

Министерство образования Республики Беларусь
УО «Витебский государственный университет им. П.М.Машерова»

Литвенкова И.А.

ЭКОЛОГИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С ОСНОВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Учебно-методический комплекс
по курсу «Экология городской среды» для студентов 3,4 курсов,
обучающихся по специальности «Биоэкология»
дневной формы обучения.

Витебск, 2007

УДК 502(075)
ББК 20.1 я73

Авторы: доцент кафедры экологии и охраны природы УО «ВГУ им. П.М.Машерова»,
кандидат биологических наук **И.А.Литвенкова**

Рецензенты: доцент кафедры анатомии, физиологии и валеологии человека УО
«Витебский государственный университет им. П.М.Машерова, кандидат
биологических наук **И.И. Ефременко**

Научный редактор: заведующий кафедрой экологии и охраны природы УО «ВГУ им.
П.М.Машерова», кандидат биологических наук **А.М.Дорофеев**

Литвенкова И.А.
У 91 Экология городской среды с основами промышленной экологии: учебно-
методический комплекс/ И.А.Литвенкова. – Витебск: Издательство УО «ВГУ
им. П.М.Машерова», 2007 – с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с учебной программой по курсу «Экология городской среды» для студентов, обучающихся по специальности «Биоэкология». В пособии раскрыты вопросы экологии города как урбоэкосистемы. Рассматриваются различные виды и источники загрязнения городской среды, а также методы охраны и очистки воздушного бассейна, вод, проблемы утилизации отходов. Лекционный материал дополнен контрольными вопросами и заданиями для лабораторных работ.

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов, обучающихся по биолого-экологическим специальностям вузов, учителям биологии и экологии.

УДК 502(075)
ББК 20.1 я73

Литвенкова И.А. 2007
УО «ВГУ им. П.М.Машерова», 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Экологическое равновесие на урбанизированных территориях.....	4
Лабораторная работа 1. Оценка экологической совместимости населенных мест и природной среды.....	10
Лекция 2. Экологические основы водопотребления и очистки сточных вод.....	16
Лабораторная работа 2. Изготовление препаратов активного ила и оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям....	35
Лекция 3. Формирование атмосферного воздуха в городах.....	44
Лабораторная работа 3. Определение зон рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.....	56
Лабораторная работа 4. Оценка шумового режима автотранспорта по эквивалентному уровню звука $L_{A\text{ экв}}$ расчетным и графоаналитическим методами в условиях городской среды.....	61
Лекция 4. Экологическая оценка воздействия вредных веществ, особенности их кумуляции и регламентации поступления в окружающую среду.....	64
Лабораторная работа 5. Исследование воздуха на содержание пыли вне и внутри жилого помещения	79
Лекция 5. Экологические проблемы городов Беларуси.....	80
Лабораторная работа 6. Экологический анализ атмосферного воздуха городов Беларуси.....	88
Лекция 6. Энергетические объекты городов – основной техногенный фактор воздействия на биосферу.....	91
Лабораторная работа 7. Функциональное зонирование территории жилого района.....	105
Лекция 7. Оценка величины критических нагрузок на городские экосистемы....	113
Рекомендуемая литература.....	120

Введение

Развитие любого общества основано на потреблении. Основой хозяйственной деятельности является производство. В результате производственной деятельности людей возникли сложные структуры взаимодействия технических и природных комплексов, называемые природно-техническими геосистемами. Это специфические новообразования, распространение которых ныне во многом определяет сущность географической оболочки Земли: состояние природных комплексов, процессы распределения и перераспределения веществ и энергии, баланса между природообразующими сферами. По выражению академика В.И.Вернадского, «человек становится крупнейшей геологической силой, меняющей облик нашей планеты».

Развитие производства немыслимо без использования природы и ее разнообразных ресурсов. Современная экологическая обстановка на планете характеризуется сосредоточением гигантского количества техногенных источников, сравнительно равномерно распределенных по поверхности Земли и обуславливающих ареалы антропогенных потоков различной мощности. Пожалуй, самое отрицательное воздействие производства на окружающую природную среду – это ее загрязнение, которое во многих районах мира достигло критического уровня для устойчивости экологических систем и здоровья людей. Весьма неблагоприятная экологическая ситуация, складывающаяся в настоящее время во многих городах мира, рост доли городского населения позволяет говорить о проблемах городской среды как о глобальных проблемах человечества. Город – это нарушенная экосистема, в которой изменяются природные условия, нарушается экологический баланс, что оказывает неблагоприятное влияние на здоровье человека.

В 1972г. В Стокгольме состоялась 1 Международная конференция по охране окружающей среды, на которой был принят ряд соответствующих документов, направленных на регулирование техногенного воздействия в целях охраны природы. В последние десятилетия в науке в связи с ростом промышленного производства, демагрофическим взрывом, резким усилением темпов урбанизации, а главное, небывалым ранее потреблением природных ресурсов получило развитие специальное направление – прикладная экология.

В данном учебном пособии излагаются прикладные аспекты экологии по таким направлениям как: урбоэкология, промышленная экология, мониторинг загрязнения природной среды. Комплекс включает основные, по мнению автора, аспекты экологии городской среды, связанные с проблемами загрязнения и очистки атмосферного воздуха, вод и почвы в условиях городской экосистемы. Рассмотрены вопросы экологического равновесия на урбанизированных территориях, приводятся методы оценки экологической совместимости населенных мест и природной среды. Уделяется внимание вопросам нормирования окружающей среды, основанного как на определении предельно допустимых концентраций веществ, так и на биогеохимических принципах (концепция определения критических нагрузок). Освещаются актуальные вопросы и проблемы традиционной и нетрадиционной энергетики, перспективы использования различных видов энергии в Республике Беларусь. Уделяется внимание экологическим проблемам городов Беларуси.

Теоретический материал, представленный отдельными темами лекций, дополнен контрольными вопросами; в комплекс включены лабораторные работы, отражающие практическое использование и закрепление усвоенного материала. Приведен список рекомендуемой литературы по данному курсу.

Рассматриваемый учебно-методический комплекс предназначен для студентов, обучающихся по экологической специальности университета.

Лекция 1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

1. Экологическое равновесие в градостроительстве.
2. Экологический каркас страны и региона. Понятие БТС (биоэкономическая территориальная система).
3. Концепция устойчивого развития городов.

1. Проблему устойчивости природно-антропогенных систем решают в двух плоскостях. Одна из них – создание благоприятного *социального микроклимата* в самом городе. Эта проблема имеет несколько аспектов. Первый – обеспечить многообразие возможностей в выборе рабочих мест, отвечающих устремлениям и предпочтениям людей. Второй – удовлетворить возрастающие потребности в жилье и стратегически ориентировать строительство на особенности этнических требований людей разных национальностей. Третий – гарантировать широкий набор высококачественных услуг, включая медицинское обслуживание и образование. Четвертый – расширить спектр учреждений досуга и отдыха. И пятый – обеспечить удобные транспортные связи в пределах города и агломераций.

Второй пласт проблем устойчивости связан с *градостроительной экологией*. К ним относится взаимодействие населенных пунктов с окружающей природной средой. В сферу рассмотрения включаются все большие территории, способные поддержать экологический баланс. В зависимости от их величины эти проблемы изучают на разных уровнях:

- всей планеты, государства или группы стран;
- урбанизированного региона страны, районной агломерации;
- города и его функциональных зон, микрорайона, квартала застройки.

Экологическое равновесие в урбоэкологии определяют как состояние природно-антропогенной среды, при котором обеспечивается ее длительная устойчивость. При этом не нарушаются условия репродуктивности основных абиотических элементов геосферы: воздуха, воды и почв. Возможна сукцессия биотических компонентов биосферы: флоры и фауны. Критерием экологического равновесия является экологическая емкость территории, т. е. способность поглощать посторонние вещества и энергию без существенного изменения параметров окружающей среды. Одним из факторов, положенных в основу градации антропо-природных систем, принята плотность населения. Различают три уровня: полного, условного и относительного равновесия [5].

Полное экологическое равновесие применительно к средней полосе России обеспечивается на территориях с плотностью населения не более 60 чел./км². Считается, что в системе расселения с такой плотностью обеспечивается достаточно сбалансированное соотношение между природой, урбанизированной средой и техникой. Однако влияют и другие факторы, например климат, гидрологическая и биосферная ситуации. Так, при указанной выше плотности леса должны занимать не менее 30% площади.

Условное экологическое равновесие создается, когда природные ресурсы естественно воспроизводятся, но не в полной мере. Это характерно для

урбанизированных территорий с плотностью населения не выше 100 чел./км² и лесистостью 20—30%.

Относительного экологического равновесия в средней полосе страны можно достигнуть в тех случаях, когда урбанизированная территория оказывается нагруженной в пределах допустимых воздействий, но полное воспроизводство компонентов природной среды не обеспечивается. Тогда геохимическое и биохимическое равновесие частично нарушается, поскольку ландшафты не способны полностью нейтрализовать загрязнение среды. Однако она не деградирует. Сохраняется устойчивое взаимодействие элементов экосистемы.

Экологическое равновесие может быть достигнуто только на обширных территориях, поскольку плотно застроенный город не в состоянии обеспечить воспроизводство основных природных ресурсов. Охраняемые природные заповедники и лесные массивы, почво- и водоохранные зоны создают не только для сохранения ценных ландшафтов, редких видов флоры и фауны. Они приобретают новую функцию — противовеса негативному воздействию индустриализации.

Охраняемые территории включают в природные системы региона. Считают, что нетронутые ландшафты должны уравновесить урбанизированные территории. Экологический каркас страны или региона рассматривают как природную составляющую пространственной организации расселения. Построение такого каркаса основывают на концепции, суть которой заключается в искусственной поляризации биосферы на обширных территориях. За поляризованными планировочными образованиями закрепляют определенные хозяйственные и экологические функции. Это позволяет определять техногенную и демографическую нагрузки на среду обитания.

Относительное и тем более условное экологическое равновесие может быть достигнуто двумя путями: 1) внедрение технических новшеств, очистных сооружений и устройств новых поколений; 2) на основе использования градостроительных методов создание экологически сбалансированных территориальных урбанизированных систем. Первое направление требует колоссальных затрат на приобретение и установку эффективной средозащитной техники. Второе направление менее затратное в том случае, если баланс составляющих урбанизированных планировочных образований закладывается в проекты. Важно и полноценное осуществление этих проектов в натуре.

2. На степень экологического равновесия влияет соотношение зон с различными экологическими и хозяйственными режимами. Пространственные системы расселения в крупных регионах необходимо организовывать с учетом взаимодействия урбанизированных и природных структур. С экологических позиций регион можно представить как **биоэкономическую территориальную систему** (БТС), в которой целесообразно выделить три урбоэкологические зоны: хозяйственной активности, экологического равновесия и буферную (Рис. 1).

Зоны наибольшей хозяйственной активности объединяют системы

расселении с крупными городами — центрами регионов, агломераций и местных планировочных образований (Рис. 2). Это наиболее плотно заселенные территории и поэтому техногенное воздействие на природу здесь велико. Помимо промышленности эти районы могут включать зоны с интенсивным сельским хозяйством или предприятиями добывающей промышленности. Режим использования земель в таких зонах может быть определен в зависимости от функций градообразующей базы. Исходя из совокупности социальных и экономических потребностей региона расчетным путем можно установить ресурсопотребление. Выделить не только зоны наибольшей активности, но и *зоны ограниченного развития*.

Зоны экологического равновесия. Здесь сохраняют ландшафты, необходимые для воспроизводства природных ресурсов. Проводят мероприятия по защите окружающей среды, сохранению водного баланса, чистоты рек и других открытых водоемов. Ограничивают промышленное использование земель, запрещают хозяйственную вырубку лесов, поддерживают лесистость в пределах 40—50%. Размеры зон экологического равновесия определяют расчетом. При этом решают задачу устойчивости природно-антропогенной системы по критерию ее функционального развития.

Буферные зоны несут функции компенсации экологической неполноценности региональных систем расселения в наиболее заселенных районах страны. Они также обеспечивают экологическое равновесие в перспективе при дальнейшем хозяйственном развитии регионов. Буферные зоны увязывают с внешними границами БТС, а ширину назначают в пределах 100—150 км. Стремятся установить хозяйственно-экономический режим по аналогии с зонами экологического равновесия.

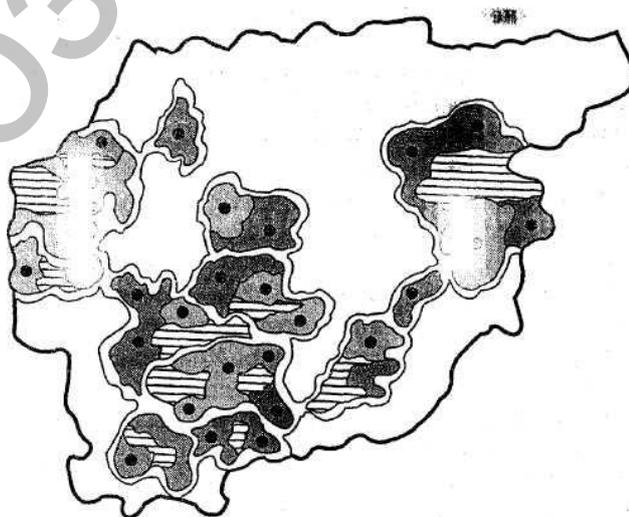


Рис. 1. Схема урбоэкологического зонирования региона (По Н.В.Маслову, 2002)

Компенсационные зоны призваны возмещать изъятие системами расселения

природных ресурсов в масштабе страны. Для этой цели используют наименее освоенные территории, как правило, обладающие значительным экологическим потенциалом.

В результате природоохранного анализа и урбоэкологического зонирования территории, создают экологический каркас региона (Рис. 1).

Создание устойчиво развивающихся городов, населенных пунктов и их агломераций основывается на разработке экологических каркасов (рис. 2).

Природный каркас городов планировочно строят, учитывая его величину, профиль градообразующей базы и характерные особенности биосферы. Подходы к построению такого каркаса весьма индивидуальны. Однако определенные рекомендации градостроителей и экологов учитывают обязательно.

Во-первых, объединяют крупные зеленые массивы города с элементами экологического каркаса окружающей территории. Эти элементы расценивают как логическое продолжение природного каркаса города.

Во-вторых, увязывают элементы городского каркаса в единую систему. Зеленые насаждения включают в «сетку» экологических связей, на пересечении которых стараются формировать зеленые массивы.

В-третьих, обеспечивают проникновение относительно автономных частей каркаса во все планировочные структуры города — жилые районы и микрорайоны, промышленные и коммунально-складские зоны. Эти части каркаса формируют одновременно с развитием архитектурно-планировочной структуры города, возведением новых городских массивов.

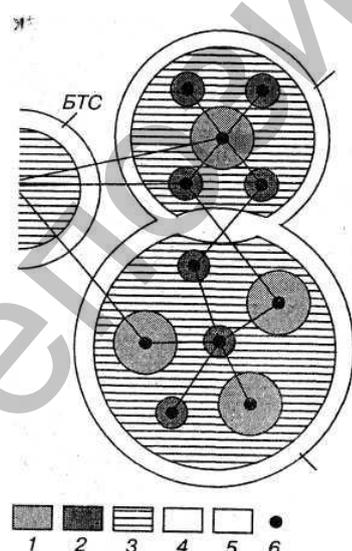


Рис. 2. Схема экологического каркаса пространственной организации расселения

Примечание: 1 — зона наибольшей хозяйственной активности; 2 — то же, ограниченного развития; 3 — то же, экологического равновесия; 4 — буферная зона; 5 — компенсационная зона; 6 — города, центры планировочных образований; БТС — биоэкологическая территориальная система.

3. Впервые термин «устойчивого развития горда» определен в докладе

Комиссии ООН по окружающей среде и развитию в 1992г. Он подразумевает программы стабилизации численности населения и объемов промышленного производства, развития экономики, не разрушающей природу Земли. В концепции устойчивого развития *понятие городской среды обитания* не ограничивается экологическими аспектами взаимодействия человека и природы. ***Город рассматривают как целостный антропоприродный комплекс, где обществом должны быть обеспечены и сохранены для потомков оптимальные условия существования.*** Не в ущерб экологической составляющей усилена привлекательность городской среды за счет упорядочения хозяйственно-экономической деятельности и расширения различного вида услуг.

Устойчивое развитие городов определено как гораздо более широкая концепция, чем защита окружающей среды. Это понятие имеет как социально-экономические, так и культурные и экологические характеристики. Проблема устойчивого развития городов включает проблемы, испытываемые внутри городов, проблемы, вызываемые или создаваемые городами, а также потенциальные решения, могущие быть найденными и представленными городами.

Приток населения в города связан с их притягательностью, которая заключается в том, что крупные населенные пункты являются центрами трудовой деятельности. Полифункциональные города обеспечивают многообразие средств существования и предоставляют возможность выбора рабочих мест. Одновременно открывается широкий спектр культурных и социальных услуг. Объединение разнообразных мест приложения труда и удовлетворение социально-бытовых потребностей очень важны для человека XXI века. Среду обитания, в полной мере обладающую такими свойствами, признают оптимальной, но только при условии обеспечения защиты от отрицательного воздействия, вызываемого концентрацией людей на небольших площадях.

Однако по заключению ООН большинство современных городов обладают отрицательными свойствами, основными из которых являются:

- интенсивное загрязнение окружающей среды продуктами хозяйственной деятельности, сконцентрированной в одном месте;
- нарушение баланса в использовании трудовых ресурсов коренного населения, изменения свойств занимаемой аборигенами «экологической ниши»;
- недостаточный уровень жилищных, лечебных и санитарно-гигиенических услуг, вызванный перенаселенностью и скученностью;
- расширение городских территорий, что влечет за собой удаление друг от друга пунктов притяжения населения и связанное с этим ухудшение транспортного обслуживания, если не решены проблемы интенсификации и организации движения;
- недостаточное водо- и энергоснабжение, водоотведение и утилизация твердых отходов.

В связи с изложенным, можно определить *узловые проблемы устойчивого развития городов*. Одна из них – это долгосрочное планирование экономической и производственно-хозяйственной деятельности. Существует потребность в развитии градообразующей базы с созданием разнообразных мест приложения труда. Это важно для жителей, поскольку открываются широкие возможности выбора рабочих мест. При определении состава производств следует учитывать сложившиеся у населения стереотипы. Задействовать в производстве и хозяйстве людские ресурсы в соответствии с их демографо-трудовыми особенностями и квалификацией.

Другая проблема формирования градостроительной базы связана с экологической безопасностью среды обитания. Необходимо внедрение во все производства ресурсосберегающих, мало- и безотходных технологий. Нужно совершенствовать и строить сооружения очистки и утилизации твердых и жидких отходов.

Еще одна проблема – это рациональное развитие инженерных инфраструктур жизнеобеспечения города. Цель их развития заключается в удовлетворении потребностей населения в таких ресурсах, как чистая вода, электричество и другая энергия.

