых представлены в табл. 21.1.

Таблица 21.1

Структура территории

| Наименование показателя | Уровень показателя, га/% | Примечание |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Показатели структуры территории (по площади), из них: | 2400/100 | Пахотные, кормовые, приусадебные, многолетние насаждения, сенокосы, пастбища и т.п. Почвозащитные, полезащитные, курортные, общего пользования |
| земли сельскохозяйственного использования | 200/8,3 | |
| лесное хозяйство | 400/16,7 | |
| Городские и поселковые застройки, городские насаждения | 70/2,9 | |

Продолжение таблицы 21.1

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Дороги (автомагистральные и грунтовые) | 90/3,8 | Учитывается площадь вдоль дороги (около 100 м) |
| Водный ландшафт и прилегающие к нему земли, в том числе: | 200/8,3 | Пойма, лес, заболоченные Участки, берега (10 м от берега) |
| проточные воды | 140/5,8 | |
| непроточные воды | 60/2,5 | |
| Промышленная зона | 40/1,7 | |
| Беллигеративные земли | 1400/58,3 | Испытательный полигон |

В табл. 21.2 – 21.8 приведены характеристики экологического состояния каждой из зон (только по параметрам, по которым отмечены нарушения).

Таблица 21.2

Показатели качества земли в промышленной зоне

| Вещество, содержащееся в почве | Норматив/фон, мг/кг | Текущее значение, мг/кг | Площадь территории нарушения, | Примечания |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Свинец | 20/28 | 33 | 0,5 | * |
| Никель | 4,0/6,8 | 16 | 1 | ^ |
| Цинк | 23/47 | 46 | | * |
| Медь | 3,0/3,5 | 12 | 1,5 | * |
| Бензол | 0,3/0,8 | 9 | 0,2 | * |
| Толуол | 0,3/0,6 | 4,5 | 0,2 | Высокотоксичный загрязнитель, поэтому требуется очистка почвы |
| Изопропил-бензол | 0,5/0,5 | 12,5 | 0,4 | * |
| Нефтепродукты | 1000/800 | 15000 | 0,6 | Трудновыводимый загрязнитель, поэтому требуется очистка почвы |

Примечания: 1. Общая площадь нарушения — 3 га, в том числе нарушений с трудновыводимыми загрязнениями — 0,6 га, площадь ненарушенной территории — 37 га. Общая площадь нарушения определяется как сумма всех площадей нарушения за вычетом площадей с двумя и большим количеством нарушений. 2. Знак * означает, что загрязнитель легко удаляется из почвы в результате естественных процессов очистки при концентрации до 40 — 50 ПДК.

Таблица 21.3

Показатели качества земли сельскохозяйственного назначения

| Показатель | Норматив/фон, мг/кг | Текущее значение | Площадь территории нарушения, | Примечания |
|------------------------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) | 450—550/ 450—550 | 350 | 5 | Последствиями нарушения являются заболачивание из-за ухудшения водостока и водопроницаемости, потеря почвой плодородия и т.п. Для восстановления нужна вспашка земли |

Примечание. Общая площадь нарушения – 5 га, площадь ненарушенной территории – 195 га.

Таблица 21.4

Показатели качества территории лесного хозяйства

| Показатель | Норматив/фон, шт./га | Текущее значение | Площадь территории нарушения, га | Примечания |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Плотность основных пород деревьев | 2000 —2200 | 1600 | 10 | Требуется очистка лесного массива. В связи с самовосстановлением лесов нет необходимости в других лесовосстановительных работах |

Таблица 21.5

Показатели качества атмосферного воздуха селитебной зоны

| Показатель концентрации в атмосферном воздухе | Норматив/фон, , мг/м ³ | Текущее значение, мг/м ³ | Площадь территории нарушения, га | Примечания |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оксид азота | 0,06 / 0,04 0,05 | 0,6 | 5 | Атмосфера жилой зоны объекта самоочищается, необходимость в проведении очистных мероприятий отсутствует. Возможен ущерб от загрязнения отдельным реципиентам-жителям. Этот ущерб может быть компенсирован при наличии соответствующего соглашения |
| Диоксид серы | / 0,02 0,04 / | 0,3 | 2 | |
| Диоксид азота | 0,08 | 1,0 | 6 | |

Примечание. Общая площадь нарушения – 10 га, площадь ненарушенной территории – 60 га.

Таблица 21.6

Показатели качества наземных водных систем

| Показатель | Норматив/ фон, мг/л | Текущее значение, мг/л | Площадь территории нарушения, га | Примечания |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Проточные воды | | | | Такое загрязнение может дать только сельскохозяйственное производство. Оно к объекту отношения не имеет |
| Содержание фосфат-ионов | 0,005 / 0,01 | 0,02 | 140 | |
| Химическая потребность в кислороде. | 15 / 15 | 20 | 140 | |
| Содержание азота аммонийного. | 0,4/0,4 | 0,6 | 140 | |
| Содержание железа. | 0,1/0,1 | 0,15 | 140 | |
| Содержание цинка. | 0,1/0,01 | 0,02 | 140 | |
| Непроточные воды | | | | Такое загрязнение может дать только сельскохозяйственное производство. Оно к объекту отношения не имеет. В целом по водоему самоочищения непроточных вод не происходит. Загрязнители накапливаются в донных отложениях. Происходит постоянный их обмен с водой. Необходима очистка водоема при прекращении антропогенной нагрузки. Очистка предполагает откачку воды, очистку, замену донного и берегового слоя почвы. |
| Содержание фосфат-ионов | 0,001/0,015 | 0,042 | 60 | |
| Химическая потребность в кислороде | 15/15 | 45 | 60 | |
| Содержание азота аммонийного | 0,4/0,4 | 0,88 | 60 | |
| Содержание железа | 0,1/0,1 | 0,3 | 60 | |
| Содержание цинка | 0,01/0,01 | 0,03 | 60 | |
| Содержание нефтепродуктов. | 0,1/0,04 | 0,3 | 60 | |
| Прозрачность по диску Секки, м | \bar{m} /2,0 | 0,8 | 60 | |

Примечание. Общая площадь нарушения – 200 га, площадь ненарушенной территории – 0 га.

Таблица 21.7

Показатели качества земли в придорожной зоне

| Показатель | Норматив / фон, | Текущее значение, | Плщадь Территории нарушения, | Примечания |
|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | мг/кг | мг/кг | га | |
| Свинец | 32 / 50 | 100 | 6 | Хотя содержание тяжелых металлов в придорожной зоне превосходит фон (примерно в 2 раза), однако в этом случае нет необходимости в проведении очистных мероприятий, поскольку концентрация загрязнителей снижается в результате естественных процессов вымывания, поглощения растениями. |
| Цинк | 55 / 100 | 300 | 10 | |

Таблица 21.8

Показатели качества беллигеративной зоны

| Показатель | Фоновое значение | Текущее значение | Площадь территории нарушения, га | Примечания |
|-------------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Площадь механических повреждений территории, га | 200 | 300 | 100 | Для устранения механических повреждений территории, последствиями которых являются нарушения покрова почвы, овраги, обвалы, канавы и т.п., необходимы мероприятия по засыпке, выравниванию территорий, лесомелиорация, высадка дерновинных злаков, очистка лесного массива от завала. Леса самовосстанавливаются. |
| Плотность основных пород деревьев, шт/га | 1000 | 500 | 50 | |

Примечание. Общая площадь нарушения — 120 га, площадь ненарушенной территории — 1280 га.