К системам инженерной инфраструктуры относится и транспортная. Необходимо постоянное улучшение транспортного обслуживания горожан путем реконструкции существующей улично-дорожной сети, совершенствования организации городского движения и связей с внешним транспортом. Социальную политику рекомендуют ориентировать на увеличение палитры культурно-бытовых услуг. Рационально всеми средствами расширять систему объектов культуры, отдыха и торговли. В связи с возникшей потребностью в религиозно-культовых сооружениях восстанавливать их и строить новые. В городах весьма остра проблема сохранения ландшафтов. В целях предотвращения их деградации следует щадяще использовать земельные ресурсы. Оптимально сочетать освоение новых территорий с уплотнением существующей застройки. Учитывать, что расширение городов, помимо прочих следствий, влечет за собой проблему транспортных перевозок на большие расстояния.

Устойчивая и экологически оптимальная городская среда обитания может быть создана только при рациональном сочетании хозяйственной деятельности с природоохранными мероприятиями. Поэтому по рекомендациям ООН стратегию и тактику содержания и развития городов необходимо строить на принципах комплексного подхода к объемно-планировочной организации территорий. Такая организация является предметом градостроительного планирования. *Следовательно, в соответствии с концепцией ООН градостроительство неразрывно связано с организацией оптимальной среды обитания, экологически достаточно чистой и обязательно устойчивой во времени.*

Лабораторная работа № 1

Оценка экологической совместимости населенных мест и природной среды

Урбанизированные образования, как правило, представляют собой зависимые экосистемы, потребляющие природные ресурсы на значительных территориях. Чем больше город, тем значительней ареал его влияния, где возникают предпосылки нарушения экологического равновесия в природной среде. Один из путей решения экологического равновесия – определение экологической емкости (ЭЕТ) территории с существующей антропогенной нагрузкой (ЭЕТ – естественная способность претерпевать антропогенную нагрузку без существенного нарушения природного равновесия).

Основной показатель экологической совместимости населенных мест и природной среды - демографическая емкость территории (ДЕТ) – порог расчетного количества населения на единицу площади, увеличение которого возможно только при одновременном выполнении ряда экологических условий. ДЕТ определяют поэтапно, оценивая систему критериев.

Цель работы: рассчитать демографическую емкость территории.

Задание 1. Произвести расчет и анализ частных емкостей территории, для которой характерны следующие показатели: $S = 600 \text{ км}^2$; $t_{н.о.} = -20^{\circ}\text{C}$; $\Delta s_{лес} = 0,25$; $S_{раст.} = 100 \text{ км}^2$; $K_{тер1} = 0,4$, $K_{тер2} = 0,3$, $K_{тер3} = 0,3$; $G_m = 4 \text{ м}^3/\text{с}$; $P_{жс} = 0,4 \text{ м}^3/\text{чел. В сут}$; $k_{расх} = 1,8$. 1 вариант для $K_{акт} = 1,5$; 2 вариант для $K_{акт} = 2$, 3 вариант для $K_{акт} = 2,5$.

По полученным результатам N_1 - N_4 заполнить таблицу 1. Произвести анализ частных емкостей территорий: выявить показатели с критической нагрузкой, на основании чего сделать вывод о наиболее уязвимых звеньях при планировании района. Отметить возможные пути увеличения ДЕТ по критическому показателю.

Таблица 1

Производственные показатели оценки допустимой емкости территории

Показатель хозяйственной активности, $K_{акт}$	Частные значения допустимой емкости территории, тыс. чел.			
	N_1	N_2	N_3	N_4
1,5				
2,0				
2,5				

Ход работы.

I этап. На первом этапе выявляют значение исходных показателей. Эти показатели объединяют в четыре группы.

1. группа – территориальные показатели:

- общая площадь района (S);
- площадь урбанизированных территорий: всех населенных мест, отдельно стоящих

промышленных и коммунально-складских зон, внегородских транспортных коммуникаций и объектов дорожного хозяйства (S_v);

- площадь урбанизированных территорий, выделяемая для новых поселений или расширения существующих (S_v^r);

- площадь растительного покрова, но без лесов и пашенных земель, существующего ($S_{\text{раст}}$) и по проекту планировки ($S_{\text{раст}}^r$);

- общая площадь территорий интенсивного сельскохозяйственного использования, существующая ($S_{\text{СХ}}$) и намечаемая для расширения сельскохозяйственной базы и пригородного садоводства ($S_{\text{СХ}}^r$);

2. группа – показатели, характеризующие *гидросферу*.

- кратность водообмена, которая зависит от скоростей течения. Они должны превышать 0,2 м/с;

- расходы воды, которые не должны быть меньше 5 м³/с;

- меженные расходы G_M в пригодных для водопотребления водоемах и водотоках на входе в изучаемый район, м /с.

3. группа – показатели, характеризующие *свойства биосферы* – растительных сообществ по ведущим факторам, лимитирующим экологическую устойчивость системы. Эти факторы включены в таблицу 2.

4. группа – показатели, характеризующие *потребление природных ресурсов*.

а). *Уровень хозяйственной активности жителей населенных мест*. Его выражают коэффициентом $K_{\text{акт}}$. При минимальной активности промышленно-хозяйственной деятельности $K_{\text{акт}} = 1,5$, при средней $K_{\text{акт}} = 2$, а при высокой $K_{\text{акт}} = 2,5$.

б). *Структура потребляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)*. В практике обычно используют: 1) электроэнергию; 2) жидкое топливо и природный газ; 3) твердое топливо, уголь, сланец и т.д. Суммарную величину ТЭР определяют как сумму долей используемых видов в общем балансе энергоносителей и представляют в виде $\text{ТЭР} = K_{\text{тер}1} + K_{\text{тер}2} + K_{\text{тер}3} = 1$.

Таблица 2

Ведущие факторы растительных сообществ, лимитирующие экологическую устойчивость системы

Растительные сообщества	Минимально допустимая доля		Среднегодовой радиационный баланс R , ккал/см ² в год	Интенсивность газообмена, т/га в год		Продукция массы сухого вещества C , т/га в год
	лесистости $\Delta S_{\text{лес}}$, %	особо охраняемых зон $\Delta S_{\text{опр}}$, %		$q(\text{CO}_2)$	$q(\text{O}_2)$	
1	2	3	4	5	6	7
Природные						
Лесотундра	-	90	10-20	1,6	1,2	0,1
Северная и южная тайга	20	80	20-30	5,0	3,8	3,0
Южная тайга	25	45	30-35	7,6	6,0	4,8

1	2	3	4	5	6	7
Смешанные леса	25	30	35-40	9,0	6,7	5,7
Широколиственные леса	30	25	35-40	14,5	10,2	9,0
Лесостепи	12	35	40-45	6,5	5,0	4,0
Степи	7	40	45-50	4,5	3,3	3,0
Полупустыни	-	40	45-55	1,0	0,75	0,7
Антропогенные (в условиях смешанных и широколиственных лесов средней полосы)						
Сельхозугодья	-	-	-	4,8-7,2	3,5-5,4	3-4,5
Парки и лесопарки	-	-	-	6,3-8,2	4,7-6,2	0,7
Озелененное населенное место	-	-	-	1,0-1,3	0,8-1,0	0,6-0,8

в). Расход воды на жилищно-коммунальные и промышленные нужды. Его определяют по планируемой норме водопотребления на одного жителя. Если в структуре промышленности нет водоемких производств, то промышленные расходы воды учитывают, вводя коэффициент $K_{\text{вод}}$. По статическим данным его можно принимать порядка $K_{\text{вод}} = 1,7$.

II этап. На втором этапе определяют производственные показатели, необходимые для обоснования экологической емкости территории.

1. Частную емкость территории по расходу энергии (E_1) определяют, исходя из того, что критерием является безопасный максимум использования энергии у поверхности земли. Тогда емкость тун/год рассчитывают по формуле

$$E_1 = 4,29 RS,$$

где 4,29 — коэффициент пересчета величины $0,003 \text{ ккал/см}^2/\text{год}$ в тун/км² в год; R — среднегодовой радиационный баланс территории, ккал/см² в год; 5 — площадь территории исследуемого района, км². Исходя из этого частная демографическая емкость территории, вычисленная по возможностям потребления энергии (емкости E_1), будет равна:

$$N_1 = E_1 / K_{\text{акт}} \cdot \text{Эуд},$$

где N_1 — допустимое количество жителей района, чел., при разном значении коэффициента $K_{\text{акт}}$, Эуд — нормативная величина удельного годового энергопотребления одним жителем на жилищно-коммунальные нужды в различных климатических условиях, тун./чел год. Эту величину рассчитывают по формуле

$$\text{Эуд} = 0,65 - 0,02 (\text{тн.о.} + 5),$$

где тн.о. — расчетная температура наружного воздуха, которую принимают в расчете отопления зданий в пределах $\text{тн.о.} < -5^{\circ}\text{C}$ как среднюю температуру наиболее холодной пятидневки.

2. Частную емкость территории по условиям эмиссии углекислого газа в

атмосферу (E_2) определяют с учетом ассимиляционной способности растительного покрова района. При расчете учитывают, что растительные сообщества не однородны. Поэтому данные, приведенные в графе 5 табл.2, корректируют поправочными коэффициентами.

$$E_2 = 0,07(S \cdot \Delta S_{лес} \cdot \alpha + S_{раст} \cdot \rho) q(CO_2) 100, \text{ т}(CO_2)/\text{год}$$

где S — площадь территории района, $км^2$; $\Delta S_{лес}$ — показатель лесистости, доли единицы; $S_{раст}$ — площадь растительного покрова без лесов и пашен, $км^2$; $q(CO_2)$ — интенсивность газообмена — ассимиляции углекислого газа растительным сообществом, $т/год$, принимается по табл. 2; α — поправочный коэффициент к показателю лесистости, принимаемый по табл. 3; ρ — то же, к показателю площади растительного покрова, принимаемый по той же таблице.

Таблица 3

Тип растительного сообщества	Значения поправочных коэффициентов	
	α	ρ
Смешанные, широколиственные и таежные леса	1,3	0,85
Лесостепи и степная зоны	1,4	0,9

Исходя из полученной величины E_2 определяют частное ДЕТ по условию эмиссии углекислого газа. Демографическая нагрузка будет равна:

$$N_2 = E_2 / K_{акт} \cdot \text{Эуд} (1,2 \cdot k_{тэр2} + 3,3 \cdot k_{тэр3}) + 0,32,$$

где N_2 — допустимое количество жителей по второму условию, чел.; $k_{тэр2}$ — относительная величина использования второго вида ТЭР в топливно-энергетическом балансе территории; $k_{тэр3}$ — то же, третьего вида; 1,2 и 3,3 — коэффициенты, которыми учитывают выделяемый CO_2 при сжигании 1 т второго и третьего видов; 0,32 — среднее количество углекислого газа, выделяемого в процессе жизнедеятельности человека, $т(CO_2)/\text{чел. в год}$.

3. Частную емкость территории по условию воспроизводства кислорода атмосферой (E_3) определяют, учитывая нормы его изъятия.

$$E_3 = 0,12 \cdot q(O_2) (S \cdot \Delta S_{лес} \cdot \alpha + S_{раст} \cdot \rho) \cdot 100, \text{ т}(O_2)/\text{год},$$

где $q(O_2)$ — интенсивность газообмена — воспроизводства кислорода растительным сообществом, $т/год$, принимаемая по табл.1 .

Тогда частную допустимую нагрузку или ДЕТ по расходу кислорода определяют по формуле:

$$N_3 = E_3 / 2,5 K_{\text{акт}} \cdot \text{Эуд} (1 - k_{\text{тэрг1}}) + 0,29,$$

где N_3 — допустимое количество жителей района по условиям воспроизводства кислорода, чел.; 2,5 — коэффициент, которым учитывают изъятие кислорода стационарными и мобильными объектами, включая транспорт, при сжигании органического топлива разного состава, т/тут; $k_{\text{тэрг1}}$ — потребляемое количество электроэнергии в структуре топливно-энергетического баланса территории, доли единицы; 0,29 — среднее количество кислорода, поглощаемое человеком в процессе жизнедеятельности, т/чел, в год.

4. Частную емкость территории, $\text{м}^3/\text{сут}$, по наличию ресурсов поверхностных вод (E_4) определяют по формуле:

$$E_4 = K_{\text{вод}} \cdot G_{\text{м}} \cdot 86400,$$

где $G_{\text{м}}$ — меженный расход воды в пригодных для водозабора водоемах и водотоках, м/с; $K_{\text{вод}}$ — предел экологически безопасного изъятия воды всеми пользователями. Оптимальное значение $K_{\text{вод}} = 0,1$.

Частная ДЕТ по расходу воды на жилищно-коммунальные нужды проверяется по формуле:

$$N_4 = E_4 / P_{\text{ж}} \cdot K_{\text{акт}} \cdot k_{\text{расх}},$$

где N_4 — допустимая численность населения по условиям обеспечения водой бытовых, коммунальных и производственных нужд, чел.; $P_{\text{ж}}$ — планируемая норма среднесуточного водопотребления с учетом коммунально-бытовых нужд. Эта норма принимается в пределах $0,35 < P_{\text{ж}} < 0,5$, $\text{м}^3/\text{чел. в сут}$; $k_{\text{расх}}$ — повышающий коэффициент, которым учитывают характер водопотребления. При отсутствии таких водоемких производств, как обогащение полезных ископаемых, металлургия, электроэнергетика, целлюлозно-бумажное и др., а также орошаемых земель, на основании статистических данных повышающий коэффициент принимают в пределах $1,7 < k_{\text{расх}} < 1,9$.

Задание 2. Произвести оценку условий совместимости антропогенной и природной подсистем, для района площадью (S) равной 900 км^2 , $S_{\text{у}}=90 \text{ км}^2$, $S_{\text{сх}}=30 \text{ км}^2$, $S_{\text{у}}^{\text{р}}=10 \text{ км}^2$, $S_{\text{сх}}^{\text{р}}=20 \text{ км}^2$, $S_{\text{расст}}=100 \text{ км}^2$, $N_{\text{г}}=150 \text{ чел./км}^2$.

Первое условие — соотношение территорий хозяйственного использования и охраняемых. Критерием выполнения этого условия является соотношение:

$$\Delta S_{\text{охр}} > (1 - S_{\text{хоз}}/S)100,$$

где $\Delta S_{\text{охр}}$ - доля особо охраняемых зон естественной природы, определяемая по табл. 1 в зависимости от вида растительного сообщества; S — общая площадь рассматриваемого района, км²; $S_{\text{ХОЗ}}$ — площадь территорий интенсивного хозяйственного использования, км². Территория $S_{\text{ХОЗ}}$ включает земли, занятые существующими и проектными урбо- и агроценозами. Эту величину представляют:

$$S_{\text{ХОЗ}} = (S_y + S_{\text{сх}}) + (S_y^r + S_{\text{сх}}^r)$$

Второе условие – плотность населения – связанное с суммарным энергопотреблением.

$$P_{\text{н.э.}} = N_g (1 - k_{\text{тэп1}}) S,$$

где N_g – допустимая численность населения, чел./км², $k_{\text{тэп1}}$ – доля использования электроэнергии в ТЭР, произведенной вне территории.

Третье условие – способность биосферы к воспроизводству ресурсов – устанавливают степень репродуктивности биотической составляющей системы.

$$I_p = \Pi^r / \Pi_3,$$

где Π^r – ожидаемая биопродуктивность по проекту, Π_3 – то же, эталонная для данного природного сообщества.

Эталонную биопродуктивность Π_3 , т/год, ориентировочно определяют по формуле:

$$\Pi_3 = 100 C (S \Delta S_{\text{лес}} \alpha + S_{\text{спаст}} \rho),$$

где C — продукция массы сухого вещества, т/га в год, зависящая от вида растительного сообщества и принимаемая по табл. 1.

Ожидаемую биопродуктивность Π^r т/год, проектируемой в первом приближении определяют по формуле:

$$\Pi^r = 100 C_{\text{биопрод}} [\rho (S_{\text{спаст}} - S_y^r - S_{\text{сх}}^r) + S \Delta S_{\text{лес}}] + 100 (C_y S_y^r + C_{\text{сх}} S_{\text{сх}}^r),$$

где $C_y, C_{\text{сх}}$ – продукция массы сухого вещества, соответствующая урбо- и агроценозам, т/га в год, принимаемая по таблице 2; $k_{\text{биопрод}}$ – коэффициент снижения биопродуктивности растительности, $k_{\text{биопрод}} = 1$, при благоприятном состоянии природной среды; 0,98, при слабом загрязнении; 0,9 при загрязненном состоянии; 0,8 при сильном загрязнении.

Значение индекса репродукции $I_p > 1$ указывает на сохранение оптимального воспроизводства биомассы. Такая ситуация способствует устойчивости развития урбосистем. Величина $I_p < 1$ свидетельствует о нестабильности экологического состояния биогеоценоза БТС, поскольку условия воспроизводства будут нарушены активным антропогенным вмешательством, предусмотренным проектом. В связи с этим необходимо сокращать хозяйственную активность на территории.

Контрольные вопросы:

1. Пределы градостроительной емкости территории, полное, условное и относительное экологическое равновесие экосистемы.
2. Экологический каркас страны и региона, соотношение территорий разной степени экологического равновесия. Зоны хозяйственной активности, буферные и компенсационные.
3. Методы построения биоэкономических территориальных систем с выделением зон хозяйственной деятельности разных функций и интенсивности.
4. Стратегия урбоэкологического зонирования территорий планировочных районов по их демографической емкости. Создание природных каркасов.
5. Концепция устойчивого развития городов.

Лекция 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

1. *Проблемы водопотребления в городах. Централизованное и децентрализованное водоснабжение.*
2. *Системы водоотведения и очистки сточных вод в городах. Работа общегородских очистных сооружений.*
3. *Очистные сооружения небольших населенных пунктов. Поля фильтрации, инфильтрационное биоплато.*
4. *Способы водообеспечения и водоотведения промышленных предприятий. Образование сточных вод.*
5. *Методы очистки производственных сточных вод.*

1. Количество пресной воды составляет 6% общего объема воды на Земле, причем очень малая ее доля (всего 0,36%) имеется в легкодоступных для добычи местах. Большая часть пресной воды содержится в снегах, айсбергах и ледниках (1,7%), а также глубоко под землей (4%). Годовой мировой речной сток пресной воды составляет 37,3-45 тыс. км³. Кроме того, может использоваться часть подземных вод, равная 13 тыс. км³. Ежегодно человечество использует 3,8 тыс. км³ воды. В среднем водопотребление на одного жителя планеты составляет 650 м³ воды в год (1780 л в сутки); однако для удовлетворения физиологических потребностей достаточно 2,5 л в день. Большое количество воды требуется сельскому хозяйству (69%), 23% воды потребляет промышленность, 6% расходуется в быту. Проблема недостатка пресной воды возникла по следующим основным причинам:

1. Интенсивное увеличение потребностей в воде в связи с быстрым ростом народонаселения планеты и развитием отраслей деятельности, требующих огромных затрат водных ресурсов.
2. Потери пресной воды вследствие сокращения водоносности рек и других причин.
3. Загрязнение водоемов промышленными и бытовыми стоками.

Объем потребляемой воды зависит от региона и уровня жизни и

составляет от 3 до 700 л/сутки на одного человека. Среднее удельное водопотребление в городах и населенных пунктах составляет около 250 л/сутки на человека. Общий расход воды для обеспечения нужд населенного пункта определяют по формуле:

$$Q = \frac{N \times q_n \times K_{ч} \times K_{сут}}{86,4 \times 10^3},$$

где Q – общий расход воды (л/сут.), N – численность населения на перспективу, q_n - среднесуточная норма водопотребления, $K_{ч}$ – коэффициент часовой неравномерности, $K_{сут.}$ - коэффициент суточной неравномерности.

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления зависят от степени благоустройства здания (таблица 1).

Таблица 1

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления для населенных пунктов

Степень благоустройства районов жилой застройки	Среднесуточное потребление на одного жителя, л/сут.
Здания, оборудованные водопроводом, канализацией, без ванн	125 -160
Здания, оборудованные водопроводом, канализацией и ваннами с местными водонагревателями	160 - 230
Здания, оборудованные водопроводом, канализацией и системой централизованного горячего водоснабжения	230 – 350
Неканализованные жилые районы	25

Централизованное водоснабжение

Для централизованного водоснабжения городов используют водные объекты, отвечающие нормам и требованиям к источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения и находящиеся на экологически благополучных территориях.

В пределах городской черты забор воды для питьевых целей осуществляется из поверхностных и подземных вод. Забор воды из поверхностных вод производится в исключительных случаях. Это могут быть искусственные водные объекты — каналы или водохранилища, специально предназначенные для питьевого водоснабжения, в которых другие виды водопользования запрещены. Вокруг них оборудуется зона санитарной охраны (ЗСО) – это специально выделенная территория, связанная с источником водоснабжения и водозаборными сооружениями, в пределах которой создается особый режим, исключающий или ограничивающий возможность загрязнения и ухудшения качества воды источников. Зоны санитарной охраны устанавливаются в составе трех поясов.

- Первый пояс (зона строгого режима), назначение которого – защита места водозабора от загрязнения, в том числе умышленного;
- Второй и третий пояса – зона ограничения (определяются расчетным путем).

ЗСО для поверхностных источников водозабора.

Границы первого пояса для водотока: вверх по течению — не менее 200 м от водозабора, вниз - не менее 100 м, по берегу — не менее 100 м от уреза воды, к противоположному берегу — не менее 100 м по акватории, а при ширине реки менее 100 м - вся акватория и 50м от уреза воды вглубь противоположного берега; Для водоема граница первого пояса - в радиусе 100 м от водозабора по акватории и берегу. Границы второго пояса определяются: вверх по течению водотока — временем протекания воды не менее 3 суток до водозабора; вниз — не менее 250 м; боковые границы от 500 м до 1000 м в зависимости от рельефа; для водоема — в радиусе менее 3 км от водозабора, а по берегу — так же, как и для водотока.

Границы третьего пояса по акватории совпадают с границами II пояса, а по берегу составляют 3—5 км от уреза воды.

Территория первого пояса должна быть огорожена, спланирована и озеленена. На акватории устанавливаются предупредительные буи. Территория охраняется, доступ посторонних лиц запрещен. В пределах первого пояса могут находиться только здания и сооружения, связанные с эксплуатацией водопровода. В пределах второго и третьего поясов принимаются меры предупреждению загрязнения источника водоснабжения.

В основном для нужд централизованного водоснабжения забор воды осуществляется из подземных вод. Питьевые водозаборы из подземных водоносных горизонтов обычно располагаются в пределах городской территории. Вокруг них также образуется зона санитарной охраны.

ЗСО скважинных водозаборов состоят из трех поясов. Первый пояс - зона строгого режима - предназначен для защиты устья скважины и водопроводных сооружений. Эта территория ограждается забором. Любая деятельность и размещение объектов, не связанных напрямую со скважиной и водопроводным хозяйством, в ее пределах запрещается. Радиус зоны строгого режима составляет не менее 50 м для скважин, вскрывающих незащищенные подземные воды, и не менее 30 м для скважин, эксплуатирующих защищенные подземные воды. В благоприятных гидрогеологических и санитарно-технических условиях по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы радиусы могут быть уменьшены вдвое - 25 м в случае незащищенных и 15 м в случае защищенных водоносных горизонтов.

При эксплуатации инфильтрационных сооружений (искусственное пополнение подземных вод) границы ЗСО устраиваются на расстоянии не менее 50 м от капотажных сооружений закрытого типа (скважины, шахтные коды) и не менее 100 м от сооружений открытого типа (каналы, бассейны).

Для береговых водозаборов (инфильтрационных) в зону строгого режима включается территория между водозабором и поверхностным водоемом, если имеет протяженность не более 150 м. Для подрусовых водозаборов зона

строгoго режима устанавливается такой же, как и для водозаборов из поверхностных водоемов.

Второй пояс ЗСО предусматривается для защиты водозаборов от микробных загрязнений. Границы этого пояса определяются расчетным путем и не ограждаются. На территории 2-го пояса ограничивается любая деятельность, которая может повлечь бактериальное загрязнение подземных вод, — в первую очередь размещение свалок, туалетов, выгребных ям, органических удобрений и т.п. При расчете размеров 2-го пояса ЗСО исходным является время, необходимое для утраты патогенными организмами жизнеспособности и вирулентности, которое для условий грунтовых вод составляет 400 суток, а для межпластовых вод — 100—200 суток. При этом адсорбция микроорганизмов в водонесущих породах не учитывается. Методика расчетов подробно разработана и приводится в специальной литературе.

Размеры 2-го пояса зависят от величин водоотбора, проницаемости и активной пористости пород. Возможны случаи, когда размеры этого пояса иные, нежели размеры зоны строгого режима. В этом случае 2-й пояс не выделяется, поскольку ограничения в зоне строгого режима включают все требования, предъявляемые для 2-го пояса ЗСО.

Третий пояс ЗСО также представляет собой зону ограничений, предназначенную для предотвращения химического загрязнения подземных вод на весь срок работы водозабора. Если срок специально не установлен, то при расчетах размеров 3-го пояса время действия водозабора принимается равным 25 годам. На территории 3-го пояса ограничивается деятельность, связанная с хранением, использованием и внесением в грунт химических веществ, которые могут ухудшить качество подземных вод.

Контроль качества воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения осуществляется ежедневно местной санэпидемслужбой и предприятием, эксплуатирующим водозаборные сооружения.

Децентрализованное водоснабжение

Варианты децентрализованного водоснабжения:

- бутилирование и пакетирование экологически чистой воды;
- децентрализованное водоснабжение из бюветов на базе специальных артезианских скважин, расположенных непосредственно в жилых кварталах городов;
- родники в городской черте. Для источников, расположенных в городской черте, в которых сохранилось природное качество воды, предусматриваются специальные охранные мероприятия: оборудование каптажей (сооружение для захвата подземных вод и удобства пользования) и организацию зон санитарной охраны.

Децентрализованное водоснабжение является дополнением к централизованным системам водоснабжения городов и предлагает альтернативный источник качественной питьевой воды, что повышает устойчивость системы жизнеобеспечения в кризисных ситуациях.

Основными источниками загрязнения являются промышленные и коммунальные канализационные стоки, смыв с полей части почвы, содержащей различные агрохимикаты, дренажные воды систем орошения, стоки животноводческих ферм, попадание в водоемы с осадками и ливневыми стоками аэрогенных загрязнений.

2. Система водоотведения (канализационная система) включает следующие основные элементы: внутренние водоотводящие системы в жилых зданиях или производственных помещениях; внутриквартальные или внутриплощадочные водоотводящие сети; внешние (внеплощадочные) водоотводящие сети; регулирующие резервуары; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения; выпуски очищенных сточных вод в водные объекты; аварийные выпуски сточных вод в водные объекты. Водоотводящие системы подразделяются на *общесплавные, отдельные и комбинированные*. В свою очередь отдельные системы подразделяются на *полные отдельные, неполные отдельные и полуротдельные*.

Общесплавная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сбросных вод всех категорий: хозяйственно-бытовых, производственных и дождевых. По длине главного коллектора общесплавной системы могут устраиваться ливневыпуски для непосредственного сброса в реку части стока, пропускаемого по системе водоотведения. Это делается с целью уменьшения размеров и количества коллекторов в концевой части системы и соответствующего ее удешевления.

Ливневыпуски устраиваются таким образом, чтобы исключить возможность переполнения главного коллектора во время сильного дождя. Конструкция и размещение ливневыпусков обеспечивают включение их в работу, т.е. сброс вод в реку, не ранее, чем через 30 минут после начала интенсивного ливня. За это время наиболее загрязненная часть поверхностного стока с городской территории по общесплавному коллектору поступает на городские очистные сооружения, а менее загрязненная часть при наполнении главного коллектора начнет поступать непосредственно в реку. Понятно, что выпуск неочищенных сточных вод в реку связан с ее возможным загрязнением. Поэтому размеры выходных отверстий ливневыпусков и соответственно расход сбрасываемых через них неочищенных вод определяются исходя из ассимилирующей способности водотока. Применение общесплавной системы водоотведения целесообразно при наличии в городе полноводной реки.

Полная отдельная система водоотведения имеет два или больше коллекторов, предназначенных для отдельного отвода сточных вод определенной категории. Хозяйственно-бытовые сточные воды отводят на общегородские очистные сооружения, где производят их очистку до кондиций, удовлетворяющих условиям сброса в водные объекты. Очистку производственных сточных вод осуществляют на специальных очистных сооружениях данного промышленного объекта или группы таких объектов. После очистки производственные сточные воды могут быть использованы для

технического водоснабжения, сданы на общегородские очистные сооружения для доочистки или сброшены в водный объект. Талые и дождевые воды по коллектору ливневой канализации подаются на очистку и в дальнейшем используются для технического водоснабжения или сбрасываются в водные объекты.

Неполная раздельная система водоотведения предусматривает отвод хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод по единому коллектору. Отвод дождевых вод производится отдельно по коллекторам, лоткам или канавам. Как правило, неполная раздельная система используется для небольших объектов водоотведения и является первоначальным этапом создания полной раздельной системы.

Полураздельная система водоотведения предусматривает отвод смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод по одному общему коллектору, а дождевых вод — по другому. Дождевые и хозяйственно-бытовые коллекторы по трассе водоотведения пересекаются. В месте пересечения устанавливаются разделительные камеры, с помощью которых дождевой сток полностью или частично из дождевого коллектора попадает в главный. При сравнительно малых расходах дождевых вод они полностью поступают в главный коллектор. При больших расходах дождевых вод в главный коллектор поступает лишь часть дождевого стока, протекающего по нижней (донной) части дождевого коллектора. Это наиболее загрязненная часть дождевого стока, отводимого с прилегающей территории в начальный период дождя, когда происходит смыв основной массы загрязняющих веществ. Поступающая в последующий период менее загрязненная часть дождевого стока через распределительную камеру отводится в водный объект без очистки. В смеси с дождевыми водами частично сбрасываются и сточные воды.

Комбинированная система водоотведения представляет собой совокупность общесплавной системы с полной раздельной. Такая система формируется по мере развития и реконструкции канализационной сети города. В старой части города может функционировать общесплавная система водоотведения, а в районах новостроек создается полная раздельная система.

Общегородские очистные сооружения. Вода, поступающая в городскую систему водоотведения, обычно представляет собой смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. По системе водоотведения эти воды подаются на общегородские очистные сооружения. Если позволяет производительность этих сооружений, сюда же поступают частично или полностью дождевые и талые воды. Полный комплекс общегородских очистных сооружений включает блоки:

- механической очистки;
- биологической очистки;
- доочистки;
- обеззараживания,
- обработки осадка.

Механическая очистка обеспечивает удаление из сточных вод крупных

включений, взвешенных и плавающих примесей. В состав блока механической очистки входят решетки, иногда с дробилками, песколовки, преаэраторы и первичные отстойники.

Решетки предназначены для улавливания крупных включений, которые при необходимости измельчаются в дробилках. На решетках достигается практически полное извлечение из очищаемых сточных вод крупных включений. Извлеченные крупные включения вывозятся на полигон бытовых отходов.

В *песколовках*, представляющих собой емкости определенных размеров, благодаря резкому уменьшению скорости течения очищаемой жидкости происходит осаждение взвешенных веществ. В песколовках удаляется из сточной воды примерно 40—60% мелких механических примесей. Из песколовок осадок подается на песковые площадки. После высыхания он может быть использован для планировочных работ.

В *преаэраторах* происходит первичное насыщение сточных вод кислородом путем подачи сжатого воздуха, что существенно улучшает процесс биологической очистки. В сточных водах, поступающих из систем водоотведения, растворенный кислород практически отсутствует. Смешение очищаемых вод с пузырьками воздуха способствует отделению нефтепродуктов и других плавающих примесей, которое происходит в *первичных отстойниках*, называемых также нефтеловушками. Степень удаления плавающих примесей составляет 60—80%. Всплывшие нефтепродукты специальными скребками собираются в бочки и направляются на регенерацию или на сжигание.

Из первичных отстойников очищаемые сточные воды поступают в блок *биологической очистки*, где происходит деструкция органических соединений, поддающихся биохимическому окислению. Из сооружений биологической очистки наибольшее распространение получили *аэротенки*. Они представляют собой железобетонные, реже кирпичные или металлические удлиненные емкости, где происходит контакт очищаемых сточных вод с *активным илом* при одновременном насыщении их кислородом воздуха. Активный ил представляет собой специально культивируемое сообщество микроорганизмов, пищей для которых служат органические вещества, содержащиеся в сточных водах. Нормальное содержание активного ила в очищаемых сточных водах составляет 2 г/л (по сухому веществу). Для интенсификации процесса деструкции органических соединений в аэротенки постоянно нагнетается сжатый воздух. Аэротенки в блоке биологической очистки располагаются таким образом, чтобы очищаемая сточная вода, проходя через них последовательно один за другим, находилась в контакте с активным илом в течение 18—20 часов. Температура воды в аэротенках должна быть не ниже +5° С и не выше 40° С. Степень деструкции в аэротенках органических веществ, поддающихся биохимическому окислению, составляет около 90%.

Очищенные в аэротенках сточные воды поступают во *вторичные отстойники*, где происходит оседание активного ила, который попал сюда из

аэротенков вместе с водой. Микроорганизмы активного ила при оседании адсорбируют своей чешуйчатой поверхностью мельчайшие взвеси, оставшиеся в очищаемых сточных водах после прохождения песколовков и первичных отстойников, а также ионы тяжелых металлов. Степень извлечения металлов за счет адсорбции микроорганизмами колеблется от 10 до 60%.

После вторичных отстойников городские сточные воды считаются прошедшими биологическую очистку и могут быть сброшены в поверхностные водные объекты. Перед сбросом в обязательном порядке производится их *обеззараживание* путем обработки хлорной водой. Приготовление хлорной воды производится в *хлораторной* растворением активного хлора в воде. После хлорирования сбросная вода должна пройти дегазацию, так как попадание активного хлора в водный объект может привести к гибели рыбы. Дегазация сбросных вод происходит в каналах и быстотоках по пути следования от места хлорирования до места выпуска в водный объект. В некоторых странах вместо хлорирования применяют озонирование. И тот, и другой способы обеззараживания воды имеют свои преимущества и недостатки.

Если качество очистки сточных вод не удовлетворяет условиям их сброса в водные объекты или сточные воды после очистки предполагается использовать для технического водоснабжения или пополнения городских рек, то в этих случаях организуется их доочистка. При пополнении стока городских рек очищенными сточными водами доочистка должна обеспечить придание им свойств и состава, присущих природным речным водам. Для доочистки сточных вод используют фильтры с зернистой загрузкой, установки пенной и напорной флотации, коагуляцию и флокуляцию, сорбцию, озонирование, установки для извлечения из воды соединений фосфора и азота. Для придания очищенным сточным водам качеств природной воды их доочистка проводится в каскаде биологических прудов или на биоинженерных сооружениях типа биоплато. В процессе биологической очистки сточных вод образуется большое количество осадка, представляющего собой отмерший или избыточный активный ил, который удаляется из аэротенков и вторичных отстойников. Ил имеет влажность 97—98% и очень плохо отдает воду. С целью обезвоживания его сначала обрабатывают в метантенках или аэробных стабилизаторах, затем подвергают механическому обезвоживанию в гидроциклонах, центрифугах, вакуумфильтрах или фильтр-прессах, после чего направляют на иловые площадки для окончательного высушивания.

В *метантенках*, представляющих собой герметичные цилиндрические резервуары, в течение нескольких часов при температуре 33—53° С происходит сбраживание ила. При обработке в метантенке ил теряет свою водоудерживающую способность, его влажность снижается до 92—94%. В процессе сбраживания выделяется газ, главным образом метан, с теплотворной способностью до 5000 ккал/ м³.

В *аэробных стабилизаторах*, представляющих собой обычные аэротенки,

активный ил подвергается усиленной аэрации в течение нескольких суток. Расход воздуха при этом составляет до 2 м³/час на 1 м³ вместимости стабилизатора. Влажность ила снижается на 2—3%, он в значительной мере теряет свою водоудерживающую способность.

При механическом обезвоживании влажность осадка может быть снижена до 65—70%, а объем его, по сравнению с сырым осадком (влажностью 98%), уменьшен в 15—20 раз.

Окончательное высушивание осадка происходит на *иловых площадках*. Площадки представляют собой выровненные участки (карты) площадью 0,25—2 га, обвалованные невысокими (0,7—1 м) дамбами. Здесь в природных условиях в течение нескольких месяцев (до года) происходит высушивание и компостирование (перегнивание) илового осадка. Компостированный иловый осадок является хорошим органическим удобрением. Ограничения в его применении могут быть связаны со сверхнормативным содержанием соединений тяжелых металлов.

3. Очистка сравнительно небольших расходов сточных вод может быть обеспечена на более простых по конструкции сооружениях, принцип действия которых также основывается на процессах биохимического разложения органических веществ сообществом микроорганизмов.

Наиболее простыми очистными сооружениями, используемыми человеком уже более пяти столетий, являются *поля фильтрации*. Они представляют собой спланированные площадки (карты) с уклоном до 0,02, обвалованные дамбами, площадью от нескольких квадратных метров до 1,5—2 га. Поля фильтрации устраиваются обычно на проницаемых грунтах — песках, супесях, легких суглинках. Наряду с биологической очисткой сточных вод, в которой принимают участие сообщества микроорганизмов как водных, формирующихся на поверхности карт, так и почвенных, развивающихся в толще проницаемых грунтов, в процессе фильтрации воды через породы основания происходит ее дополнительная механическая и отчасти физико-химическая очистка. Преимуществами полей фильтрации является простота устройства и эксплуатации. К их недостаткам следует отнести необходимость занятия больших площадей, возможность загрязнений подземных вод и атмосферного воздуха газообразными продуктами разложения хозяйственно-бытовых сточных вод, которое ощущается на расстоянии до 200 м от полей фильтрации.

Разновидностью полей фильтрации являются *поля подземной фильтрации*, в которых на глубине 0,5—1,8 м укладываются дренажные трубы. По ним очищенная вода отводится с полей фильтрации и используется для орошения сельскохозяйственных угодий.