Сам объект расположен в одной из областей нечерноземной зоны РФ, «фоновое» состояние экосистем которой характеризуется следующими свойствами.

Устойчивость биогенной составляющей природного комплекса оценивается по высшему баллу — 5. Это означает, что растительный покров (в случае его разрушения) восстанавливается в течение 10 лет (характеристика пластичной устойчивости).

О высокой устойчивости данной территории свидетельствуют максимальные значения коэффициента относительной устойчивости (КОУ), определенные для этой области в интервале 0,8 — 1,0. Это означает, что в большинстве районов области допускаются любые виды техногенных воздействий с локальными нарушениями, в том числе и загрязнения тяжелыми металлами.

Почвы области относятся к ареалу с умеренной интенсивностью поглощения. Балльная оценка этого показателя составляет примерно 30 баллов при максимально возможной оценке в 60 баллов. В Нечерноземье данному умеренному поглощению соответствует интенсивное самоочищение природными факторами почвы и умеренное (среднее по интенсивности) самоочищение от газообразных и аэрозольных загрязнителей. Высокая скорость самоочищения почвы является следствием относительно низкой интенсивности поглощения и высокой водопроницаемости.

На основании формулы (20.5) с учетом приведенных в табл. 21.1 – 21.8 данных рассчитаем значение индекса загрязнения рассматриваемой территории. Промежуточные расчеты сгруппированы в табл. 21.9.

Перечисленные свойства позволяют определить особенности режима самовосстановления различных зон территории объекта после различного рода нарушений, что, в свою очередь, дает возможность обосновать состав мероприятий по устранению негативных последствий антропогенного

воздействия в тех зонах, период самовосстановления в которых слишком продолжителен (см. графу «Примечания» в табл. 21.2 – 21.8).

Таблица 21.9

Данные по расчету индекса экологического состояния территории

| Зона | Уровень нарушения в i-й зоне $\sum_j S_i^j \frac{P_{ij}}{P_{ijф}} \cdot ПДК_{ij}$ | Частный индекс качества i-й зоны $\sum_j S_i^j \frac{P_{ij}}{P_{ijф}} \cdot ПДК_{ij}$ |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зона сельскохозяйственного использования | $5 \times (450/350) + 195 \times 1 = 201,4$ | $201,4/200 = 1,01$ |
| Зона лесного хозяйства | $10 \times (2000/1600) + 390 \times 1 = 402,5$ | $402,5/400 = 1,006$ |
| Селитебная зона | $5 \times (0,6/0,06) + 2 \times (0,3/0,05) + 6 \times (1,0/0,08) + 60 \times 1 = 197,0$ | $197,0/70 = 2,81$ |
| Дороги и придорожная зона | $6 \times (100/50) + 10 \times (300/100) + 80 \times 1 = 122,0$ | $122,0/90 = 1,36$ |
| Наземные проточные воды | $140 \times (0,02/0,01 + 20/15 + 0,6/0,4 + 0,15/0,1 + 0,02/0,01) = 1166,2$ | $1166,2/140 = 8,33$ |
| Наземные непроточные воды | $60 \times (0,042/0,015 + 45/15 + 0,88/0,4 + 0,3/0,1 + 0,03/0,01 + 0,3/0,1 + 2,0/0,8) = 1050,0$ | $1050,0/60 = 7,5$ |
| Промышленная зона | $0,5 \times 33/30 + 1 \times 16/6,8 + 1,5 \times 12/3,5 + 0,2 \times 9/0,8 + 0,2 \times 4,5/0,6 + 0,4 \times 12,5/0,5 + 0,6 \times 15/1 + 37 \times 1 = 67,8$ | $67,8/40 = 1,69$ |
| Беллигеративная зона | $100 \times 300/200 + 50 \times 1000/500 + 1280 \times 1 = 1530$ | $1530/1400 = 1,09$ |
| Полигон в целом | $0,083 \times 1,01 + 0,167 \times 1,006 + 0,029 \times 2,81 + 0,0375 \times 1,36 + 0,058 \times 8,33 + 0,025 \times 7,5 + 0,017 \times 1,69 + 0,583 \times 1,09 = 1,97$ | 1,97 |

В соответствии с формулой (20.5) индекс загрязнения составил 1,97. Это означает, что в целом за период эксплуатации объекта экологическое состояние его территории ухудшилось по сравнению с фоном почти в 2 раза. Наибольший вклад в этот процесс внесло загрязнение проточных и непроточных вод. Однако при загрязнении проточных вод даже в 8 раз выше «нормы» они в случае прекращения антропогенной нагрузки могут вернуться в «нормальное состояние» в течение года за счет выноса загрязняющих веществ. Тогда для восстановления качества непроточных

вод (уровень их загрязнения превысил норму примерно в 7,5 раз) требуется проведение специальных мероприятий по очистке водоемов, поскольку загрязняющие вещества обычно накапливаются в донных отложениях, что делает эти водоемы непригодными для хозяйственного использования.

Восстановительные мероприятия необходимо проводить также в промышленной зоне (для очистки почвы от загрязнений толуолом и нефтепродуктами). В зоне сельскохозяйственного производства также требуются восстановительные мероприятия (для восстановления водопроницаемости, предотвращения заболачивания и потери плодородного верхнего слоя). Аналогичная ситуация в зоне лесного хозяйства (для очистки лесного массива от завалов, поврежденных деревьев и т.п.) и в беллигеративной зоне (для устранения механического повреждения территории, засыпки рвов, канав, ям, ее выравнивания, мелиорации, высадки дерновинных злаков, очистки лесного массива от завала).

Предположим, что площади экологических нарушений, которые не могут самоликвидироваться, по различным их видам в рамках одной зоны не пересекаются. На примере промзоны это означает, что 0,2 га, загрязненных толуолом, и 0,6 га, загрязненных нефтепродуктами, являются разными территориями. Тогда «вклад», загрязнения этих площадей в общее ухудшение экологической обстановки на территории объекта несложно определить на основе выражения (20.5). Его величина

составляет:
$$\frac{5 \times \frac{450}{350} + 10 \times \frac{2000}{1600} + 0,2 \times \frac{4,5}{0,6} + 100 \times \frac{300}{200} + 50 \times \frac{1000}{500}}{2400} = 0,55\% .$$

Из расчетных данных вытекает, что примерно 45% потерь экологического качества территория сама способна компенсировать без проведения специальных восстановительных мероприятий (при условии прекращения или снижения антропогенной нагрузки). Примерно 55%

таких потерь может быть восполнено только за счет проведения специальных восстановительных мероприятий.

Контрольные вопросы

1. Какие экосистемные показатели используют при определении качества территории?
2. Какие уровни размеров территории принято выделять при экосистемном нормировании?
3. Почему принцип антропоцентризма используется при экологическом нормировании?
4. Какие зоны, учитывая их особенности хозяйственного использования, рекомендуется выделять при экологическом нормировании?
5. Что отражают в экосистеме коэффициенты Жаккара и Сьеренсена?
6. Как определяют уровень химического загрязнения почв и водных экосистем?
7. Как определяют экологическое состояние зоны лесного хозяйства?
8. Что является "характеристиками экологического качества" зон дорог, селитебных и промышленных зон?
9. Какие показатели могут быть использованы в оценках качества экологического состояния различных зон (сельскохозяйственной, водной, лесной, селитебной, промышленной, дорожной и беллигеративной)?
10. Как рассчитывают индексы экологического качества территории?
11. Как производят анализ устойчивости конкретных экосистем на практике?
12. Как используют понятия устойчивости территории к антропогенным нагрузкам при организации природоохранной деятельности?