Прогрессивным развитием методов естественной биологической очистки являются биоинженерные сооружения типа *биоплато*. Для очистки и доочистки сточных вод населенных пунктов могут быть использованы конструкции типа инфильтрационных и поверхностных биоплато.

Инфильтрационное биоплато — инженерное сооружение, размещенное,

как правило, в котловане глубиной до 2 м, на дне которого устраивается противофильтрационный экран из полиэтиленовой пленки. Поверх экрана укладывается горизонтальный дренаж и слой щебня, песка, керамзита или другого фильтрующего материала. Поверхность сооружения засаживается камышом, тростником, рогозом и другими местными видами высшей водной растительности из расчета не менее 10—12 стеблей на 1 м². По технологии биооплато в очистке воды принимают участие сообщества водных (на поверхности блока) и почвенных (в фильтрующем слое) микроорганизмов, высшая водная растительность и сам фильтрующий слой. *Поверхностное биооплато* также размещается в котловане и имеет противофильтрационный экран. Роль дренажа выполняет каменная наброска, вместо фильтрующего слоя укладывается грунт котлована, поверхность которого засаживается высшей водной растительностью. Высшая водная растительность, кроме очистительной функции, обеспечивает повышенную транспирацию (испарение) очищаемой жидкости в летний период примерно на 10—15%. Транспирационные свойства высшей водной растительности могут быть использованы также для ускорения подсушивания иловых площадок, повышения пропускной способности и эффективности очистки полей фильтрации.

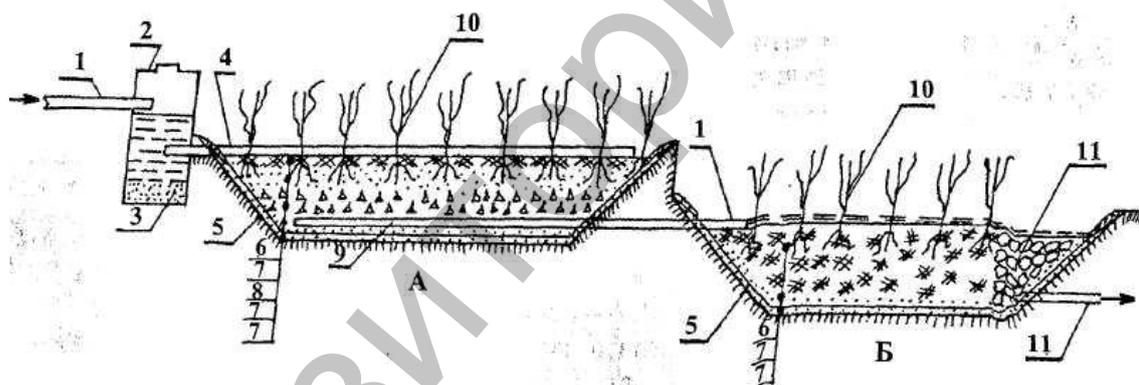


Рис.1. Очистные сооружения типа биооплато

А — инфильтрационное биооплато; Б — поверхностное биооплато

1 — подача воды на очистку; 2 — отстойник; 3 — осадок; 4 — распределительный трубопровод; 5 — противофильтрационный экран; 6 — растительный грунт; 7 — песок; 8 — щебень; 9 — дренаж; 10 — высшая водная растительность; 11 — каменная наброска; 12 — очищенная вода.

Сооружения биооплато, удачно расположенные по рельефу местности, не требуют применения электроэнергии, химикатов и обеспечивают надежную работу как в летний, так и в зимний период. Для очистки производственных сточных вод по технологии биооплато требуется производить их предочистку в соответствии с особенностями их состава и свойств.

4. Вода — важнейший природный ресурс, используемый в промышленном производстве. Можно выделить четыре наиболее значимые направления использования воды в технологических процессах: *вода I*

категории используется для охлаждения жидких и конденсации газообразных продуктов в теплообменных аппаратах без соприкосновения с продуктом; вода нагревается и практически не загрязняется; могут иметь место лишь аварийные утечки жидких и газообразных продуктов в воду при неисправных теплообменных аппаратах; *вода 2 категории* служит в качестве среды, поглощающей различные нерастворимые (механические) и растворимые примеси; вода не нагревается, но загрязняется соответствующими примесями; *вода 3 категории* используется так же, как вода 2-ой категории, но с нагревом (например, очистка газов в скрубберах, гашение кокса и т.д.); *вода 4 категории* используется в качестве экстрагента и растворителя реагентов, химического реагента.

При прямом водообеспечении промышленных предприятий вода, забираемая из природного источника, после участия в технологическом процессе возвращается в водоем в виде сточной (отработанной) воды за исключением того количества, которое безвозвратно расходуется в производстве. Образующиеся на предприятии сточные воды перед сбросом в водоем должны проходить через очистные сооружения, однако не все предприятия их имеют и сточные воды могут без очистки сбрасываться в водоем. При таком способе водообеспечения производства из природных источников забираются большие количества чистой воды, которая возвращается в природные среды в несколько меньшем объеме, но содержит токсичные для гидробионтов загрязняющие вещества.

Сточные воды - отработанные воды, дальнейшее использование которых либо невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям.

При оборотном водообеспечении промышленных предприятий часть сточных вод повторно используется в производстве после их очистки (и охлаждения при необходимости). В ряде отраслей промышленности (черная металлургия, нефтеперерабатывающая промышленность) 90-95% сточных вод используются в системах оборотного водообеспечения.

При таких системах оборотного водоснабжения для компенсации безвозвратных потерь воды в производстве, на охладительных установках, на очистных сооружениях, а также потерь воды, сбрасываемых в канализацию, осуществляется подпитка системы из водоемов и других источников водоснабжения. Подпитка систем оборотного водоснабжения может осуществляться постоянно или периодически. Общее количество добавляемой воды составляет 5-10% общего количества воды, циркулирующей в системе. Производственные сточные воды в течение смены могут поступать равномерно и неравномерно. Возможны залповые поступления высококонцентрированных и высокотоксичных сточных вод, при этом периодичность сброса может быть 1 раз в смену, в сутки, в неделю. Режим спуска производственных сточных вод определяется регламентом технологического процесса (цехов и предприятия в целом). В течение суток могут также изменяться отдельные показатели свойств сточных вод. Академик Л.А.Кульский предложил классификацию сточных вод,

основанную на характеристике их как дисперсных систем, содержащих частицы примесей определенных размеров.

По существу это отнесение сточных вод к определенному типу дисперсной системы: грубодисперсная, коллоидный раствор, молекулярный раствор, раствор электролита.

Группа 1. Сточные воды представляют собой один из видов грубодисперсных систем с размерами частиц 10^{-1} - 10^{-3} см (взвеси, суспензии, эмульсии, патогенные микроорганизмы и планктон). Наличие такого вида загрязнений обуславливает мутность воды.

Группа 2. Сточные воды представляют собой коллоидные растворы загрязнений в воде, а также растворы высокомолекулярных соединений. Размеры частиц загрязнений порядка 10^{-5} - 10^{-6} см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает окисляемость и цветность сточной воды.

Группа 3. Сточные воды представляют собой молекулярные водные растворы газов и некоторых органических веществ, размеры частиц загрязнений $\approx 10^{-7}$ см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает запахи и привкусы воды.

Группа 4. Загрязнения в сточной воде образуют ионные растворы с размерами частиц порядка 10^{-8} см. Наличие такого вида загрязнений обуславливает минерализацию воды.

Условия приема производственных сточных вод в городскую систему водоотведения.

Производственные сточные воды, как правило, проходят очистку на самом предприятии и в дальнейшем могут быть использованы этим же предприятием, переданы для использования другому предприятию, сброшены в водный объект или по системе водоотведения направлены на общегородские очистные сооружения. Необходимая степень очистки городских сточных вод определяется условиями сброса сточных вод в водные объекты. Однако очистительные возможности общегородских очистных сооружений, основным звеном которых является комплекс биологической очистки, довольно ограничены. На сооружениях биологической очистки из сточных вод практически не извлекаются ионы тяжелых металлов, не подвергаются деструкции искусственно синтезированные органические вещества. Поэтому в составе производственных сточных вод, подаваемых на общегородские очистные сооружения, содержание веществ, неподдающихся или плохо поддающихся биохимическому окислению, должно быть ограничено или они должны отсутствовать вовсе.

Активный ил, представляющий собой определенным образом сформировавшееся сообщество микроорганизмов и который является главным "рабочим" инструментом биологической очистки, может быть уничтожен или в значительной мере поврежден под воздействием кислот, щелочей, токсичных веществ или высокой температуры. Поэтому подаваемые на биологическую очистку производственные сточные воды не должны губительно действовать на активный ил.

Кроме того, сточные воды, подаваемые в систему водоотведения, не

должны вызывать разрушение и засорение канализационных коллекторов.

Исходя из этого, запрещается сбрасывать в городские системы водоотведения производственные сточные воды:

- имеющие рН менее 4,0 и более 9,0;
- при показателях ХПК, более чем в 2,5 раза превышающих БПК₅ или более чем в 1,5 раза превышающих БПК_{полн}, что свидетельствует о значительных концентрациях в сточных водах органических соединений, неподдающихся биохимическому окислению;
- содержащие токсичные и радиоактивные вещества, возбудителей инфекционных заболеваний, а также вещества, для которых не установлены ПДК;
- с содержанием взвешенных и всплывающих веществ свыше 500 мг/л; с температурой выше 40° С.

В городские системы водоотведения запрещается сбрасывать:

- концентрированные маточные и кубовые растворы;
- осадки после локальных очистных сооружений, грунт, строительный и бытовой мусор, производственные отходы;
- кислоты, щелочи, растворители, смолы, бензин, мазут и другие нефтепродукты;
- растворы, содержащие сероводород, сероуглерод, легколетучие углеводороды;
- вещества, способные засорять трубы, колодцы, решетки или отлагаться на стенках труб;
- горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси, агрессивные газы с разрушающим коррозионным воздействием на канализационные сети и сооружения.

Сброс сточных вод промышленных предприятий в городскую систему водоотведения должен производиться равномерно в течение суток. Залповые сбросы не допускаются.

Сброс сточных вод в водные объекты после очистки на общегородских очистных сооружениях регламентируется нормативами предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ (ПДС). Учитывая ограниченные очистительные возможности общегородских очистных сооружений, управление по эксплуатации этих сооружений устанавливает для своих абонентов-предприятий, сбрасывающих сточные воды в городскую систему канализации, лимиты приема по количеству и составу промстоков. Лимиты устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить нормативные условия сброса очищенных на общегородских сооружениях сточных вод в водный объект. Для соблюдения установленных каждому предприятию лимитов производится локальная очистка производственных сточных вод, как правило, на самом предприятии. Иногда несколько предприятий организуют совместную очистку своих сточных вод.

**Требования к составу и свойствам воды природного водоема
(после смешения со сточными водами)**

Состав и свойства воды	Категория водопользования	
	водоемы питьевого и культурно-бытового назначения	водоемы рыбохозяйственного назначения
Взвешенные вещества	превышение по сравнению с природными не более 0,25 мг/л	превышение по сравнению с природными не более 0,75 мг/л
Плавающие вещества	На поверхности воды не должно быть пленок и пятен масел, нефтепродуктов, жиров и других плавающих веществ	На поверхности воды не должно быть пленок и пятен масел, нефтепродуктов, жиров и других плавающих веществ
Запахи, привкусы	Не должно быть (запахов и привкусов интенсивностью более 3 баллов)	Вода не должна иметь посторонних запахов и привкусов и сообщать их мясу рыб
окраска	Не должна обнаруживаться в столбике высотой 20 см	Не должна обнаруживаться в столбике высотой 10 см
рН	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Растворенный кислород	Не менее 4 мг/л	Не менее 6 мг/л
БПК (полн.)	Не более 3,0 мг/л	Не более 6,0 мг/л
Возбудители заболеваний	Не должны содержаться	Не должны содержаться
Минеральный состав	Не более 1000 мг/л	

Температура при спуске сточных вод летом не должна повышаться более чем на 3°C по сравнению со средней температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет. Существуют и находят практическое применение различные приближенные методы оценки качества воды, основанные на гидробиологических, бактериологических, гидрохимических и других характеристиках состава и свойств воды.

5. Для устранения загрязнения сточных вод применяют различные методы очистки, которые классифицируются следующим образом:

по типу процесса очистки:

гидромеханические (процеживание и отстаивание, улавливание всплывающих материалов, фильтрование и центрифугирование);

физико-химические (коагуляция и флокуляция, флотация, адсорбция, ионный обмен, экстракция, обратный осмос, десорбция, электрохимические методы);

химические (нейтрализация, окисление и восстановление, удаление

ионов тяжелых металлов);
биохимические (аэробные и анаэробные);
термические, (выпаривание и сжигание);
по виду изменения вредных веществ:
методы выделения примесей без изменения их химического состава и агрегатного состояния;
методы превращения примесей в другие формы и состояния;
биологические;
по видам загрязнения:
очистка от твердых частиц (процеживание, отстаивание, механическое разделение, фильтрование);
очистка от маслопродуктов (отстаивание, механическое разделение, флотация, фильтрование);
очистка от растворимых примесей (экстракция, сорбция, нейтрализация, электрокоагуляция, ионный обмен, озонирование, кондиционирование, обезвоживание);
очистка от органических примесей (применение искусственных и естественных сооружений с использованием биологических фильтров).

Ниже приводятся краткие описания методов очистки.

Гидромеханические методы. Для очистки сточных вод от крупных механических примесей во избежание засорения труб, каналов и насосов гидросистемы осуществляется *процеживание*. С этой целью применяют решетки и сита с ячейками различных размеров в зависимости от характера загрязнения вод. Решетки бывают подвижными и неподвижными. Очистка их от крупных частиц производится с помощью специальных граблей.

Отстойники и песколовки предназначены для предварительной очистки сточных вод от минеральных и органических твердых загрязнений с частицами сравнительно больших размеров (0,2...0,25 мм).

Скорость движения воды в отстойнике невелика (0,3 м/с). Недостатками отстойников являются сравнительно низкая эффективность, невысокая скорость удаления частиц, большие габаритные размеры аппаратов, значительный расход материалов (металла, бетона) для их изготовления.

В песколовки часто ставят элеватор для непрерывного удаления песка. В отстойниках и песколовках происходит осаждение частиц под действием силы тяжести. Из бункера их регулярно удаляют в виде шлама. Всплывающие вредные вещества (нефть, масла, смолы, жиры) собираются с помощью нефтеловушек, особенностью которых является удаление загрязнений не снизу, как в отстойниках, а из верхней части аппарата. После нефтеловушек (как и после отстойников) вода нуждается в дополнительной очистке, так как эти аппараты имеют низкую степень очистки (около 70 %).

Фильтрование применяют для удаления из сточных вод частиц малых размеров. Вода под действием давления проходит через пористые перегородки или слой песка.

Центрофугирование как метод очистки производится за счет осаждения частиц под действием центробежной силы. С этой целью применяются гидроциклоны.

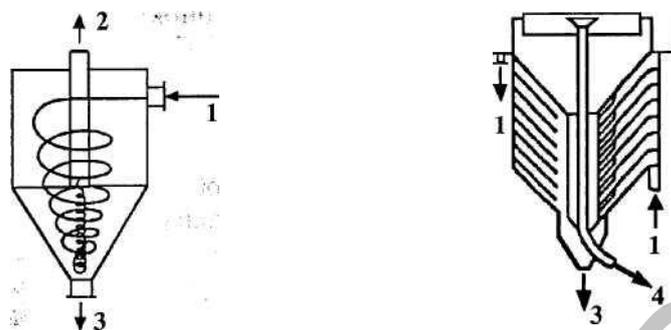


Рис. 2. Гидроциклоны

А — вертикальный напорный; Б — многоярусный открытый 1— загрязненная вода; 2—очищенная вода; 3—осадок (шлам); 4—плавающие примеси (нефтепродукты, масла)

Физико-химические методы очистки обеспечивают удаление из воды, как правило, растворенных веществ, неподдающихся или плохо поддающихся биологической очистке, а также веществ, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на коллекторы или другие элементы систем водоотведения.

Наиболее простым и распространенным методом физико-химической очистки является *нейтрализация*, которая заключается в подкислении щелочных вод ($\text{pH} > 8,5$) и подщелачивании вод с $\text{pH} < 6,5$. При наличии на производстве кислых и щелочных вод нейтрализация достигается их смешением. При отсутствии одной из категорий вод нейтрализация осуществляется путем добавки реагента. Для нейтрализации кислых вод лучше всего использовать отходы щелочей — гидроокиси натрия или калия, не дающие осадка. При использовании гидроокиси кальция в виде известкового молока образуется шлам, который необходимо удалять, обезвреживать и утилизировать. Нейтрализация кислых вод достигается также фильтрованием их через слой известняка, доломита, магнезита, шлака или золы.

Для нейтрализации щелочных вод используется отработанная серная кислота. Высокоэффективным методом нейтрализации щелочных вод является продувка через них газовых выбросов, содержащих оксиды серы, углерода, азота и другие кислотообразующие окислы. Таким образом, обеспечивается одновременно эффективная очистка дымовых газов.

Реагентная обработка применяется для очистки вод от цианидов, роданидов, ионов тяжелых металлов и ряда других примесей. Вид применяемого реагента определяется составом примесей, подлежащих удалению из воды. Так, разложение цианидов достигается обработкой воды жидким хлором или веществами, выделяющими активный хлор, — хлорной

известью, гипохлоридом кальция или натрия.

Окислением удается добиться деструкции таких соединений, как альдегиды, фенолы, анилиновые красители, серосодержащие органические вещества и др. В качестве окислителей применяют кислород, озон, перекись водорода, пиролюзит. В процессе окисления происходит разложение вредных примесей до простых окислов или образование соединений, поддающихся биохимическому разложению.

Извлечение из воды ионов ртути, хрома, кадмия, свинца, никеля, меди, мышьяка основано на переводе их из раствора в нерастворимый осадок. С этой целью очищаемую воду обрабатывают соединениями натрия или кальция — сульфитом, бисульфитом или сульфидом, карбонатами или гидроокисью. Образующийся шлам удаляют, утилизируют или складывают.

Одним из высокоэффективных методов очистки является *ионный обмен*, который представляет собой процесс взаимодействия очищаемой жидкости с зернистым материалом, обладающим способностью заменять ионы, находящиеся на поверхности зерен, на ионы противоположного заряда, содержащиеся в растворе. Такие материалы называются ионитами. Ионитными свойствами обладают природные минералы — цеолиты, апатиты, полевые шпаты, слюда, различные глины. Синтезировано большое число высокоэффективных ионитов, обладающих селективными свойствами. К ним относятся силикагели, алюмогели, пермутиты, сульфогли и ионообменные смолы — синтетические высокомолекулярные органические соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Иониты не растворяются в воде, обладают достаточной механической прочностью, обеспечивают возможность их регенерации с получением ценных веществ, извлекаемых из очищаемых вод. Существуют ионообменные установки периодического и непрерывного действия. Установки периодического действия работают как фильтры с зернистой загрузкой в виде гранул ионитов. При насыщении поверхности гранул ионами вещества, извлекаемого из воды, производится их регенерация слабым раствором (2—8%) щелочи или кислоты. В установках непрерывного действия гранулы ионитов и очищаемая жидкость движутся противотоком, постоянно перемешиваясь. В процессе работы часть гранул подаются на регенерацию и заменяются новыми. Благодаря высокой механической прочности и способности к регенерации гранулы ионитов имеют довольно продолжительный срок службы. Ионный обмен является, по существу, универсальным методом очистки вод. Для извлечения практически любого вещества из воды можно подобрать соответствующий ионит или группу ионитов. Эффективность ионообменной очистки достигает 95—99%.