Темы докладов и рефератов

1. Экосистемные показатели качества территории.
2. Принцип антропоцентризма экологического нормирования.
3. Размеры территорий экосистемного нормирования.
4. Определение уровня химического загрязнения почв и водных экосистем.
5. Определение экологического состояние зоны лесного хозяйства.
6. Характеристики экологического качества зон дорог, селитебных и промышленных зон.
7. Оценка качества экологического состояния различных зон (сельскохозяйственной, водной, лесной, селитебной, промышленной, дорожной и беллигеративной).
8. Индексы экологического качества территории.
9. Анализ устойчивости конкретных экосистем на практике.
10. Понятие устойчивости территории к антропогенным нагрузкам в практике организации природоохранной деятельности.

Литература

1. Акимова Т.А. Теория организации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 367с.
2. Акимова Т.А., Батоян В.В., Моисеенков О.В., Хаскин В.В. Основные критерии экоразвития. – М.: Изд-во Рос. Экон. Акад., 1994. – 56с.
3. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
4. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
5. Глушков Е.С. О кибернетике, как науке. – М.: Изд-во Наука, 1964.
6. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
7. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
8. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию // Зеленый мир. – 1996. –С. 3 – 5.
9. Лукьянчиков Н.Н. Ноосферный путь развития России. – М.: Изд-во «Тройка», 1995. – 52 с.
10. Мамчик Н.П., Куролап С.А., Клепиков О.В., Федотов В.И., Барвитенко Н.Т. Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2002. – 332 с.
11. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.
12. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста: Учеб. пособие. – М.: Изд. Группа «Прогресс», «Пангея», 1994. – 304 с.
13. Моисеев Е.Г. Правовой статус Содружества Независимых Государств: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «Юрист», 1995. - 198 с.
14. Наше общее будущее. Доклад международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) /Пер. с англ./ Под ред. С.А.Евтеева и Р.А.Перелета. – М.: Прогресс, 1989. - 376 с.
15. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.

16. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 464 с.
17. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во МГУ, 1970.
18. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 150 с.
19. Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. – Женева: Центр “За наше общее будущее”, 1993. X. - 70 с.
20. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России / Под ред. В.Ф. Протасова. – М.: Изд-во «Финансы и статистика», 1995. – 528 с.
21. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Изд-во «Мысль», 1990. – 637 с.
22. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.
23. Сидоренко С.Н., Зыков В.Н., Чернышов В.И. Проблемные вопросы управления эколого-экономическими системами – // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003. – № 7. – С. 8 – 20.
24. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
25. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой. – М.: Изд-во «Варяг», 1996 – 268 с.
26. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. – М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
27. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. – М.: Изд-во «Экспертное бюро – М», 1998. – 224 с.
28. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере: Монография. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
29. Чернышов В.И. Современные принципы и проблемы экологического менеджмента // Вестник РУДН, Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности» 1996. – № 1. – с. 114 – 116.
30. Чернышов В.И. Структура экологического менеджмента на предприятии: Метод. пособие – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 31 с.

31. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.
32. Шмальгаузен И.И. Количество фенотипической информации в строении популяции и скорость естественного отбора. // В сб.: Применение математических методов в биологии. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1960.
33. Экологические проблемы: что происходит? кто виноват? что делать? / Под ред В.И.Данилова-Данильяна. – М.: МНЭПУ, 1996.
34. Экология. Учеб. пособие. – М.: Знание, 1997. – 288 .

ОПИСАНИЕ КУРСА И ПРОГРАММА

I. Общее описание курса:

Трудоёмкость курса: 4 кредита

Цель курса: систематизированная подготовка экспертов по экологической метрологии.

В задачи курса входит изучение:

- исторических предпосылок становления экологической метрологии;
- основ теории измерений и основного постулата метрологии;
- эталонов, их классификаций и видов;
- предмета и задачи экологической метрологии;
- общей теории экологических величин и измерений;
- особенностей метрологии эколого-экономических систем;
- биометрии экологической метрологии;
- критериев оценки экологического состояния территории (биологических, пространственных, динамических, абиотических и эргодемографических);
- критериев экологической техноёмкости и демографической напряжённости территории;
- медико-демографических и санитарно-гигиенических критериев состояния территории;
- оценки экологического качества территории методами экологической метрологии.

Область знаний: природопользование.

Уровень обучения: курс дополнительной профессиональной подготовки для специалистов высшей школы и российских надзорных служб (Росприроднадзора и Ростехнадзора).

Курс: теоретический и прикладной.

Инновационность курса состоит в:

-обучении инновационным методам ресурсо- и энергосберегающего природопользования на основе стандартизации и метрологического обеспечения в экологии;

в тесном сотрудничестве специалистов высшей школы; российских федеральных надзорных служб (Росприроднадзора и Ростехнадзора) экологических служб отраслей, предприятий и организаций.

Структура курса:

Количество аудиторных часов: 22 лекции по 2 аудиторных часа; 14 семинаров по 2 аудиторных часа. Всего: 72 аудиторных часа.

Самостоятельная работа: 72 часа.

ИТОГО: 144 часа.

Темы лекций:

1 лекция: Введение. Элементы общей метрологии. Исторические предпосылки становления экологической метрологии.

2 лекция: Основы теории измерений.

3 лекция: Основной постулат метрологии.

4 лекция: Эталоны, их классификация и виды.

5 лекция: Предмет и задачи экологической метрологии.

6 лекция: Общая теория экологических величин и измерений.

7 лекция: Особенности метрологии эколого-экономических систем.

8 лекция: Биометрия экологической метрологии. (Репрезентативность показателей. Генеральная совокупность. Выборка.).

9 лекция: Биометрия экологической метрологии. (Достоверность, Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Информационные критерии.).

10 лекция: Критерии оценки экологического состояния территории.

11 лекция: Биологические критерии состояния территории.

12 лекция: Почвенные критерии состояния территории.

13 лекция: Пространственные критерии состояния территории.

14 лекция: Динамические критерии состояния территории.

15 лекция: Критерии оценки абиотического состояния экосистем. (Атмосфера. Поверхностная и подземная гидросфера.).

16 лекция: Критерии оценки абиотического состояния экосистем. (Почва. Литосфера).

17 лекция: Эргодемографические критерии состояния территории.

18 лекция: Критерии экологической техноемкости территории.

19 лекция: Критерии демографической напряженности территории.

20 лекция: Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории.

21 лекция: Экологическая метрология территорий.

22 лекция: Оценка экологического качества территории методами экологической метрологии.

Темы семинарских занятий:

1 семинар: Метрология — наука об измерениях; измерения и виды измерений.

2 семинар: Факторы влияющие на качество измерений; погрешности измерений; единство измерений.

3 семинар: Меры, наборы мер; измерительные преобразователи; измерительные приборы, установки и системы; передача и представление измерительной информации.

4 семинар: Единицы и системы единиц экологических величин; методы и средства экологических измерений.

5 семинар: Биометрические принципы экологических измерений; биометрия эколого-экономических систем; математика биометрии.

Реферат.

6 семинар: Оценка выборки экологических показателей территории; обработка и анализ выборки; репрезентативность, надежность и точность выборки. Контрольная работа.

7 семинар: Оценка достоверности экологических показателей территории. Контрольная работа.

8 семинар: Оценка информационного показателя силы влияния на экологическое состояние территории. Контрольная работа.

9 семинар: Критерии оценки экологического состояния территории.
Коллоквиум.

10 семинар: Ботанические, биохимические, зоологические и почвенные критерии экологического состояния территории.

11 семинар: Оценка экологического состояния территории по абиотическим критериям — атмосферным, гидросферным (поверхностным и подземным), педосферным (почвенным) и литосферным.

12 семинар: Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии экологического состояния территории.

13 семинар: Диагностика экологической техноёмкости и демографической напряженности территории по эргодемографическим индексам.

14 семинар: Оценка экологического качества территории с использованием экосистемных нормативов.

Реферат по основам теории измерений, метрологическим основам систем экологических измерений, по предмету и задачам экологической

метрологии, биометрии экологической метрологии, показателям экологического состояния территории..

Коллоквиум по методам оценки экологического состояния территории с использованием биотических, абиотических медико-демографических, санитарно-гигиенических и эргодемографических критериев.

Форма оценки знаний: балльно-рейтинговая система

Форма контроля:

- *промежуточный* – опрос на семинарах; 3 контрольные работы по предыдущим семинарам: составление протокола оценки экологического состояния территории с использованием различных критериев; коллоквиум по методам оценки экологического состояния территории;
- *итоговый* – зачёт; экзамен.

Рейтинговая система оценки знаний студентов по курсу:

Максимальное число баллов, набранных в семестре – 100

| № п/п | Вид задания | Число заданий | Кол-во баллов | Сумма баллов |
|-------|--------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | Посещение лекций | 22 | 0,5 | 11 |
| 2 | Ведение конспектов | 22 | 1 | 22 |
| 3 | Посещение семинарских занятий | 14 | 0,5 | 7 |
| 4 | Работа на семинарских занятиях | 14 | 1 | 14 |
| 5 | Устный опрос на семинарах | 2 | 3 | 6 |
| 6 | Контрольные работы | 3 | 3 | 9 |
| 7 | Коллоквиум | 1 | 8 | 8 |
| 8 | Подготовка и защита реферата | 1 | 8 | 8 |
| 9 | Итоговая аттестация | 1 | 15 | 15 |
| | ИТОГО | | | 100 |

Соответствие систем оценок (используемых ранее оценок итоговой академической успеваемости, оценок ECTS и балльно-рейтинговой системы (БРС) оценок текущей успеваемости). В соответствии с Приказом Ректора № 996 от 27.12.2006 г.

| Баллы БРС | Традиционные оценки в РФ | Баллы для перевода оценок | Оценки | Оценки ECTS |
|-----------|--------------------------|---------------------------|--------|-------------|
| 86-100 | 5 | 95-100 | 5+ | A |
| | | 86-94 | 5 | B |
| 69-85 | 4 | 69-85 | 4 | C |
| 51-68 | 3 | 61-68 | 3+ | D |
| | | 51-60 | 3 | E |
| 0-50 | 2 | 31-50 | 2+ | FX |
| | | 0-30 | 2 | F |
| 51-100 | Зачет | | Зачет | Passed |

Студенты обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем. Работы, предоставленные с опозданием, не оцениваются, контрольные работы не переписываются. Студенты, получившие в течение семестра оценку D или E (3) или C (4) и желающие повысить свою оценку, допускаются к зачёту и экзамену (итоговая аттестация).

Посещение лекций отмечается в журнале лекций. Ведение конспектов лекций (качество) оценивается на текущих семинарских занятиях или в конце семестра (по выбору преподавателя).

Посещение семинарских занятий отмечается в журнале группы. Оценка работы на семинаре зависит от активности студента и качества его работы.

Устный опрос на семинарских занятиях проводится по следующему регламенту: всего на курс приходится 14 семинарских занятий. Из них: 1 занятие – вводное; на 3 проводятся контрольные работы (семинары 6,7,8); на 10 семинарах проводится устный опрос, как минимум, 4 человек из группы, таким образом, каждый студент может быть устно опрошен за семестр по данному курсу 2 раза (минимум)*.

На трёх семинарских занятиях проводятся письменные контрольные работы в виде тестов.

Коллоквиум проводится в письменно-устной форме в процессе индивидуального опроса преподавателем каждого студента.

После прослушивания лекций и проведения семинаров по вопросам здоровья трудящихся и возникновению профессиональных заболеваний студенты сдают реферат.

Студенты, набравшие 40 баллов в течение семестра, не допускаются к итоговой аттестации.

Итоговая аттестация включает зачёт с практическими заданиями и экзамен по теоретической части курса.

Зачёт оценивается из 5 баллов, а экзаменационная работа из 10 баллов, независимо от оценки, полученной в семестре.

Общее количество 0-50 баллов, полученное после итоговой аттестации является неудовлетворительным.

* - при численности группы – 20 человек

II. Программа курса:

ТЕМА 1:

Лекция: Введение. Элементы общей метрологии. Исторические предпосылки становления экологической метрологии.

Место экологической метрологии в современной российской и зарубежном природопользовании. Связь экологической метрологии с экологией и метрологией. Возникновение понятия экологической метрологии.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
2. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.
2. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 2:

Лекция: Основы теории измерений. Измерение — познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с известной величиной, принятой за единицу сравнения. Измерения являются одним из путей познания природы человеком. Значение измерений в современном обществе. Метрология в ее современном понимании – как наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 3:

Лекция: Основной постулат метрологии. Определение основных понятий в области метрологии. Роль шкалы отношений в измерениях. Математическое выражение процедуры сравнения неизвестного значения с известным и выражения первого через второе в кратном, или дольном отношении. Аксиомы метрологии.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА4:

Лекция: Эталоны, их классификация и виды. Эталон, как высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений, выполненная по особой спецификации и официально утвержденная в установленном порядке в качестве эталона. Критерий измерения – «первичный эталон» (национальный и международный). Меры, набор мер. Измерительные преобразователи, приборы, установки и системы. Критерии и «первичные эталоны» экологических измерений. Передача и представление измерительной информации

Семинар: Метрология — наука об измерениях; измерения и виды измерений. Виды измерений. Факторы, влияющие на качество измерений. Погрешности измерений. Критерий измерения – «первичный эталон» Критерии и «первичные эталоны» экологических измерений.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.
2. Сидоренко С.Н., Зыков В.Н., Чернышов В.И. Проблемные вопросы управления эколого-экономическими системами. // Вестник РУДН, Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003. № 7. – с. 8 – 20.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 5:

Лекция: Предмет и задачи экологической метрологии. Заинтересованность международного сообщества в охране окружающей среды, обеспечении устойчивости развития стран и регионов, защите интересов будущих поколений. Создание стандартов, определяющих единую методологию их проведения. Международная организация по

стандартизации (ИСО). Государственные стандарты Российской Федерации из серии ИСО 14000, — ГОСТ Р ИСО 14001-98 и ГОСТ Р ИСО 14004-98. Ботанические, биохимические, пространственные и др. критерии экологического состояния природных и техногенных экосистем («норма», «риск», «кризис», «бедствие»).