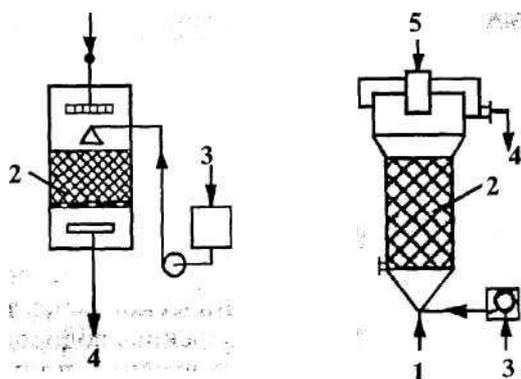


Рис. 3. Установки ионообменной очистки:

А — периодического действия; Б — непрерывного действия.

1 — загрязненная вода; 2 — гранулы ионита; 3 — раствор для регенерации ионита; 4 — очищенная вода; 5 — добавка ионита

Другим универсальным и высокоэффективным методом очистки вод является *сорбция*. Сорбция применяется преимущественно для очистки сточных вод, которые содержат высокотоксичные вещества, неподдающиеся биохимическому окислению. Метод сорбционной очистки основан на адгезии (прилипанию) растворенных веществ поверхностью и порами сорбента — вещества, обладающего разветвленной внешней и внутренней (поры) поверхностью. Наилучшим сорбентом является активированный уголь. Сорбционными свойствами обладают золы, шлаки, опилки, коксовая крошка, торф, керамзит и др. Конструкции установок сорбционной очистки аналогичны ионообменным. Высокая эффективность очистки достигается в установках с псевдосжиженным ("кипящим") слоем, когда в полую вертикальную колонну снизу под давлением подается очищаемая вода, проходящая через слой сорбента, который находится во взвешенном состоянии. Отработанный сорбент заменяется новым или регенерируется. При поддержании сорбента в "кипящем" слое, когда достигаются наилучшие условия контакта его внешней и внутренней поверхности с очищаемой жидкостью, эффективность очистки достигает 99%. Если псевдосжиженный слой слеживается, эффективность очистки резко снижается.

Флотационная очистка применяется для удаления из воды поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефтепродуктов, жиров, смол и др. Процесс флотации заключается в сорбировании содержащихся в воде примесей поверхностью пузырьков воздуха, нагнетаемого в очищаемую жидкость. В практике очистки вод используются напорные, безнапорные, вакуумные и электрофлотационные установки. Наибольшее распространение получили напорные установки. В таких установках вода сначала насыщается воздухом под давлением, а затем подается в открытый резервуар, где происходит выделение пузырьков и сорбирование ими содержащихся в воде примесей. Иногда сжатый воздух подается в нижний слой жидкости, находящейся в резервуаре (флотаторе). Для повышения эффективности очистки воздух подается через пористые (фильтросные) пластины. При вакуумной флотации в флотаторе создается разрежение, способствующее образованию пузырьков воздуха. Для безнапорной флотации используются эрлифтные установки, которые позволяют существенно (в 2—4 раза) снизить затраты электроэнергии на флотационную очистку. Повышению эффективности очистки вод при флотации способствует наличие синтетических

поверхностно-активных веществ (СПАВ). Образованная ими густая стойкая пена повышает степень извлечения из воды эмульгированных и диспергированных примесей. При флотации одновременно достигается дегазация очищаемых вод и насыщение их кислородом.

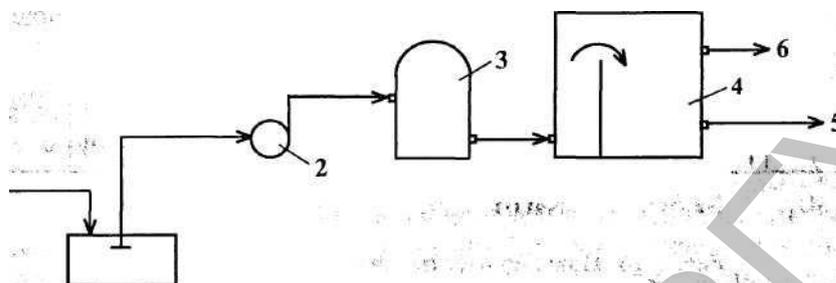


Рис. 4. Установки флотационной очистки:

1 — загрязненная вода; 2 — сжатый воздух; 3 — газгольдер; 4 — флотатор; 5 — очищенная вода; 6 — пенный шлам

При электрофлотации образование пузырьков газа происходит вследствие электролиза воды. На аноде выделяется кислород, на катоде — водород. Однако этот метод очистки из-за больших затрат электроэнергии и роста ее стоимости практически не используют. По этим же причинам все реже применяют некогда широко распространенные *электрохимические методы* очистки вод: анодное окисление и катодное восстановление, электрокоагуляция, электродиализ. Электрохимические методы очистки основаны на пропускании постоянного электрического тока через очищаемую жидкость. Кислород, выделяемый на аноде, окисляет органические примеси. В качестве анодов используют электролитические неразлагаемые материалы: графит, магнетит, диоксиды свинца, марганца или рутения, наносимые на титановую основу. На катодах происходит выделение водорода и оседание ионов металлов с образованием нерастворимых гидроксидов.

Контрольные вопросы:

1. Городские системы водоотведения.
2. Характеристика зон санитарной охраны поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения.
3. Принцип работы и состав городских очистных сооружений.
4. Виды очистных сооружений для небольших населенных пунктов.
5. Классификация методов очистки сточных вод.
6. Основные методы физико-химической очистки производственных сточных вод.
7. Требования к производственным сточным водам, сбрасываемым в городскую систему водоотведения.

Лабораторная работа № 2

Изготовление препаратов активного ила и оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям

Особенности экосистемы активного ила

Активный ил представляет собой сложную экосистему, в состав которой входит большое количество представителей микрофлоры и микрофауны. Фауна биоценоза активного ила и характер бактериальных скоплений в первую очередь зависят от состава сточных вод. Основу этой системы, как по массе, так и по значимости в процессе очистки составляют бактерии главным образом в виде хлопьевидных скоплений — *зооглей*. Обычно присутствуют также нитчатые бактерии, гифы водных грибов, дрожжи, бесцветные жгутиконосцы, саркодовые (голые и раковинные) и инфузории. При продленной аэрации, когда осуществляется глубокая очистка, появляются коловратки, водные черви и в небольших количествах некоторые другие многоклеточные беспозвоночные (тихоходки, водные клещи, гастротрихи).

Для смешанных городских сточных вод (бытовые, разбавленные производственные) в зависимости от органической нагрузки на активный ил наблюдаются следующие основные его модификации, связанные с характером пищевых взаимоотношений организмов и соответствующим их физиологическим состоянием.

Перегруженный ил — не справляющийся с поступающими загрязнениями, в результате чего в жидкости имеется значительное количество растворенной органики и посторонних включений. Такие условия характеризуются малым разнообразием видов при значительных их количествах. Резко преобладают организмы, питающиеся сапрозойно — свободные бактерии, в том числе нитчатые серобактерии рода *Beggiatoa*, в клетках которых хорошо заметны капли серы, и гифы грибов. В массе присутствуют бесцветные жгутиковые. Структура ила с мелкими рыхлыми хлопками, легко выносимыми за пределы вторичных отстойников. Вода над осевшим илом мутная от присутствия бактерий и взвешенных частиц. Появляются бактериофаги, способные переносить недостаток кислорода. Из перитрих могут присутствовать небольшие колонии *Opercularia coarctata*, *O. microdiscum* и целый ряд экоформ *Vorticella microsioma*. Зооиды переполнены пищеварительными вакуолями, перистомальный диск, как правило, закрыт. Из свободноплавающих инфузорий чаще других встречается *Paramecium aurelia*: сильный недостаток кислорода и наличие гнилостных процессов из инфузорий выносит лишь *P. caudatum*. Единственный вид коловраток, обитающий в условиях высоких нагрузок — *Rotaria neptunia*.

Умеренно-нагруженный ил (хорошо работающий) формируется при более низких органических нагрузках. Фауна биоценоза

разнообразнее, преобладают один или несколько видов. Хлопки ила обладают свойствами, необходимыми для хорошей очистки: они умеренной величины, но уже довольно плотные, что обеспечивает большую поверхность для сорбции загрязнений и в то же время вызывает хорошее оседание ила во вторичных отстойниках. По характеру питания умеренно-нагруженном иле преобладают бактериофаги. Появляются спиральноресничные инфузории (*Aspidisca*, *Oxytricha*, *Opistotricha* и др.) и в значительном количестве перитрихи (*Vorticella*, *Opercularia*, *Carchesium*, *Epistylis*, *Zoothamnium*). Все они хорошо упитаны, перитрихи с умеренно расширенным перистомом (включая *Opercularia* и *Vorticella micrstroma*).

Благодаря обилию бактериофагов численность свободных бактерий в биоценозе резко сокращается и вода заметно осветляется. Как уже указывалось, особенно эффективна в этом отношении деятельность седиментаторов, поглощающих огромное количество бактерий, в основном патогенных, а также способствующих слипанию и дальнейшему осаждению бактериальных взвесей. Из коловраток могут встречаться лишь некоторые виды (*Epiphanes senta*, *Rotaria rotatoria*), питающиеся мелкими жгутиковыми и бактериями. Иногда в заметных количествах развивается *Proales sigmoidea* — вид, пожирающий зооиды перитрих. Из малощетинковых червей обильно размножаются виды родов *Nais*, *Dero* и *Aeolosoma*, питающиеся поверхностными слоями хлопков активного ила. Оседание ила быстрое, вода над илом прозрачная.

Ил при низких нагрузках формируется при еще более пониженном уровне органического питания и избытке минерального азота (нитритов и нитратов). Он отличается большим разнообразием фауны — встречаются все основные группы организмов активного ила. Хлопки ила крупные, плотные, хорошо оседающие, но имеющие относительно небольшую поверхность. Оседание ила быстрое, вода над ним прозрачная в связи с небольшим количеством свободных бактерий. Фауна раковинных амёб обычно разнообразна (*Pamphagus*, *Arcella*, *Centropyxis*, *Euglypha*). Количественно могут преобладать те же представители инфузорий, что и в предыдущей модификации ила (спиральноресничные и перитрихи), но здесь они представлены иными экологическими формами. Особенно хорошо это заметно на перитрихах: упитанность их снижается, тело вытягивается, ротовое отверстие широко открыто и образует раструб (приспособление для улучшения улавливания бактерий).

Присутствуют все группы одноклеточных хищников, использующие бактериофагов в качестве добычи. При продленной аэрации в данной модификации активного ила появляются представители и верхнего звена пищевых связей — многоклеточные беспозвоночные (хищники и детритофаги). В основном это различные виды коловраток, из которых некоторые виды дают

периодические вспышки массового размножения.

Голодающий ил развивается при очень низкой концентрации органических веществ и соответственно малом количестве свободных бактерий. Хлопки ила становятся прозрачными, и в конечном счете происходит их распад. Вода над илом с мелкой не оседающей мутью — результат деградации хлопков. В ней отсутствуют пищевые условия для нормального развития и размножения бактериофагов. На первых стадиях голодания происходит измельчение простейших, в основном прикрепленных инфузорий. В их теле пропадают пищевые вакуоли, зооиды становятся прозрачными хорошо просматриваются ядра. При дальнейшем голодании возникают стадии покоя - цисты, что влечет за собой постепенное обеднение фауны вплоть до полного исчезновения из толщи воды всех активных стадий. Помимо пищевых условий на характер активного ила оказывают влияние и другие факторы. Чаще всего приходится иметь дело со следующими изменениями состояния организмов.

Микрофлора активных илов, очищающих многокомпонентные сточные воды химических производств, различна и зависит от состава очищаемых стоков, технологического режима аэротенков и условий эксплуатации всего комплекса очистных сооружений. Например, сточные воды со сложным химическим составом производства капролактама обуславливают формирование активного ила в виде комплекса микроорганизмов разных систематических единиц с преобладанием микроорганизмов класса бактерий (70% от общего количества), из них, в %: 40 - псевдомонас, 12 - бактерии, 12 - бациллы и 6 - хромобактерии. Остальные 30% микроорганизмов активного ила - представители классов грибов и актиномицетов. Наличие азота в сточных водах стимулирует метаболическую активность нитрифицирующих бактерий активного ила, которые в аэробных условиях окисляют аммонийный азот до нитратов. В производственных и хозяйственно-бытовых сточных водах азот встречается в виде аммиака, нитратов, нитритов, карбамида, а также в органических азотсодержащих соединениях природного и неприродного происхождения. Органические соединения предварительно расщепляются с высвобождением аммиака. Присутствие азота в сточных водах стимулирует метаболическую активность нитрифицирующих бактерий активного ила, которые в аэробных условиях окисляют аммонийный азот до нитратов. Восстановление нитратов (денитрификация) происходит с помощью бактерий-денитрификаторов только в анаэробных условиях или при низких концентрациях кислорода. Появление бактерий-денитрификаторов в составе активного ила аэротенка свидетельствует о дисбалансе в соотношении органических веществ и растворенного кислорода, активный ил при этом всплывает на поверхность, биомасса активного ила пронизана пузырьками воздуха, активный ил выносится в водоем. Сточные воды ряда химических производств содержат окисленные соединения серы в виде сульфатов. Гетеротрофные микроорганизмы активного ила могут подвергать метаболизму сульфаты с

дальнейшим включением серы в клеточный материал. При недостатке кислорода ряд обычных бактерий - Proteus, E.coli, и специализированные анаэробы - превращают сульфаты в сероводород. О присутствии этих групп бактерий в активном иле свидетельствует запах сероводорода и темный цвет активного ила, так как сернистый водород вступает в реакцию с железом, присутствующим в сточной воде, образуя сульфиды, которые и окрашивают активный ил в синий или черный цвета.

При недостатке кислорода в активном иле преобладают бактерии и жгутиковые. Зооиды перитрих отрываются от колоний. При сильном нарушении кислородного режима резко увеличивается сократительная вакуоль, что может вызвать разрыв зооидов. Постепенно активность организмов снижается, реснички работают слабо, появляется много неподвижных особей. Хлопки ила распадаются, вода над илом мутнеет.

При залповых сбросах промышленных стоков, особенно в тех случаях, когда ил не адаптирован к условиям очистных сооружений, происходит резкое нарушение жизнедеятельности организмов активного ила: наблюдаются деформация зооидов, прекращение работы ресничек, закрытие перистомы у перитрих, мельчание особей. При сильных токсических воздействиях наступает полная гибель населения активного ила.

Активный ил эффективно работающего аэротенка имеет серовато-коричневатый цвет, визуальная структура его представлена небольшими комочками биомассы, так называемой *зооглейной структурой микробных ассоциаций*, которая равномерно распределяется в водной среде и быстро оседает, образуя прозрачную надилловую жидкость и пластичный осадок. В неблагоприятных условиях обитания (перегрузка, залповые сбросы, голодание) осадок активного ила теряет пластичность и коллоидную структуру, надилловая жидкость приобретает стойкую мутность. В этом случае зооглейная структура активного ила обусловлена слипанием бактерий, простейших, коловраток. А в неблагоприятных условиях обитания она приобретает рыхлость, исчезают простейшие и коловратки, появляется масса свободно плавающих бактерий.

Последовательные этапы гидробиологического анализа на очистных сооружениях включают:

I Отбор проб;

II Оценку общего характера ила: определяют визуально при просмотре в стакане или стеклянном цилиндре (объем 100 мл). Учитываются следующие показатели:

- а) скорость оседания хлопка (быстро, медленно);
- б) цвет (бурый, рыжеватый, черный, белесый и т. д.);
- в) характер воды над осевшим илом (прозрачная, мутная, окрашенная, опалесцирующая);
- г) запах (гнилостный, сероводородный, характерный для определенных химических веществ);
- д) состояние ила, например его вспухание при отстаивании.

Перечисленные пункты являются основными. В зависимости от характера

загрязнений следует включать в описание и другие показатели (например, следы нефти, пена от синтетических моющих средств и др.).

III Определение видового состава и количественный учет населяющих активный ил организмов;

IV Оценка физиологических особенностей организмов. При данном анализе учитываются следующие показатели:

1. Преобладающие группы и виды организмов биоценоза.

Надежными

индикаторами состояния активного ила могут быть только организмы, встречающиеся в нем в значительных количествах. К ним относятся:

- зооглейные скопления бактерий: чем больше концентрация сточной жидкости, тем больше должна быть поглощающая поверхность и тем меньше и рыхлее хлопья; по мере снижения концентрации загрязнений хлопья уплотняются и увеличиваются их размеры.

- прикрепленные инфузории (перитрихи).

2. Степень упитанности (хорошая, удовлетворительная, слабая).

Важнейшим критерием упитанности служит интенсивность фагоцитоза, оцениваемая

по количеству пищеварительных вакуолей. Вторым критерием — степень

прозрачности цитоплазмы.

3. Состояние сократительных (пульсирующих) вакуолей,

выполняющих

функцию осморегуляции. Следует обратить внимание на степень наполнения

вакуолей и скорость их пульсации. При неблагоприятных условиях ритм пульсации замедляется и осморегуляция нарушается.

4. Форма тела. Этот признак особенно изменчив у прикрепленных, кругоресничных инфузорий. Отклонения от нормы могут быть вызваны различными

факторами. При хорошей упитанности форма тела расширенная, почти округлая или бочонковидная; при слабой — происходит вытягивание животных и расширение передротовой области. При недостатке кислорода зооиды раздуваются вплоть, до их разрыва. Токсические вещества вызывают возникновение

различных уродств (вмятины, складки, асимметрия и т. д.).

5. Состояние ресничного диска у прикрепленных кругоресничных инфузорий

(открыт, закрыт). Обычно он открыт и закрывается лишь при отклонении условий от нормы (избыточном количестве растворенной органики, наличии токсикантов).

6. Интенсивность работы ресничного аппарата, обеспечивающего питание и движение инфузорий (интенсивная, слабая, полная неподвижность). Движение ресничек зависит от многих факторов, в первую очередь от температуры и химического состава среды обитания.

7.Размеры организмов (нормальные, укрупненные, мелкие). В основном

этот показатель связан с условиями питания. Однако известно, что токсические вещества, попадающие на очистные сооружения с промышленными стоками, вызывают также измельчение организмов.

8.Характер размножения, особенно наглядно проявляющийся на инфузориях. В основном им свойственно бесполое размножение, происходящее путем деления организма на две части. Однако время от времени в жизненный цикл включается половой процесс по типу конъюгации. Экспериментально установлено, что длина периода бесполого размножения у инфузорий варьирует в зависимости от жизненных условий.