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.
2. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.
3. Сидоренко С.Н., Зыков В.Н., Чернышов В.И. Проблемные вопросы управления эколого-экономическими системами. // Вестник РУДН, Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003. № 7. – с. 8 – 20.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 6:

Лекция: **Общая теория экологических величин и измерений.** Концепция комплексной оценки состояния природной среды (экологического состояния территорий). Выбор информативных критериев оценки состояния экосистем и их биотической, абиотической, медико-демографической и эколого-гигиенической составляющих. Оценка состояний формирующих экосистему биотических (биом) и абиотических (геом) компонентов (сфер, сред). Ранжирование экосистемы и биома на зоны нарушений, а геоба - на соответствующие им классы состояний. Уровни природно-антропогенных экологических нарушений: нормы (Н),

риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б). Единицы и системы единиц экологических измерений. Методы и средства экологических измерений.

Методы и средства экспертизы условий труда. Государственная экспертиза условий труда. Документальная экспертиза. Экспертиза аттестации рабочих мест по условиям труда. Лабораторные методы экспертизы. Экспертиза проектов промышленных объектов. Независимая экспертиза условий труда.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.
2. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.
2. Сидоренко С.Н., Зыков В.Н., Чернышов В.И. Проблемные вопросы управления эколого-экономическими системами. // Вестник РУДН, Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003. № 7. – с. 8 – 20.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 7:

Лекция: Особенности метрологии эколого-экономических систем.

Математическое моделирование, включающее в себя методологию экспертных оценок, — как средство получения информации о возможном состоянии биосферы вследствие крупномасштабных воздействий на нее со стороны человеческого общества. «Описательные» модели применяющие наряду с математическими методами другие способы анализа явлений: логику, аналогии, ассоциации и т.д. Биометрическое описание и анализ биологических множеств, таксономических разделов, популяций,

штаммов, сортов, породных линий, посевов, стад, подопытных групп и т.п. Разработка биометрических алгоритмов для автоматизации диагнозов и прогнозов при помощи компьютеров в макроэкологии, экологии, биологии, сельском хозяйстве и медицине.

Семинар: Факторы влияющие на качество измерений; погрешности измерений; единство измерений. Влияние на подготовку и проведение измерений: объекта измерения; субъекта (эксперта, или экспериментатора); способа измерения; средства измерения; условий измерения. Классификация погрешностей измерения и причины погрешности измерений: инструментальные, методические и субъективные. Систематические погрешности и способы их предотвращения: тарирование, калибровка и рандомизация. Обеспечение единства измерений.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Изд-во Гидрометиздат, 1976.
2. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.
3. Сидоренко С.Н., Зыков В.Н., Чернышов В.И. Проблемные вопросы управления эколого-экономическими системами. // Вестник РУДН, Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003. № 7. – с. 8 – 20.

Использованная литература по теме

1. Шмальгаузен И.И. Количество фенотипической информации в строении популяции и скорость естественного отбора. // В сб.: Применение математических методов в биологии. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1960.
2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 8:

Лекция: Биометрия экологической метрологии. (Репрезентативность показателей. Генеральная совокупность. Выборка.).

Репрезентативность выборочных показателей. Понятие генеральной совокупности показателей. Выборка показателей: часть генеральной совокупности; отобранная в случайном порядке, определенным образом; исследуемая для характеристики как отобранных объектов, так и всей генеральной совокупности.

Семинар: Меры, наборы мер; измерительные преобразователи; измерительные приборы, установки и системы; передача и представление измерительной информации. Меры. Однозначные и многозначные меры. Индикаторы мер. Функциональные преобразователи: первичные (непосредственно воспринимающие измеряемую величину); передающие, на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние; промежуточные, работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение физической величины. Измерительные приборы: прямого действия; приборы сравнения; измерительные установки. Передача измерительной информации.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 150 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.

Использованная литература по теме

1. Шмальгаузен И.И. Количество фенотипической информации в строении популяции и скорость естественного отбора. // В сб.: Применение математических методов в биологии. - Л., Изд-во ЛГУ, 1960.

2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 9:

Лекция: Биометрия экологической метрологии. (Достоверность, Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Информационные критерии). Определение достоверности техногенных и биологических показателей. Критерий достоверности разности. Минимальный порог достоверности. Вычисление коэффициента корреляции для малых и больших групп без применения и с применением корреляционной решетки. Полный корреляционный анализ при изучении сопряженного разнообразия новых признаков. Дисперсионный анализ для однофакторных и двухфакторных, пропорциональных и неравномерных комплексов, малых и больших групп, мало- и многозначных дат, количественных и качественных признаков. Регрессионный анализ в экологической метрологии. Изображение регрессии: ряд регрессий (эмпирический и теоретический), линия регрессии, коэффициент регрессии и уравнение регрессии. Способ скользящей средней. Графический способ. Точечный график. Коэффициент прямолинейной регрессии.

Семинар: Единицы и системы единиц экологических величин; методы и средства экологических измерений. Классификация и иерархии показателей оценки состояния (классов) экосистем и геосферных оболочек Земли. Нормирование и стандартизация — важнейшие средства регулирования природопользования, применяемые в отечественной и в зарубежной практике управления качеством окружающей среды. Экологический норматив экосистемы — граница количественного изменения параметров экосистемы, устанавливаемая из условия сохранения ее структуры и функции, а также всех экологических компонентов, необходимых для учета в хозяйственной деятельности. Три категории экосистем: уникальные или заповедные; широко распространенные естественные; сильно преобразованные или искусственные. Основные принципы экологического нормирования: цели, опережения, порога, саморегуляции, «слабого звена», «больше не значит лучше», «джиу-джитсу», снижения удельного риска.

Семинар: Биометрические принципы экологических измерений; биометрия эколого-экономических систем; математика биометрии. Формализованные и неформальные (описательные) модели изучаемых экологических процессов и явлений. Уравнения модели, равенства и неравенства, различного вида ограничения, входящие в структуру модели, позволяющие имитировать поведение объекта в различных условиях, не прибегая к натурным экспериментам. Моделирование биологических

множеств, таксономических разделов, популяций, штаммов, сортов, пород, линий, посевов, стад, подопытных групп и т.п. Биометрия — новая синтетическая наука с собственным предметом изучения, с особыми основными методами, особыми терминологией, символикой и специфическими задачами. Сопряженное разнообразие влияния факторов, определяющих развитие признака, изучаемого в качестве функции этих факторов. Репрезентативность выборочных показателей. Пороги вероятности безошибочных прогнозов.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 150 с.
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.
2. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.

Использованная литература по теме

1. Шмальгаузен И.И. Количество фенотипической информации в строении популяции и скорость естественного отбора. // В сб.: Применение математических методов в биологии. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1960.
2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 10:

Лекция: Критерии оценки экологического состояния территории. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) учитывает все виды воздействия на компоненты окружающей среды (ОС), включая экологические, экономические и социальные аспекты. ОВОС по основным природным средам (атмосфера, поверхностная и подземная гидросфера, педосфера, литосфера и биосфера). ОВОС — как составная часть всего этапа проектирования. Закон Российской Федерации «Об экологической

экспертизе» (1995г.). Нормативные документы для конкретных предприятий (технологий).

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
2. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Пашков Е.В., Фомин Е.Г., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. - 464 с.
2. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой –М.: Изд-во «Варяг», 1996 –268 с.

Использованная литература по теме

1. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России / Под ред. В.Ф. Протасова. – М.: Изд-во «Финансы и статистика», 1995. – 528 с.
2. Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Центр “За наше общее будущее”, 1993. X. - 70 с.

ТЕМА 11:

Лекция: Биологические критерии состояния территории. Ботанические критерии — как наиболее значимые и наиболее чувствительные к нарушениям окружающей среды и наилучшим образом прослеживающие зоны экологического состояния по размерам в пространстве и по стадиям нарушения во времени. Признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте).

Биохимические критерии экологического нарушения основанные на измерениях аномалий в содержании химических веществ в растениях. Квалификация критического экологического нарушения территории по

изменению соотношения содержания токсичных и биологически активных микроэлементов в растениях.

Зоологические критерии и показатели нарушения животного мира на ценологических уровнях: видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса и продуктивность, энергетика, и на популяционных: пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структура.

Семинар: Оценка выборки экологических показателей территории; обработка и анализ выборки; репрезентативность, надежность и точность выборки. Контрольная работа. Определение выборки. Системы отбора особей в выборке. Расчет средней арифметической и среднего квадратического отклонения. Оценка выборочных разностей. Репрезентативность и ошибка репрезентативности. Доверительные границы. Четыре порога вероятности безошибочных прогнозов (надежности). Показатель точности и его определение.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 150 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.

Использованная литература по теме

1. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 367 с.
2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 12:

Лекция: Почвенные критерии состояния территории. Почвенные критерии в статусе оценочных критериев экосистемы. Ухудшение свойств почв — наиболее сильный фактор формирования зон экологического риска, кризиса или бедствия. Почвенно-эрозионные критерии — как показатель вторично антропогенных геоморфологических процессов, ускоренных неблагоприятной хозяйственной деятельностью человека. Интегральный показатель загрязнения почвы — ее фитотоксичность (свойство почвы подавлять рост и развитие высших растений) и гентотоксичность (способность влиять на структурно-функциональное состояние почвенной биоты). Свойства почвы, наиболее чувствительные к воздействию антропогенных факторов: - *показатели химического состояния почв* (емкость поглощения, состав обменных катионов, степень засоления, валовые содержания элементов, концентрации, активность ионов в жидкой фазе почвы, групповой и фракционный состав гумуса, окислительно-восстановительный потенциал и другие);

- *показатели физического состояния почв* (водопроницаемость, влажность, плотность почвы, температура, электропроводность, намагниченность, крутизна слоя и другие);

- *показатели биологического состояния почв* (дыхание, скорость разложения целлюлозы, численность и видовое разнообразие микроорганизмов и т.п.);

- *показатели эрозионного воздействия на почвы* (относительная мощность гумусового горизонта, наличие погребенных горизонтов).

Семинар: Оценка достоверности экологических показателей территории. Контрольная работа. Определение достоверности выборок генеральных параметров природно-техногенных экосистем. Методы определения достоверности реально существующей выборочной разности. Критерий достоверности разности. Вычисление коэффициента корреляции для малых и больших групп без применения и с применением корреляционной решетки. Определение достоверности коэффициента корреляции. Алгоритмы дисперсионного анализа для однофакторных и двухфакторных, пропорциональных и неравномерных комплексов, малых и больших групп, мало- и многозначных дат, количественных и качественных признаков. Регрессионный анализ: определение регрессии; способ скользящей средней; графический способ; точечный график; коэффициент прямолинейной регрессии.

Семинар: Оценка информационного показателя силы влияния на экологическое состояние территории. Контрольная работа. Различные понятия термина «информация»: единичная информация; групповая информация. Понятие «энтропия» и ее соотношение с экологическим

состоянием территории. Информационный показатель силы техногенного влияния на экологическое состояние территории.

Семинар: Критерии оценки экологического состояния территории.

Контрольная работа. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) учитывает все виды воздействия на компоненты окружающей среды (ОС), включая экологические, экономические и социальные аспекты. ОВОС по основным природным средам (атмосфера, поверхностная и подземная гидросфера, педосфера, литосфера и биосфера). ОВОС — как составная часть всего этапа проектирования.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой –М.: Изд-во «Варяг», 1996 –268 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

Коллоквиум.

ТЕМА 13:

Лекция: Пространственные критерии состояния территории. Оценка площади пораженности экосистем территории. Пространственный критерий зон экологического нарушения — площадь земель (в %), выведенных из землепользования в пределах исследуемой экосистемы. Зоны нарушения экосистем в зависимости от глубины экологического нарушения и его площади.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой –М.: Изд-во «Варяг», 1996 –268 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 14:

Лекция: Динамические критерии состояния территории. Стабильные природные зоны кризисных и бедственных признаков не являющиеся антропогенными. Динамические критерии выявления зон экологического нарушения по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды. Стабильные территории. Умеренно динамичные территории. Средне динамичные территории. Сильно динамичные. Выявление скорости смен и исключения разно годичных колебаний при выделении зон экологического бедствия.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой –М.: Изд-во «Варяг», 1996 –268 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с

3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 422 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 15:

Лекция: Критерии оценки абиотического состояния экосистем. (Атмосфера. Поверхностная и подземная гидросфера). Оценка современного состояния геосферных оболочек по критериям: прямым (группы геогидрохимических, геодинамических, медико-санитарных и ресурсных критериев), косвенным (через критерии оценки смежных сред, с которыми геосферы тесно взаимодействуют (атмосфера и почвы, атмосфера и растительность и т.д.) и индикаторным (дают общую картину состояния той или иной геосферы или компонента природной среды).

Интегральная оценка загрязнения воздушного бассейна исследуемой территории системой прямых, косвенных и индикаторных критериев. Комплексный показатель среднегодового загрязнения атмосферы — КИЗА. Ресурсный потенциал атмосферы территории. Параметр потребления воздуха. Оценка ресурсного потенциала атмосферы.

Оценка качества поверхностных вод (степени загрязненности). Индикационные критерии оценки. Ресурсные критерии оценки. Фоновые значения качества вод. Индексы соприкосновения.

Оценка качества (состояния) подземных вод. Четыре уровня состояния подземных вод или классов их состояний: - относительного благополучия (класс нормы); - проявление постоянных тенденций негативных изменений (класс риска); - кризисное состояние (класс кризиса); - бедственное состояние (класс бедствия).

Семинар: Ботанические, биохимические, зоологические и почвенные критерии экологического состояния территории. Ботанические критерии экологического нарушения — признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте).

Биохимические критерии экологического нарушения — на измерениях аномалий в содержании химических веществ в растениях. Квалификация

критического экологического нарушения территории по изменению соотношения содержания токсичных и биологически активных микроэлементов в растениях.

Зоологические критерии — показатели нарушения животного мира на ценологических уровнях: видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса и продуктивность, энергетика, и на популяционных: пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структура.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой —М.: Изд-во «Варяг», 1996 —268 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Шмальгаузен И.И. Количество фенотипической информации в строении популяции и скорость естественного отбора. // В сб.: Применение математических методов в биологии. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1960.
2. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 16:

Лекция: Критерии оценки абиотического состояния экосистем. (Почва. Литосфера). Укрупненные показатели оценки техногенной загрязненности почв с количественным ранжированием значений по классам состояний. Ресурсные критерии оценки состояния педосферы. Индикационные критерии оценки состояния почв. Ранжирование состояния почвы по классам. Интегральные показатели биогенности почвы.