При обильном и разнообразном питании конъюгация задерживается; голодание и действие некоторых солей ускоряют ее наступление. Таким образом, наличие большого количества особей, размножающихся половым путем, указывает на сдвиг экологических условий в неблагоприятную сторону.

9. Наличие цист. Инцистирование — важное биологическое приспособление большинства простейших, обеспечивающее их сохранность в период наступления неблагоприятных для их существования естественных условий (постепенное снижение температуры, подсушивание, ухудшение питания). В процессе образования цист сбрасываются или втягиваются органеллы движения, животные округляются и выделяют на своей поверхности плотную защитную оболочку. При возвращении благоприятных условий цисты раскрываются, и простейшие вновь становятся активными.

10. Наличие погибших животных. Гибель может быть вызвана или очень быстрым и резким изменением жизненных факторов, при котором животные не успевают инцистироваться, или воздействием чуждых им реагентов (радиация, токсиканты и т. д.). Обычно картина массовой гибели гидробионтов наблюдается при мощных залповых сбросах отходов промышленных предприятий. Изучение физиологического состояния организмов активного ила разработано еще недостаточно; к анализу следует подходить творчески, не ограничиваясь указанными признаками. Так, например, могут появляться сезонные и покоящиеся формы организмов, может меняться способ их питания и т. д. Организмы активного ила четко реагируют на условия окружающей среды. Поэтому, для того чтобы дать правильное заключение об их состоянии, необходимо срочное выполнение анализа; пробы до просмотра должны храниться при доступе воздуха, вдали от химических препаратов; недопустимы даже кратковременные их перегревы.

Таким образом, для целей индикации пользуются признаками организмов, непосредственно меняющимися под воздействием качества воды. Поэтому для видов с широкой экологической валентностью используют **визуальное морфофизиологическое тестирование**.

Характеристика состояния активного ила представлена в таблице 1.

Таблица 1

Степень относительного развития различных групп простейших и коловраток при различной работе очистных сооружений

Характеристика работы биоокислителя	Группы организмов				
	Амеба	Бесцветные жгутиковые	Инфузории	Коловратки	
Плохая	Преобладают		Отсутствуют		
Неудовлетворительная	Преобладают		Мало		
Удовлетворительная (нитрификация слабая)	Единичные экземпляры	Преобладают равноресничатые		Преобладают	
Хорошая (нитрификация)	Отсутствуют		Преобладают круглоресничатые и брюхоресничатые		Тоже

Таблица 2

Организмы, обнаруженные при различных режимах работы очистных сооружений

№	Название организма	Режим работы
2	Flagellatae	Неудовлетворительный и плохой
3	Trepomonas Steini	
4	Oicomonas Socialis	
5	Opercularia coarctata	
6	Opercularia glomerata	
7	Rhabdostyla ovum	
8	Oxytricha pellionella	
9	Amoeba limax	
10	Pamphagus hyalinus	
11	Paramecium caudatum	
12	Vorticella alba	
13	Arcella discoides	
14	Euglypha alveolata	
15	Euglypha laevis	
16	Aktinophrys vesiculata	

17	Euplotes charon
18	Euplotes patella
19	Aspidisca costata
20	Aspidisca turrida
21	Coleps hirtus
22	Psyhoda (куколка мушки)
23	Podura

К физическим свойствам активного ила, характеризующим его качество, относится способность ила к оседанию. Она выражается показателем *илового индекса*, который представляет собой отношение объема активного ила в миллилитрах после 30-минутного отстаивания к 1 г сухого вещества при разбавлении иловой смеси до 1 г/л. Величина илового индекса зависит от нагрузки на ил, хорошим является индекс не более 100. Превышение этого показателя свидетельствует о неблагоприятных, нестабильных условиях работы аэротенка.

Количественные закономерности формирования экосистемы активного ила диктуются, в основном, технологическим режимом работы аэротенков. Как правило, общее количество микроорганизмов в сооружениях прямо пропорционально их окислительной мощности. Качественный и количественный состав микрофлоры активного ила, очищающего сточные воды химического производства, а также биохимические свойства бактерий, определяющие величину удельной скорости окисления активного ила, зависят от условий его обитания являются управляемыми параметрами и формируются в зависимости от управляющих параметров: химического состава сточных вод, постоянства концентраций основных загрязняющих специфических веществ и оптимальных параметров технологического режима.

Ход работы:

Объекты, реактивы, оборудование: проба суспензии активного ила из аэротенка промышленного предприятия или городских очистных сооружений, микроскоп, стеклянные цилиндры емкостью 1 л, стеклянные цилиндры диаметром 20-25 мм, предметные и покровные стекла, стеклянные палочки, пипетки или стеклянные трубки, фильтровальная и индикаторная бумага, спиртовка, спички.

Цель работы: овладеть навыками определения состояния активного ила, как показателя работы водоочистных сооружений.

Пробу суспензии активного ила налить в цилиндр емкостью 1 л и визуально описать состояние активного ила: окраску, цвет, запах, наличие зооглеейных комочков, их способность к оседанию в течение 60-минутного отстоя; с помощью индикаторной бумаги определить рН среды.

Окраску суспензии активного ила определяют качественно, причем записывают окраску и степень ее интенсивности. Для качественного

определения окраски пробу суспензии наливают в цилиндр из бесцветного стекла, цилиндр ставят на белую бумагу, ставят экран из белой бумаги за цилиндром и обозначают окраску: сероватая, бурая, с темным оттенком, черная.

Запах определяют качественно при открывании пробы: если запах не ясен, то следует отлить небольшое количество воды и подогреть ее до температуры 65°C. Запах записывают следующим образом: гнилостный, фекальный, керосиновый, фенольный, сероводородный.

Динамику оседания активного ила определяют после тщательного перемешивания иловой смеси в самой пробе, затем помещают ее в четыре стеклянных градуированных цилиндра емкостью 100 мл, наливая до верхней метки, еще раз перемешивают стеклянной палочкой и через каждые 15 минут отмечают объем, занимаемый осевшим илом. Результаты определения выражают в виде отношения (в процентах) объема, занимаемого выпавшим илом, к объему взятой для определения иловой смеси. Эту величину находят для каждого времени отстаивания. Полученные результаты представляют в виде кривых, откладывая по оси абсцисс время от начала опыта, в течение которого происходило отстаивание, а по оси ординат - полученное процентное отношение.

Приготовить препарат для микроскопирования: на предметное стекло нанести стеклянной палочкой или трубкой каплю иловой суспензии, накрыть покровным стеклом и рассмотреть под микроскопом препарат в нескольких полях зрения. Препараты просматриваются вначале при малом увеличении (окуляр 10 или 15, объектив 8), затем при большом (окуляр 10 или 15, объектив 40). Для рассмотрения наиболее мелких объектов используют иммерсионную систему (объектив 90). Обычно просматривают не менее 3 препаратов. Зарисовать и описать микрофлору активного ила в тетради. Дать качественную и количественную характеристику активного ила в соответствии с таблицей 3.

ГОРОДАХ

1. Загрязнение окружающей среды при рассеивании выбросов предприятий через высокие трубы.
2. Понятие ПЗА (потенциала загрязнения атмосферы). Оценка синоптической ситуации в городах.
3. Мероприятия по защите воздушного бассейна урбанизированных территорий.

1. Загрязнение окружающей среды при рассеивании выбросов предприятий через высокие трубы зависит от многих факторов: высоты трубы, скорости выбрасываемого газового потока, расстояния от источника выброса, наличия нескольких близко расположенных источников выбросов, метеорологических условий и др.

Высота выброса и скорость газового потока. С увеличением высоты трубы и скорости выбрасываемого газового потока эффективность рассеивания загрязнений увеличивается, т.е. рассеивание выбросов происходит в большем объеме атмосферного воздуха, над большей площадью поверхности земли.

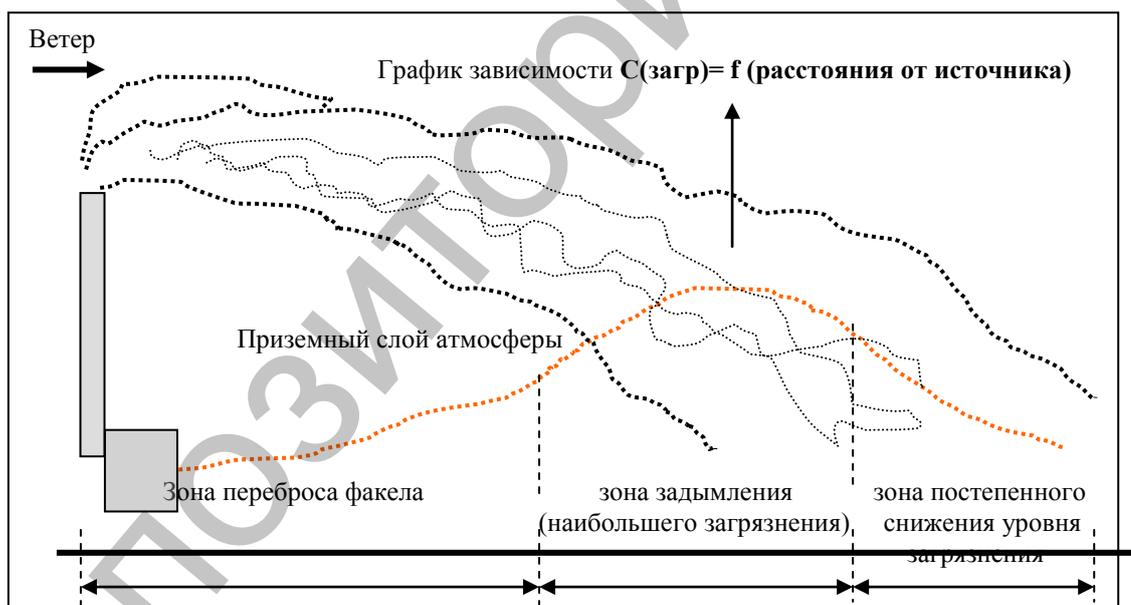
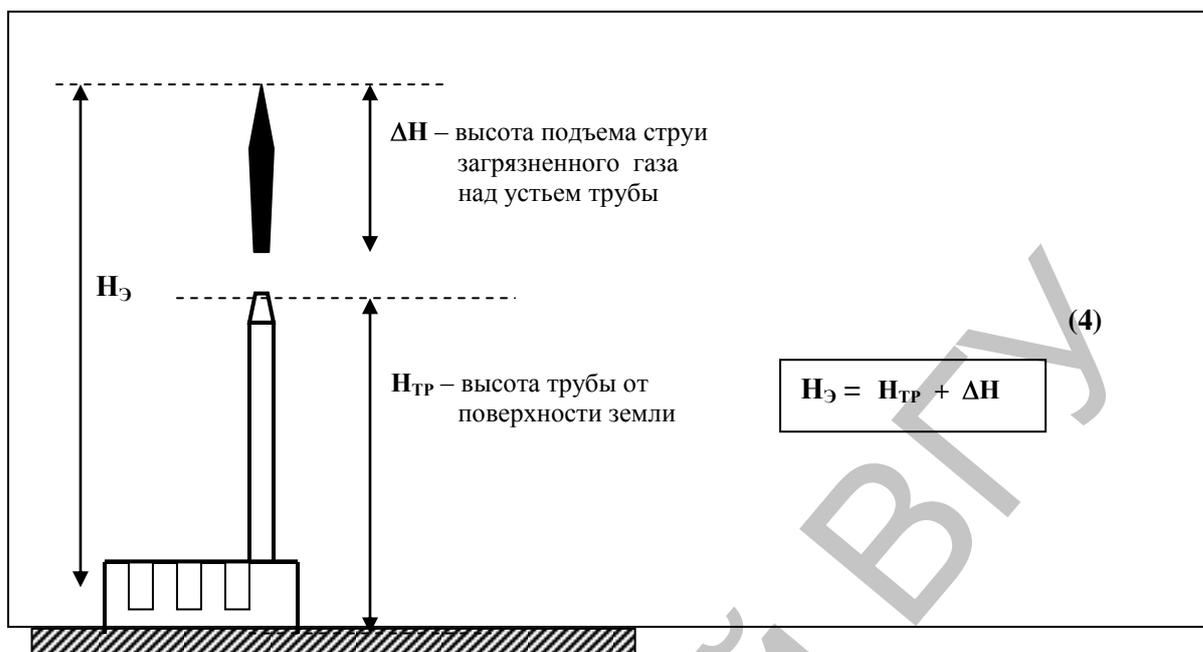


Рис. 1. Схема рассеивания и распределения концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы под факелом высокого и мощного источника выбросов

Выбросы рекомендуется делать на **эффективной высоте $H_{\text{Э}}$** .



Трубы строят как можно выше (180 – 250 м и более). Для повышения скорости истечения газов из устья трубы применяют *факельный способ выброса*, который предусматривает наличие на конце трубы специального устройства (конфузора с направляющими насадками). Эти устройства позволяют увеличить дальность выходящей струи газа. Значение величины ΔH находят по формуле (5):

$$\Delta H = 1,24 \cdot w_0 \cdot \Delta T \cdot D^2 / \sqrt{\rho^3 \cdot T_a} \quad (5)$$

w_0 - начальная скорость газовой смеси в устье трубы,

ΔT - разница температур газов и атмосферного воздуха,

D - диаметр устья трубы, м

u - скорость ветра, м/с

T_a - температура атмосферного воздуха, °С.

Если выбросы холодные, т.е. $\Delta T=0$, то величину ΔH находят по формуле (6):

$$\Delta H = 4,77 \cdot \sqrt{V \cdot w} / \sqrt{\rho + 0,43 \cdot u/w} \quad (6)$$

V – количество газо-воздушной смеси, выбрасываемой в атмосферу, м³/с.

Если предприятие находится вблизи жилых домов (на расстоянии не более 5-кратной высоты зданий), то рекомендуемая эффективная высота выброса должна быть не менее $2,5 \cdot h$ (здания):

$$\Delta H_{эф} \geq 2,5 \cdot h_{здания} \quad (7)$$

Горизонтальное перемещение выбрасываемого газового потока определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное – характером

изменения температуры наружного воздуха в вертикальном направлении вблизи трубы.

Скорость ветра. Ветер – турбулентное движение воздуха над поверхностью земли. Направление и скорость ветра не остаются постоянными, скорость ветра возрастает при увеличении перепада атмосферного давления. *Наибольшее загрязнение атмосферы возможно при слабых ветрах 0-5 м/с при рассеивании выбросов на малых высотах в приземном слое атмосферы.* При выбросах из высоких источников **наименьшее** рассеивание загрязнений имеет место при скоростях ветра 1-7 м/с (в зависимости от скорости выхода струи газа из устья трубы).

Температурная стратификация. Способность поверхности земли поглощать или излучать тепло влияет на вертикальное распределение температуры в атмосфере. В обычных условиях при подъеме вверх на 1 км температура уменьшается на $6,5^{\circ}\text{C}$: градиент температуры равен $6,5^{\circ}/\text{км}$. В реальных условиях могут наблюдаться отклонения от равномерного уменьшения температуры с высотой – **температурная инверсия**. Различают **приземные и приподнятые инверсии**. Приземные характеризуются появлением более теплого слоя воздуха непосредственно у поверхности земли, приподнятые – появлением более теплого слоя воздуха (инверсионного слоя) на некоторой высоте. В инверсионных условиях ухудшается рассеивание загрязнений, они концентрируются в приземном слое атмосферы. При выбросе загрязненного газового потока из высокого источника наибольшее загрязнение воздуха возможно при приподнятой инверсии, нижняя граница которой находится над источником выброса и наиболее опасной скорости ветра 1 – 7 м/с. Для низких источников выбросов наиболее неблагоприятным является сочетание приземной инверсии со слабым ветром.

Рельеф местности. Даже при наличии сравнительно небольших возвышенностей существенно изменяется микроклимат в отдельных районах и характер рассеивания загрязнений. Так в пониженных местах образуются застойные, плохо проветриваемые зоны с повышенной концентрацией загрязнений. Если на пути загрязненного потока находятся здания, то над зданием скорость воздушного потока увеличивается, сразу за зданием – снижается, постепенно увеличиваясь по мере удаления, и на некотором расстоянии от здания скорость потока воздуха принимает первоначальное значение. **Аэродинамическая тень – плохо проветриваемая зона, образующаяся при обтекании здания потоком воздуха.** В зависимости от типа зданий и характера застройки образуются различные зоны с замкнутой циркуляцией воздуха, что может оказывать существенное влияние на распределение загрязнений.

Только низкие источники выбросов, высота которых не превышает высоты крыши здания, **загрязняют циркуляционные зоны зданий.**

Высота источников выбросов $H_{\text{ЗАГР}}$, при которой они загрязняют циркуляционные зоны, определяется из формул (5-7):

для узкого отдельно стоящего здания $N_{ЗАГР} = 0,36 V_3 + 2,5 N_{ЗД}$
(8)

для широкого отдельно стоящего здания $N_{ЗАГР} = 0,36 V_3 + 1,7 N_{ЗД}$
(9)

для группы зданий $N_{ЗАГР} = 0,36 (V_3 + X) + N_{ЗД}$ (10)

V_3 – расстояние от источника выброса до заветренной стороны здания.

2. Сочетание метеорологических параметров, определяющих возможный при заданных выбросах уровень загрязнения атмосферы называют **потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА)**.

Метеорологические условия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание вредных примесей, поступающих в атмосферу. Связь между уровнем загрязнения воздуха и метеорологическими условиями очень сложная. В современных городах изменение содержания вредных веществ в атмосфере происходит под действием мезо-и макромасштабных атмосферных процессов. Наибольшее влияние на рассеивание примесей в атмосфере оказывают режим ветра и температура, в особенности ее стратификация.

Для состояния загрязнения атмосферы в городах большую опасность представляет приземная инверсия температуры в сочетании со слабым ветром, т.е. ситуация застоя воздуха. На формирование уровня загрязнения приземного слоя воздуха оказывают влияние туманы, осадки и радиационный режим.

Анализ целого комплекса метеохарактеристик показывает, что Беларусь относится к регионам со сравнительно малой повторяемостью неблагоприятных погодных условий, которые способствовали бы накоплению вредных веществ в воздушном бассейне городов. Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) на большей части Витебской, Гродненской и Минской областей невысокий и колеблется в пределах 2,1 - 2,3. Здесь в среднем за год наблюдаются наиболее благоприятные условия для рассеивания вредных выбросов от низких источников. Повторяемость ветра скоростью 0-1 м/с. превышает 20%. Приземные инверсии чаще всего наблюдаются в ночное время, повторяемость их в послеполуденное время невелика и только в декабре и январе достигает 7 - 12%. Обращает на себя внимание большое количество штилей при приземных инверсиях, особенно в летний период. Такое сочетание является наиболее неблагоприятным. Однако «смягчающим обстоятельством» служит то, что чаще всего такие сочетания наблюдаются ночью.

Для городов республики характерно относительно большое число дней с туманами, при этом чаще всего туманы наблюдаются при небольшой скорости ветра. Несколько уменьшает опасность таких ситуаций то, что наибольшая повторяемость туманов отмечается в ночное время и утренние часы, а продолжительность их обычно невелика.