Отличительная черта геосферной оболочки. Прямые критерии оценки экологического состояния с ранжировкой по классам состояний по группам геохимических критериев. Геодинамическая группа критериев используемая для оценки состояния рельефа и развития природных и техногенно активизированных геологических процессов. Интегральная оценка измененности геологической среды: использование двухрядной матрицы; использование суммарных (интегральных) оценок степени геоэкологической измененности территории.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации: Учеб. пособие / Под редакцией Ю.П. Осипова, Е.М. Львовой –М.: Изд-во «Варяг», 1996 –268 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 17:

Лекция: Эргодемографические критерии состояния территории. Энергетический подход к соизмерению природных и производственных потенциалов территории. Количественная оценка зональной принадлежности и производственной насыщенности территории с помощью энергетических показателей. Эргодемографический индекс — основа типизации эколого-экономических систем. Методы расчета эргодемографического индекса. Типы эколого-экономических систем.

Семинар: Оценка экологического состояния территории по абиотическим критериям — атмосферным, гидросферным (поверхностным и подземным), педосферным (почвенным) и литосферным. Оценка современного состояния геосферных оболочек по критериям: прямым (группы геогидрохимических, геодинамических, медико-санитарных и ресурсных критериев), косвенным (через критерии оценки смежных сред, с которыми геосферы тесно взаимодействуют (атмосфера и почвы, атмосфера и растительность и т.д.) и индикаторным (дают общую картину состояния той или иной геосферы или компонента природной среды).

Интегральная оценка загрязнения воздушного бассейна исследуемой территории системой прямых, косвенных и индикаторных критериев. Комплексный показатель среднегодового загрязнения атмосферы — КИЗА. Ресурсный потенциал атмосферы территории. Параметр потребления воздуха. Оценка ресурсного потенциала атмосферы.

Оценка качества поверхностных вод (степени загрязненности). Индикационные критерии оценки. Ресурсные критерии оценки. Фоновые значения качества вод. Индексы сопригодности.

Оценка качества (состояния) подземных вод. Четыре уровня состояния подземных вод или классов их состояний: - относительного благополучия (класс нормы); - проявление постоянных тенденций негативных изменений (класс риска); - кризисное состояние (класс кризиса); - бедственное состояние (класс бедствия).

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.

3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 18:

Лекция: Критерии экологической техноемкости территории. Содержание понятия «экологическая техноемкость территории» — обобщенной характеристики территории, количественно соответствующей максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств. Синоним экологической техноемкости территории — предельно допустимая техногенная нагрузка. Энергетический эквивалент суммарной предельно допустимой техногенной нагрузки. Коэффициент антропогенной насыщенности территории.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 19:

Лекция: Критерии демографической напряженности территории. Количественное выражение критерия демографической напряженности территории. Расчет индекса демографической напряженности в территории. Характеристики, влияющие на демографическую напряженность в территории.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 20:

Лекция: Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории. Оценка состояния здоровья населения в совокупности с критериями и показателями загрязнения окружающей среды медико-демографическим критерием. Основные медико-демографические показатели связанные с загрязнением окружающей среды: заболеваемость, детская смертность, медико-генетические нарушения, специфические и онкологические заболевания.

Санитарно-гигиенические критерии (нормативы) — качественно-количественные показатели, соблюдение которых гарантирует безопасные или оптимальные условия существования человека. Методологическая

база гигиенического нормирования. Санитарно-гигиеническая интерпретация предельно допустимых концентраций веществ в среде (атмосфере, воде, почве). Комбинированное действие факторов различной природы. Нормативы антропогенных воздействий — класс экологических нормативов, включающих нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в водные объекты, размещения твердых отходов, квоты изъятия природных ресурсов, а также многочисленные нормы и регламентации различных сторон хозяйственной деятельности, изложенные в санитарно-гигиенических, строительных, природоохранных нормах и правилах, включая технологические, планировочные, рекреационные и иные нормативы.

Семинар: Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии экологического состояния территории. Оценка состояния здоровья населения с использованием медико-демографического критерия и экологических нормативов, включающих нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в водные объекты, размещения твердых отходов, квоты изъятия природных ресурсов, а также многочисленные нормы и регламентации различных сторон хозяйственной деятельности, изложенные в санитарно-гигиенических, строительных, природоохранных нормах и правилах, включая технологические, планировочные, рекреационные и иные нормативы.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 21:

Лекция: **Экологическая метрология территорий.** Различие целевых установок экосистемного и гигиенического нормирования. Четыре уровня размеров территории при экосистемном нормировании: элементарный ландшафт (простое урочище), локальный (его примером является экосистема в пределах элементарного водосборного бассейна), региональный и глобальный ландшафты (страна и континент). Принцип антропоцентризма эколого-системного нормирования. Специфический набор показателей экологического состояния различных хозяйственных территорий: - пригодные для сельскохозяйственного использования (пахотные, кормовые, приусадебные земли и участки, многолетние насаждения, сенокосы и т.п.); - лесное хозяйство (почвозащитные, полеззащитные, курортные, рекреационные, общего использования леса); - селитебные зоны (городские и поселковые застройки, городские лесонасаждения и т.п.); - дороги (автомагистрали, грунтовые и прилегающие к ним участки, шириной до 100 м); - водный ландшафт и прилегающие к нему земли (пойма, лес, заболоченные участки); - промышленные зоны; - беллигеративные земли (территории, отведенные под использование, связанное со значительным разрушением их состояния, т.е. испытательные полигоны, карьеры, отвалы и т.п.).

Анализа устойчивости локальных экосистем: элементарных (урочища), локальных, региональных, страновых. Решение проблем анализа устойчивости конкретных экосистем на практике.

Семинар: **Диагностика экологической техноемкости и демографической напряженности территории по эргодемографическим индексам.**

Содержание понятия «экологическая техноемкость территории» — обобщенной характеристики территории, количественно соответствующей максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств. Синоним экологической техноемкости территории — предельно допустимая техногенная нагрузка. Энергетический эквивалент суммарной предельно допустимой техногенной нагрузки. Коэффициент антропогенной насыщенности территории.

Количественное выражение критерия демографической напряженности территории. Расчет индекса демографической напряженности в

территории. Характеристики, влияющие на демографическую напряженность в территории.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: Учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
4. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

ТЕМА 22:

Лекция: Оценка экологического качества территории методами экологической метрологии. Оценка экологического качества территории, структура которой образована семью зонами: земли сельскохозяйственного использования, лесное хозяйство, городские и поселковые застройки, автомагистральные и грунтовые дороги, водный ландшафт, промышленная зона, бelligеративные земли.

Семинар: Оценка экологического качества территории с использованием экологических нормативов. Структура территории образована семью зонами: земли сельскохозяйственного использования, лесное хозяйство, городские и поселковые застройки, автомагистральные и грунтовые дороги, водный ландшафт, промышленная зона, бelligеративные земли. Сформировать единый показатель, пригодный для определения степени устойчивости каждой из зон территории сложно,

поскольку экологическое качество зависит от множества специфических характеристик. В таких ситуациях рекомендуется использовать балльный принцип оценки. Для каждой зоны выделяется набор факторов, которые оказывают существенное влияние на устойчивость. Уровень каждого из них, отождествляемый с этим влиянием, оценивается в баллах (по пятибалльной шкале). Оценка 5 баллов определяет самую высокую степень устойчивости. Усредненная оценка устойчивости *i*-й зоны территории может быть определена как среднеарифметическое значение всех учитываемых факторов.

Рекомендуемая литература по теме

Обязательная:

1. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
2. Зыков В.Н., Касьяненко А.А., Попадейкин В.В., Чернышов В.И. Развитие нормативно-правового регулирования охраны природы и экологической метрологии./Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2005. – 268 с
4. Зыков В.Н., Чернышов В.И. Введение в экологическую метрологию и экологическое нормирование: Метод пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 24.
3. Чернышов В.И. Системные основы экологического менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – 341 с.

Дополнительная:

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 464 с.
2. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 264 с.
3. Хоружая Т.А. Методы оценки экологической опасности. - М.: Изд-во «Экспертное бюро - М», 1998. - 224 с.

Использованная литература по теме

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Изд-во «Россия Молодая», 1994. – 367 с.

Темы рефератов к разделам:
Основы теории измерений.

Метрологические основы систем экологических измерений.

Биометрия экологической метрологии.

Показатели экологического состояния территории.

1. Метрология — наука об измерениях.
2. Измерения. Виды измерений.
3. Основной постулат метрологии.
4. Факторы, влияющие на качество измерений.
5. Погрешности измерений.
6. Единство измерений.
7. Меры, наборы мер.
8. Измерительные приборы, установки и системы.
9. Передача и представление измерительной информации.
10. Предмет и задачи экологической метрологии.
11. Общая теория экологических величин и измерений.
12. Единицы и системы единиц экологических величин.
13. Методы и средства экологических измерений.
14. Особенности метрологии эколого-экономических систем.
15. Математика биометрии.
16. Биометрия экологической метрологии.
17. Выборка, репрезентативность и надежность выборочных биологических показателей.
18. Достоверность биологических показателей.
19. Корреляционный анализ биологических показателей.
20. Дисперсионный и регрессионный анализ биологических показателей.
21. Информация в биометрии.
22. Метрологические основы и нормативные принципы экологических измерений и оценки.
23. Биотические критерии экологических измерений.
24. Почвенные критерии экологических измерений.
25. Динамические критерии экологических измерений.
26. Критерии оценки абиотической составляющей экосистем.
27. Экологическая диагностика территории по эргодемографическим индексам.
28. Критерии экологической техноёмкости территории.
29. Критерии демографической напряженности территории.
30. Медико-демографические критерии экологической оценки состояния территории.
31. Оценка устойчивости административно-хозяйственной территории к антропогенным воздействиям.

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Курса: «Экологическая метрология»

Цель: систематизированная подготовка магистров- и специалистов-экспертов по экологической метрологии.

Категория слушателей: лица с высшим образованием, специалисты, работающие в области экологической экспертизы федеральных природоохранных служб, а также природоохранных служб министерств, ведомств, предприятий и организаций.

Срок обучения: Количество аудиторных часов: 22 лекции по 2 аудитор. часа; 14 семинаров по 2 аудитор. часа. Всего: 72 аудитор. часа.

Самостоятельная работа: 72 часа.

ИТОГО: 144 часа.

Форма обучения: очная и очно-заочная

| № | Название разделов, дисциплин и тем. | Всего часов | | | | Форма контроля |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|---------------------|------------------------|----------------|
| | | В том числе: | | | | |
| | | Всего | Лекции | Семинарские занятия | Самостоятельная работа | |
| 1. | Основы теории измерений. | 20 | 10 | 2 | 10 | |
| 1.1 | Введение. Элементы общей метрологии. Исторические предпосылки становления экологической метрологии. | 4 | 2 | | 2 | |
| 1.2. | Основы теории измерений. | 4 | 2 | | 2 | |
| 1.3. | Основной постулат метрологии. | 4 | 2 | | 2 | |
| 1.4. | Эталоны, их классификация и виды. | 4 | 2 | | 2 | |
| 1.4.1. | Семинар: Метрология — наука об измерениях; измерения и виды измерений. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 2. | Метрологические основы систем экологических измерений. | 16 | 6 | 2 | 8 | |
| 2.1. | Предмет и задачи экологической метрологии | 4 | 2 | | 2 | |
| 2.2. | Общая теория экологических величин и измерений. | 4 | 2 | | 2 | |

| | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| 2.3. | Особенности метрологии эколого-экономических систем. | 4 | 2 | | 2 | |
| 2.3.1. | Семинар: Вопросы состояния здоровья различных групп населения | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 3. | Биометрия экологической метрологии. | 20 | 4 | 6 | 10 | |
| 3.1. | Репрезентативность показателей. Генеральная совокупность. Выборка. | 4 | 2 | | 2 | |
| 3.1.1. | Семинар: Меры, наборы мер; измерительные преобразователи; измерительные приборы, установки и системы; передача и представление информации. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 3.2. | Достоверность. Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Информационные критерии. | 4 | 2 | | 2 | |
| 3.2.1. | Семинар: Единицы и системы единиц экологических величин; методы и средства экологических измерений. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 3.3.2. | Семинар: Биометрические принципы экологических измерений; биометрия экологических систем; математика биометрии. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| | | | | | | Реферат |
| 4. | Показатели экологического состояния территории. | 72 | 24 | 12 | 38 | |
| 4.1. | Критерии оценки экологического состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.2. | Биологические критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.2.1. | Семинар: Оценка выборки экологических показателей территории; обработка и анализ выборки; репрезентативность, надежность и точность выборки. | 4 | 2 | | 2 | Контрольная работа. |

| | | | | | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---------------------|
| 4.3. | Почвенные критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.3.1. | Семинар: Оценка достоверности экологических показателей территории. | 4 | | 2 | 2 | Контрольн ая работа |
| 4.3.2. | Семинар: Оценка информационного показателя силы влияния на экологическое состояние территории. | 4 | | 2 | 2 | Контрольн ая работа |
| 4.3.3. | Семинар: Критерии оценки экологического состояния территории. | 4 | | 2 | 2 | Контрольн ая работа |
| 4.4. | Пространственные критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| | | | | | | Коллок-виум |
| 4.5. | Динамические критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.6. | Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Атмосфера. Поверхностная и подземная гидросфера.). | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.6.1. | Семинар: Ботанические, биохимические, зоологические и почвенные критерии экологического состояния территории. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 4.7. | Критерии оценки абиотического состояния экосистем (Педосфера. Литосфера.). | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.8. | Эргодемографические критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.8.1. | Семинар: Оценка экологического состояния территории по абиотическим критериям — атмосферным, гидросферным (поверхностны и подземным), педосферным (почвенным) и литосферным. | 4 | | 2 | 2 | Устный опрос |
| 4.9. | Критерий экологической техноёмкости территории. | 4 | 2 | | 2 | |

| | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--|
| 4.10. | Критерий демографической напряженности территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.11. | Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 4.11.1. | Семинар: Медико-демографические и санитарно-гигиенические критерии состояния территории. | 4 | | 2 | 2 | |
| 5. | Показатели экологического состояния территории. | 16 | 4 | 4 | 8 | |
| 5.1. | Экологическая метрология территории. | 4 | 2 | | 2 | |
| 5.1.1. | Семинар: Диагностика экологической техноёмкости и демографической напряженности территории по эргодемографическим индексам. | 4 | | 2 | 2 | |
| 5.2. | Оценка экологического качества территории методами экологической метрологии. | 4 | 2 | | 2 | |
| 5.2.1. | Семинар: Оценка экологического качества территории с использованием экосистемных нормативов. | 4 | | 2 | 2 | |
| Итоговая аттестация | | | | | | |
| Итого: | | 144 | 46 | 26 | 72 | |