Очищению атмосферы благоприятствуют особенности годового хода продолжительности осадков, которые вымывают примеси. Максимум осадков отмечается в летний период при увеличенной повторяемости инверсий в ночные и утренние часы и понижает их неблагоприятное действие. Для зимних месяцев характерна повышенная повторяемость приподнятых инверсий, которые могут способствовать накоплению примесей в приземном слое от высоких источников выбросов. Зимой максимум ПЗА часто усиливается и вследствие увеличения повторяемости туманов. В силу особенностей метеорологического режима повышенный уровень загрязнения воздуха формируется в переходные сезоны. Наибольшая длительность неблагоприятных условий относится к марту и августу-сентябрю. Повышенный ПЗА отмечается также ночью в теплое полугодие.

Южная часть республики (Брестская и Гомельская области) и восточная (Могилевская область) находятся в переходной зоне между районами с низким и умеренным потенциалами загрязнения (ПЗА=2,4 - 2,6). В связи с особенностями климата здесь в разные периоды года могут создаваться примерно одинаковые условия как для рассеивания, так и для накопления примесей в приземном слое воздуха. Повышенный уровень загрязнения атмосферы в городах может отмечаться в основном летом за счет увеличения повторяемости слабых ветров и застойных ситуаций. Для ряда городов, расположенных в этой зоне, более важным является не комплекс неблагоприятных для рассеивания метеоусловий, а, напротив, его ослабление, вызванное сочетанием орографических неудобств (Могилев), мощным промышленным потенциалом (Гомель, Могилев) и планировочными решениями внутри городов. В общем частая смена синоптических ситуаций уменьшает повторяемость длительных периодов повышенного загрязнения воздуха. Однако благоприятные условия не могут обеспечить полного рассеивания выбросов.

В то же время роль метеорологических условий в формировании уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории республики может резко возрастать. Неблагоприятные метеоусловия, обусловившие существенный рост уровня загрязнения воздуха, наблюдались в июле - августе 1992 г., марте - апреле и августе 1996 г., июне - июле 1999 г., мае и октябре 2000 г.

Крайне неблагоприятные метеоусловия сложились в июле, августе и первой декаде сентября 2002 г., когда преобладал антициклональный характер погоды, обусловивший положительную аномалию температуры воздуха и дефицит осадков. Из-за сухой погоды в августе и первой половине сентября (в некоторых районах большую часть месяца) пожарная опасность достигала чрезвычайных явлений. В таких неблагоприятных условиях во многих контролируемых городах республики происходило интенсивное накопление загрязняющих веществ в приземном воздухе, приведшее к возникновению смоговой ситуации.

В этот период лабораториями экологического мониторинга Департамента гидрометеорологии было зафиксировано увеличение концентраций загрязняющих веществ в 1,5-2 раза, в некоторых городах рост средних

концентраций был существеннее. В основном рост уровня загрязнения был характерен для оксидов азота, оксида углерода и взвешенных веществ. Вместе с тем превышения предельно допустимых концентраций были, как правило, кратковременными и не выходили за пределы значений, фиксируемых на сети мониторинга при неблагоприятной метеорологической обстановке. Вместе с тем явления дискомфорта (по визуальным и органолептическим признакам), отмечавшиеся населением городов в смоговый период, были обусловлены специфическими веществами, образующимися при фотохимическом смоге, который был характерен для Беларуси в этот неблагоприятный период. Примером веществ, образующихся при фотохимическом смоге являются пероксиацетилнитрат (ПАН) и озон. ПАН представляет собой органический аэрозоль, являющийся результатом взаимодействия органических соединений с окислами азота. К сожалению, в практике существующего мониторинга не предусмотрены наблюдения за комплексом токсических веществ, образующихся при фотохимическом смоге, ввиду неспецифичности этого явления для Беларуси.

Оценка синоптической ситуации. В зависимости от уровня развития промышленности города, его физико-географического положения и особенностей рельефа метеорологические условия оказывают неодинаковое воздействие на загрязнение воздуха. Выделяют наиболее общие и важные метеорологические факторы, характеризующие условия, способствующие накоплению или рассеиванию вредных примесей в атмосфере:

а) общее развитие синоптических процессов как меру способности проветривания и преобразования выбрасываемых в атмосферу веществ в различных погодных условиях (циркуляционный фактор);

б) толщину слоя перемешивания воздуха, характеризующую термическую и динамическую турбулентность (вертикальное перемешивание);

в) среднюю скорость ветра в слое перемешивания, а при отсутствии этого слоя - скорость ветра у поверхности земли как фактор интенсивности смены воздушных масс.

Если при оценке метеорологической ситуации ожидаются неблагоприятные для рассеивания метеоусловия (НМУ), то составляются предупреждения о повышенном уровне загрязнения воздуха.

Составление предупреждений для отдельных источников. Предупреждения о повышенном загрязнении воздуха для отдельных источников выбросов составляются, когда ожидаются НМУ, при которых максимальные концентрации вредных веществ в воздухе, создаваемые источником или группой источников, могут превышать ПДК. Предупреждения составляются независимо от того, расположен ли источник изолированно или в окружении других источников (табл. 1).

Таблица 1

Неблагоприятные комплексы метеопараметров для основных групп
источников

Характеристика выбросов	Термическая стратификация нижнего слоя атмосферы	Скорость ветра (м/с) на уровне		Вид инверсии, ее высота над источником
		флюгера	выбросов	
Горячие высокие	Неустойчивая	3-7	5-10	Приподнятая (100-300 м)
		Штиль	5-10	
Холодные высокие	Неустойчивая	1-2	2-4	Приподнятая (100-300 м)
		Штиль	2-4	
Низкие	Устойчивая	Штиль южный 2-5	2-5 4-10	Приземная

На основе выполненного анализа проводится объединение источников загрязнения воздуха в несколько групп, каждой из которых соответствуют определенные НМУ:

- а) высокие с горячими выбросами;
- б) высокие с холодными выбросами;
- в) низкие.

Предупреждения передаются по трем степеням опасности, которые соответствуют трем режимам работы предприятий в условиях НМУ.

Предупреждения первой степени опасности, соответствующие 1-му режиму работы предприятия, составляются при следующих ожидаемых НМУ. При этом во многих случаях при оценке неблагоприятных метеоусловий учитываются опасные направления ветра.

Предупреждения второй степени опасности, соответствующие 2-у режиму работы предприятия, составляются в том случае, если ожидаются следующие комплексы неблагоприятных метеоусловий:

- высота слоя перемешивания менее 500 м, но больше высоты источника в сочетании со скоростью ветра, близкой к опасной (Им) для данного источника;
- туман и штиль - для холодных выбросов;
- туман и скорость ветра более 2 м/с - для горячих выбросов;
- штиль в сочетании с приземной инверсией - для низких источников.

Предупреждения третьей степени опасности, соответствующие 3-у режиму работы предприятия, составляются в случае, когда после

передачи предупреждения второй степени опасности поступающая информация показывает, что при сохраняющихся неблагоприятных метеорологических условиях принятые меры не обеспечивают необходимую чистоту атмосферы, при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких вредных веществ выше 5 ПДК.

Составление предупреждений для автотранспортных предприятий. Основанием для передачи предупреждений автотранспортным предприятиям являются ожидаемые неблагоприятные метеоусловия, при которых могут возникнуть относительно высокие уровни загрязнения воздуха, в том числе превышающие ПДК.

Предупреждения составляются при следующих ожидаемых НМУ:

- штиль или слабый ветер (до 2 м/с);
- штиль в сочетании с приземной инверсией;
- туман и штиль или слабый ветер (до 2 м/с).

Составление предупреждений по городу в целом. Основанием для передачи предупреждений о высоком уровне загрязнения воздуха по городу в целом является ожидаемое значение обобщенного показателя (Р). Параметр Р является мерой фонового загрязнения воздуха и меняется под влиянием метеоусловий.

При расчете параметра Р используются данные фактических наблюдений на 10-и стационарных станциях. Параметр Р рассчитывается по следующим вредным веществам: пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, фенол, формальдегид и аммиак. Принцип отбора перечисленных вредных веществ для расчета параметров Р основан на том, что источники их выбросов рассредоточены по всей территории города.

Первому уровню относительно высокого загрязнения воздуха по городу в целом соответствует $0,30 < P < 0,50$, второму уровню $P > 0,50$.

Предупреждение первой степени опасности составляется при фактически наступившем повышенном уровне загрязнения ($0,30 < P < 0,50$), при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше ПДК. **Предупреждения второй степени опасности** составляются в двух случаях:

а) при фактически наступившем высоком уровне загрязнения ($P > 0,50$), притом обнаруживаются концентрации одного или нескольких контролируемых веществ выше 3 ПДК;

б) если после передачи предупреждения первой степени опасности поступающая информация показывает, что принятые меры не обеспечивают необходимую чистоту атмосферы.

Предупреждение третьей степени составляется в том случае, когда после передачи второй степени опасности сохраняется высокий уровень загрязнения атмосферы и ожидается сохранение неблагоприятного комплекса

метеоусловий, при этом обнаруживаются концентрации одного или нескольких контролируемых веществ выше 5 ПДК.

3. Мероприятия по обеспечению охраны атмосферного воздуха городской среды можно условно разделить на следующие группы:

1. организация санитарно-защитных зон;
2. архитектурно-планировочные решения;
3. инженерно-организационные мероприятия;
4. безотходные и малоотходные технологии;
5. технические средства и технологии очистки выбросов.

Санитарно-защитные зоны (СЗЗ).

СЗЗ – это зона пространства и растительности, специально выделенная между промышленным предприятием и районом проживания населения. Она обязательный элемент любого объекта, являющегося источником химического, биологического или физического воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

СЗЗ предназначена для: 1. обеспечения требуемых гигиенических норм содержания в приземном слое атмосферы загрязняющих веществ; 2. уменьшения отрицательного влияния промышленных предприятий, транспортных коммуникаций, линий электропередач на население; 3. создания архитектурно-эстетического барьера между промышленностью и жилыми районами; 4. организации дополнительных зеленых площадей с целью усиления ассимиляции и фильтрации загрязнителей атмосферного воздуха.

Размер СЗЗ до границы жилой застройки следует устанавливать:

- для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками загрязнения атмосферного воздуха – непосредственно от источника загрязнения (труб, шахт, аэрационных фонарей зданий, мест погрузки-разгрузки сырья);

- для предприятий с технологическими процессами, являющимися источниками шума, вибрации, электромагнитных волн, радиочастот – от зданий, сооружений и площадок, где установлено это оборудование;

- для электростанций, котельных – от дымовых труб.

Предприятия с технологическими процессами, не приводящими к выделению в атмосферу загрязняющих веществ, допускается размещать в пределах жилых районов.

Организация СЗЗ. В соответствии с санитарной классификацией промышленных предприятий размеры СЗЗ устанавливаются в пределах от 50 до 2000 м. Для предприятий первого класса опасности – 2000 м, второго класса – 500 м, третьего класса – 300 м, четвертого – 100 м, пятого – 50 м.

Размеры СЗЗ уточняются при расчетах рассеивания пылегазовых выбросов и могут оказаться больше или меньше нормативных. Если расчетный размер СЗЗ больше нормативного, то принимаются меры для снижения объема пылегазовых выбросов или размер СЗЗ устанавливается в соответствии с расчетным. Полученные по расчетам размеры СЗЗ должны

уточняться для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле:

$$L = \frac{L_0 \times P}{P_0},$$

где L – расчетный размер СЗЗ, L_0 – расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация веществ (с учетом фоновой) превышает ПДКс.с, м; P – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба; P_0 – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров, %.

На территории СЗЗ допускается размещение объектов более низкого класса вредности, чем основное производство (склады, гаражи, автостоянки), а также прачечные, бани, пожарные депо, административно-служебные здания, торговые помещения, но не жилые здания.

Территория СЗЗ должна быть благоустроена и озеленена. В соответствии с экологическими требованиями не менее 40% СЗЗ должно быть озеленено. Со стороны селитебной территории надлежит предусматривать полосу древесно-кустарниковых насаждений шириной не менее 50 м, а при ширине зоны до 100м – не менее 20м. В СЗЗ наиболее целесообразно комбинировать посадки деревьев и кустарников в виде зеленых полос шириной 20-30 м через каждые 50-100-200 м в зависимости от ширины СЗЗ. Вблизи предприятий с большим количеством выбросов вредных веществ СЗЗ формируется в виде *аэродинамической системы*, состоящей из зеленых защитных полос и открытых пространств между ними. Полосы целесообразно размещать под углом 80-90° к основному направлению ветра. При этом зона проветривается по многочисленным каналам в горизонтальном направлении. Завихрение воздуха за полосами способствует образованию восходящих потоков и рассеиванию выбросов в наиболее высоких слоях атмосферы. Одновременно защитные полосы и газонные покрытия задерживают пыли и аэрозоли, поглощают вредные газы. Для посадки в СЗЗ используют пылегазоустойчивые породы растений, такие как клен американский, можжевельник казацкий, тополь канадский, крушина ломкая, бузина красная, туя западная и др.

Одна из функций санитарно-защитной зоны – биологическая очистка атмосферного воздуха средствами озеленения. Древесно-кустарниковые насаждения газопоглотительного назначения (**фитофильтры**) способны поглощать газообразные загрязняющие вещества. Например, установлено, что луговая и древесная растительность может связывать 16-90% сернистого газа. Роль отдельных компонентов биоценоза в связывании загрязнений зависит от периода вегетации и фотосинтетической активности, температуры, освещенности, влажности воздуха. Расчет поглотительной способности насаждений рассчитывается по формуле:

$$P = K \cdot U \cdot \frac{T_U}{T_B}$$

P - поглотительная способность 1 га насаждений за вегетацию, кг/га

U – сухая фитомасса листьев и хвои, кг

K – коэффициент физиологически допустимого накопления серы
(лиственные породы - 0,002; хвойные – 0,001)

T_U – время удаления серы из листьев и хвои (10 дней)

T_B – длительность вегетации, дней.

Для насаждений с фитомассой листьев и хвои 5 т/га уровень накопления серы составляет (в кг на 1 га насаждений):

- физиологически допустимый - 150 кг (для лиственного леса), 36 кг (для хвойного леса),
- при слабых повреждениях (до 20%) – 300 кг и 83 кг соответственно,
- при средних повреждениях (40%) - 412 кг и 145 кг соответственно,
- при сильных повреждениях – 720-800 кг и 260 кг соответственно,

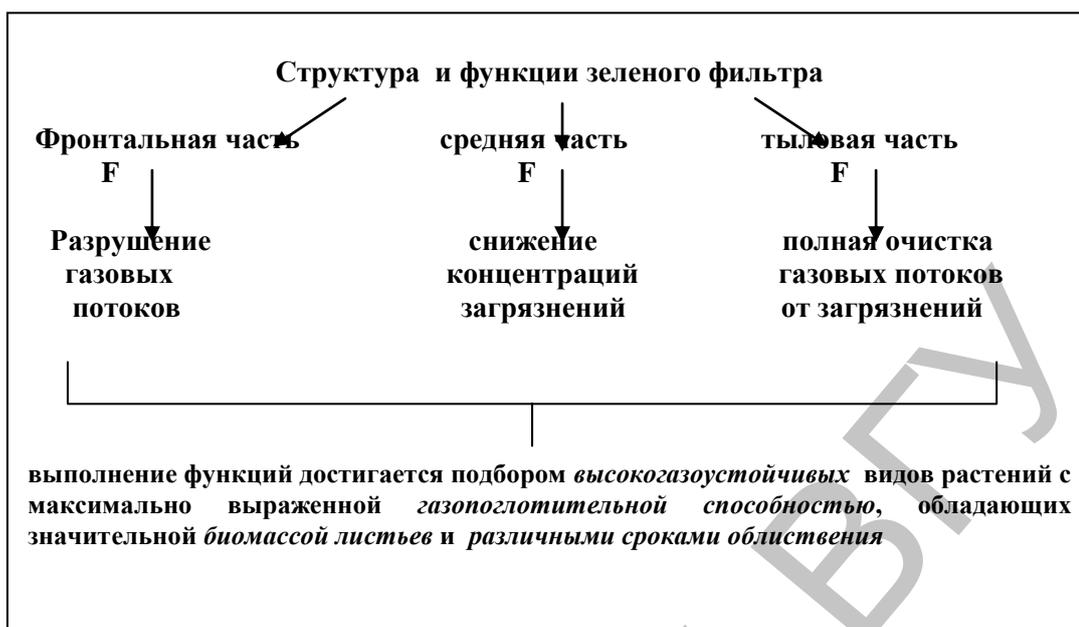
Для растительности определяют **три уровня поглотительной способности**:

1. **физиологический** (недопустимы некрозы и снижение фотосинтетической продуктивности),
2. **биологический** (допускается определенная степень повреждения листьев и хвои, снижение продуктивности и возможная гибель особо чувствительных видов),
3. **максимальный (потенциальный)** (возможна гибель растительности и засоление или отравление почв).

В соответствии с уровнями поглотительной способности коэффициент K в формуле (11) принимает следующие значения:

Уровень поглотительной способности растительности	Лиственные породы	Хвойные породы
физиологический	0,002	0,001
биологический	0,004; 0,006	0,002
максимальный	0,01	0,004

Фронтальная часть зеленого фильтра должна быть представлена групповыми и линейными посадками с коридорами, образующими организованную аэродинамическую систему. Средняя и тыловая части фильтра должны способствовать полному перехвату газообразных загрязнений. Для этой цели рекомендуются семирядные трехъярусные лесные полосы с возрастающей густотой зеленых насаждений. Площадь насаждений в санитарно-защитных зонах зависит от класса промышленного предприятия. Ассортимент растений подбирают в соответствии с



климатическими и почвенными условиями, составом и количествами загрязнений, расстояниями от источников выбросов. Обычно вблизи промышленных предприятий по состоянию растительности выделяют несколько характерных зон. В радиусе 100-500 м погибают многие древесные (в первую очередь хвойные) породы. В этой зоне следует высаживать наиболее устойчивые виды травянистых растений и некоторых кустарников. В радиусе 500 – 1000 м возможно создание устойчивых газонов, защитных полос и других форм насаждений из устойчивых кустарников и древесных пород. В радиусе 1-2 км для озеленения используют среднеустойчивые и даже газочувствительные виды. Устойчивость фитофильтра в некоторых случаях можно повысить путем промывания лиственной массы (полив).

Архитектурно-планировочные мероприятия включают:

- выбор площадки для строительства промышленного предприятия: на ровном, возвышенном, хорошо проветриваемом месте.
- взаимное расположение цехов предприятия должно быть таким, чтобы при направлении ветра в сторону жилых кварталов их выбросы не объединялись. Цеха, выделяющие наиболее загрязняющие ядовитые вещества располагают на краю производственной территории со стороны, противоположенной жилому массиву.
- правильное взаимное размещение источников выброса и населенных мест с учетом направления ветров.
- устройство зеленых зон.

Инженерно-организационные мероприятия:

- снижение интенсивности и организация движения автотранспорта;
- увеличение высоты дымовых труб;
- повышение скорости движения газов в дымовой трубе. Это способствует увеличению начального подъема выбросов, улучшению условий их рассеивания.

Безотходные и малоотходные технологии.

Внедрение безотходных и малоотходных технологий является наиболее перспективным мероприятием, позволяющим: коренным образом снизить уровень загрязнения воздушного бассейна; полнее использовать запасы минеральных ресурсов; обеспечить комплексную переработку первичного сырья и отходов промышленных предприятий; получать дополнительно продукцию и тем самым повысить эффективность народного хозяйства.

Контрольные вопросы:

1. Метеофакторы, обуславливающие горизонтальные и вертикальные перемещения газовых выбросов в атмосфере.
2. Оценка синоптической ситуации в городах. Потенциал загрязнения атмосферы.
3. Составление предупреждений для отдельных источников, города в целом, автотранспорта.
4. Санитарно-защитные зоны: функции и особенности размещения.
5. Оценка поглотительной способности зеленых насаждений. Структура и функции зеленого фильтра.

Лабораторная работа №3

Определение зон рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере

Цель работы: изучить методику определения параметров загрязнения воздушного бассейна от одиночных точечных источников.

Основой выполнения работы являются следующие положения:

- на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере влияют метеорологические параметры скорость и направление ветра, температурная стратификация атмосферы, температура атмосферного воздуха;
- максимальная приземная концентрация от данного источника загрязнения, возникающая при неблагоприятных метеорологических условиях (при опасных скоростях и направлении ветра, высокой температуре атмосферы и её безразличном состоянии) не должна превышать ПДК за границей санитарно-защитной зоны;
- приземная концентрация загрязняющих веществ зависит от параметров источника выброса и состава пылегазовоздушной смеси.
- *стратификация* – учение о слоистом строении атмосферы, учитывается температурный градиент, движение воздуха, различие его состава в разных слоях.

Максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ, C_{\max} , [мг/м³] в атмосфере от одиночного точечного источника выброса

круглого сечения, выбрасывающего нагретую пылегазовоздушную смесь, рассчитывается по формуле:

$$C_{\max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (1)$$

где A - коэффициент зависящий от температуры стратификации атмосферы. Для условий Республики Беларусь $A = 140$.

H - высота источника выброса от земли, [м];

M - интенсивность выброса загрязняющего вещества, [г/с];

F - коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосфере и зависящий от состояния загрязняющих веществ и эффективности пылеулавливания (см. табл.1). Быстрее оседают крупные частицы пыли, большей плотности (ρ_n , г/см³) при малой начальной скорости (W_0), т.к. меньше кинетическая составляющая,

Таблица 1

Значение коэффициентов F

Вещество	Эффективность пылеулавливания, [%]	F
Газообразные выбросы	--	1
Твердые частицы	> 90	2
	75 - 90	2,5
	< 75	3

V_1 - расход (объем выбрасываемой пылегазовоздушной смеси в ед. времени), [м³/с]

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot w_0 \quad (2)$$

где w_0 – скорость выхода, м/с;

D – диаметр трубы, м.

$$\Delta T = T_r - T_B, \quad (3)$$

где T_r - температура газовой смеси, [⁰С]

T_B - температура атмосферного воздуха принимаемая для района расположения предприятия и 13 часов самого жаркого месяца года по СНИП 2.01.01.82 строительная климатология и геофизика (Госстрой СССР; Стройиздат, 1989 год)

η - коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических нарушений. Для одиночного источника при отсутствии рядом стоящих препятствий (высоких зданий, сооружений) $\eta = 1$.

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (4)$$

вводится коэффициент f показывающий изменение скорости на единицу температурного градиента и зависящий от параметров источника выброса (трубы).

Коэффициенты m и n учитывают условия выброса пылевоздушной смеси. m и n зависят от параметров соответственно:

при $f < 100$
$$m = (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})^{-1}$$

m - безразмерный коэффициент, определяющийся по приведенной формуле или графику.

при $V_m \geq 2$
$$n = 1$$

$$1,5 \leq V_m < 2$$

$$n = 0,532 \cdot V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13$$

$$V_m < 0,5$$

$$n = 4,4 \cdot V_m$$

n - безразмерный коэффициент, зависящий от опасной скорости, V_m м/с. Опасная скорость - скорость ветра, при которой предельные концентрации имеют наибольшее значение.

Параметр характеризующий влияние начальной скорости температурного градиента и высоты трубы.

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad (5)$$

где w_0 , [м/с] - скорость выхода газовой смеси из источника выброса (трубы);
 D , [м] - диаметр источника выброса.

Расстояние от источника выброса до точки с максимальной приземной концентрацией рассчитывается по формуле (6):

$$X_{\max} = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H \quad (6)$$

где H , [м] - высота источника выброса.

Вводится параметр d определяемый следующим образом:

при $V_m \leq 0,5$
$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$$

$$0,5 < V_m \leq 2$$

$$d = 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$$

$$V_m > 2$$

$$d = 7 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$$

Величина опасной скорости ветра, V_{\max} , [м/с], соответствующей

полученным значениям C_{\max} и X_{\max} , также зависит от параметра V_m :

$$\begin{aligned} \text{при } V_m \leq 0,5 & \quad V_{\max} = 0,5 \\ 0,5 < V_m \leq 2 & \quad V_{\max} = V_m \\ V_m > 2 & \quad V_{\max} = \sqrt{V_m} \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \end{aligned}$$

Опасность загрязнения атмосферы оценивается показателем j :

$$j = \frac{C_{\max}}{\text{ПДК}} < 1 \quad (7)$$

Результаты расчета записывают в табличной форме (см. табл. 2). Опасность загрязнения атмосферы газообразными веществами с учетом суммирования при одновременном присутствии в атмосфере SO_2 и NO_x .

$$j_{SO_2+NO_x} = \frac{C_{\max,SO_2}}{\text{ПДК}_{SO_2}} + \frac{C_{\max,NO_x}}{\text{ПДК}_{NO_x}} < 1 \quad (8)$$

Таблица 2

Вид записи результатов расчета

Вещество	C_{\max} , [мг/м ³]	X_{\max} , [м]	V_{\max} , [м/с]	j
Зола SO_2 NO_x				
Суммирование $SO_2 + NO_x$		—	—	

По итогам расчета делаются выводы об уровне загрязнения и предлагаются мероприятия по его снижению в случае необходимости.

3. Порядок оформления работы

3.1. Название работы

3.2. Цель работы

3.3. Условие задания

3.4. Что такое C_{\max} , X_{\max} , V_{\max} , j .

3.5. Что учитывает и от чего зависит коэффициент F

4. Контрольные вопросы к работе

1. Для чего определяются X_{\max} и C_{\max} . Понятие санитарной зоны?

2. Как влияют высота и диаметр трубы на X_{\max} и C_{\max} ?

3. Как влияют температурный градиент и начальная скорость газа на площадь рассеивания?

4. Что такое опасная скорость (V_{\max})?
5. От чего зависит F ?
6. Что такое стратификация?

5. Варианты заданий к работе

Исходными данными для расчета являются соответствующие Вашему варианту параметры выброса (см. табл. 3).

Таблица 3

Параметры выброса газообразной смеси

Варианты № пп	H , [м]	D , [м]	w_0 , [м/с]	$T_{Г}$, [°C]	$T_{Б}$, [°C]	M_{SO_2} , [г/с]	$M_{\text{зол}}^*$, [г/с]	M_{NO_x} , [г/с]	ПДК, [мг/м ³]		
									SO_2	Зола	NO_x
1	10	1,4	8	125	25	12,0	15,5	4,2	0,5	0,5	0,085
2	25	1,0	12	100	20	10,0	14,5	3,8	-	-	-
3	28	1,5	15	80	15	30,0	70,6	12,1			
4	18	0,7	16	90	10	25,0	15,0	1,0			
5	15	0,8	21	130	5	16,0	14,0	4,6			
6	23	0,9	16	230	15	21,0	34,0	3,2			
7	28	1,0	12	160	20	6,0	62,0	5,8			
8	32	1,5	9	125	25	15,0	18,9	7,8			
9	20	1,2	10	135	15	42,0	14,1	10,2			
10	24	1,5	14	215	25	19,0	27,2	11,4			
11	25	1,7	9	210	30	18,0	34,5	2,0			
12	30	2,0	6	180	20	5,0	56,7	2,2			
13	23	1,3	11	150	15	16,0	59,4	12,8			
14	19	1,0	14	165	10	7,0	62,1	14,4			
15	18	0,7	19	115	0	21,0	65,3	16,6			
16	35	2,0	9	210	40	32,0	50,0	7,4			
17	40	2,6	5	195	15	28,0	24,0	21,0			
18	38	2,6	8	145	25	14,0	32,0	16,6			
19	24	1,8	13	210	15	12,0	12,8	21,8			
20	19	0,8	18	160	5	10,0	5,6	15,4			

* - при эффективности пылеулавливания > 90%.

Лабораторная работа № 4

Оценка шумового режима автотранспорта по эквивалентному уровню

звука $L_{A \text{ экв}}$ расчетным и графоаналитическим методами в условиях городской среды

Цель работы: овладеть навыками оценки уровня шума автотранспорта расчетным и графоаналитическим методами.

Шумы оценивают эквивалентным уровнем звука $L_{A \text{ экв}}$. Величину этого показателя измеряют шумомером. Однако такие замеры отражают состояние на момент измерений, а не стабильное значение уровня звука. Поэтому чаще применяют расчет по формулам.

Расчетный метод.

Шумовой характеристикой потоков автомобильного транспорта (включая грузовые автомобили, автобусы и троллейбусы) является эквивалентный уровень звука $L_{A \text{ экв}}$, дБА на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспортных средств, рассчитываемый по формуле:

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg Q + 13,3 \lg v + 4 \lg (1+p) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15,$$

где: Q - интенсивность движения автотранспорта, ед/час; v - средняя скорость потока, км/час; p - доля средств грузового и общественного транспорта в потоке, ΔL_{A1} - поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части улицы или дороги, дБА (при асфальтобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = 0$, при цементобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = +3$ дБА); ΔL_{A2} - поправка, учитывающая продольный уклон улицы или дороги, дБА (при продольном уклоне 2-4% и доле грузового и общественного транспорта до 20% ΔL_{A2} составляет от 0,5 до 2,5 дБА).

Графоаналитический метод

С помощью данного метода эквивалентные уровни звука в точке, расположенной в 7,5 м от ближайшей полосы движения, определяют по номограмме (Рис.1). Здесь величина $L_{A \text{ экв}}$ поставлена в зависимость от сочетания парных значений. Вначале скорости движения v , км/ч и процента содержания в потоке грузового и общественного транспорта p (см. шкалы в левой части рисунка). Потом от плотности потока N , авт/ч, и его скорости v (правая часть рисунка).

Задание. Рассчитать эквивалентный уровень звука $L_{A \text{ экв}}$ в различное время суток по формуле и номограмме, по таблицам 1 и 2. Сделать вывод о зависимости шума от скорости и интенсивности автомобильного потока. Сравнить уровень шума с нормами.

Таблица 1

Загруженность автотранспортом улицы Ленина

Время	Тип автомобиля	Число единиц
8.00	Легковой	1092
	Легкий грузовой	192
	Средний грузовой	36
	Тяжелый грузовой	6
	Автобус	72
	Всего	1398
13.00	Легковой	1224
	Легкий грузовой	138
	Средний грузовой	72
	Тяжелый грузовой	6
	Автобус	72
	Всего	1512
18.00	Легковой	1122
	Легкий грузовой	153
	Средний грузовой	54
	Тяжелый грузовой	3
	автобус	57
	Всего	1389
00.00	Легковой	123
	Легкий грузовой	24
	Средний грузовой	12
	Тяжелый грузовой	-
	Автобус	36
	Всего	195

Таблица 2

Загруженность автотранспортом Московского проспекта

Время	Тип автомобиля	Число единиц
8.00	Легковой	774
	Легкий грузовой	168
	Средний грузовой	132
	Тяжелый грузовой	18
	Автобус	60
	Всего	1152
13.00	Легковой	942
	Легкий грузовой	144
	Средний грузовой	60
	Тяжелый грузовой	42
	Автобус	48
	Всего	1236
18.00	Легковой	903
	Легкий грузовой	141
	Средний грузовой	84
	Тяжелый грузовой	42
	Автобус	36
	Всего	1206
00.00	Легковой	87
	Легкий грузовой	21
	Средний грузовой	6

	Тяжелый грузовой	30
	Автобус	12
	Всего	156

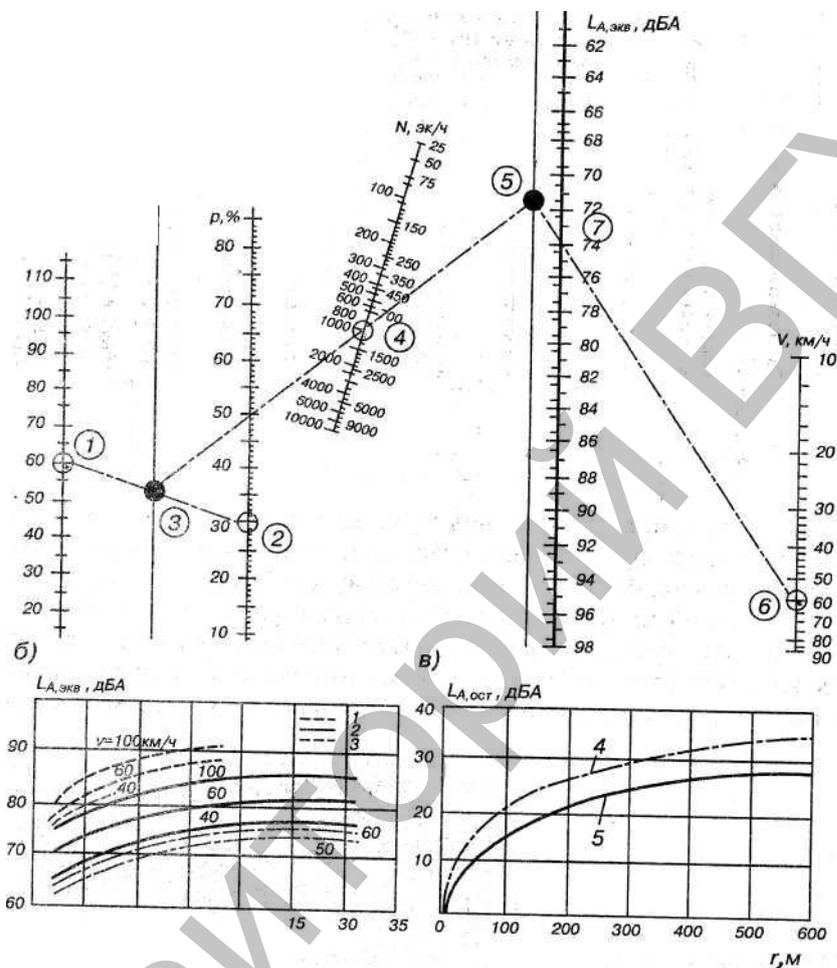


Рис.1. Графический метод расчета уровней звука
а - номограмма для определения эквивалентного уровня звука в 7,5 м от ближайшей полосы движения транспорта; *б* - уровни звука от железнодорожного транспорта на расстоянии 7,5 м от оси рельсового пути; *в* - график зависимости расстояния r , м, проникновения шума на территорию от величины превышения эквивалентного уровня звука над нормативным

Лекция 4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ОСОБЕННОСТИ ИХ КУМУЛЯЦИИ И РЕГЛАМЕНТАЦИИ ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

1. *Промышленная токсикология.*

2. *Санитарно-гигиенические нормативы: нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе рабочих зон и населенных пунктов.*

3. *Производственно-хозяйственные показатели.*

4. *Комплексные нормативы качества.*

5. *Нормирование загрязняющих веществ в водной среде города.*

6. *Нормирование загрязняющих веществ в почве города.*

1. Химические вещества в зависимости от их практического использования классифицируются на:

— промышленные яды, используемые в производстве: например, органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);

— ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;

— лекарственные средства;

— бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т. д.;

— биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов);

— отравляющие вещества (ОВ): зарин, иприт, фосген и др. Ядовитые свойства могут проявить все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении. Однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

К промышленным ядам относится большая группа химических веществ и соединений, которые в виде сырья, промежуточных или готовых продуктов встречаются в производстве.

В организм промышленные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических профессиональных интоксикаций промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости. Бытовые отравления чаще всего возникают при попадании яда в желудочно-кишечный тракт (ядохимикатов, бытовых химикатов, лекарственных веществ). Возможны острые отравления и заболевания при попадании яда непосредственно в кровь, например, при укусах змеями, насекомыми, при инъекциях лекарственных веществ.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями **токсикометрии**, в соответствии с которыми вещества классифицируют на: чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и

малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества, попавшего в организм вещества, его физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (кровью, ферментами). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

Общая токсикологическая классификация вредных веществ приведена в таблице 1.

Таблица 1

Токсикологическая классификация вредных веществ

Общее токсическое воздействие	Токсичные вещества
Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм, удушье, судороги и параличи)	Фосфорорганические инсектициды (хлорофос, карбофос, никотин, ОВ и др.)
Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и некротические изменения в сочетании с общетоксическими резорбтивными явлениями)	Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть (сулема)
Общетоксическое действие (гипоксические судорога, кома, отек мозга, параличи)	Синильная кислота и ее производные, угарный газ, алкоголь и его суррогаты, ОВ
Удушающее действие (токсический отек легких)	Оксиды азота, ОВ
Слезоточивое и раздражающее действие (раздражение наружных слизистых оболочек)	Пары крепких кислот и щелочей, хлор пикрин, ОВ
Психотическое действие (нарушение психической активности, сознания)	Наркотики, атропин

Яды наряду с общей обладают избирательной токсичностью, т. е. они представляют наибольшую опасность для определенного органа или системы организма. По избирательной токсичности выделяют яды:

— сердечные с преимущественным кардиотоксическим действием; к этой группе относят многие лекарственные препараты, растительные яды, соли металлов (бария, калия, кобальта, кадмия);

— нервные, вызывающие нарушение преимущественно психической активности (угарный газ, фосфорорганические соединения, алкоголь и его суррогаты, наркотики, снотворные лекарственные препараты и др.);

— печеночные, среди которых особо следует выделить хлорированные углеводороды, ядовитые грибы, фенолы и альдегиды;

— почечные — соединения тяжелых металлов этиленгликоль, ща-

велевая кислота;

— кровяные — анилин и его производные, нитриты, мышьяковистый водород;

— легочные — оксиды азота, озон, фосген и др.

Показатели токсикометрии и критерии токсичности вредных веществ — это количественные показатели токсичности и опасности вредных веществ. Токсический эффект при действии различных доз и концентраций ядов может проявиться функциональными и структурными (патоморфологическими) изменениями или гибелью организма. В первом случае токсичность принято выражать в виде действующих, пороговых и недействующих доз и концентраций, во втором - в виде смертельных концентраций.

Смертельные, или летальные дозы DL при введении в желудок или в организм другими путями или смертельные концентрации CL могут вызывать единичные случаи гибели (минимальные смертельные) или гибель всех организмов (абсолютно смертельные). В качестве показателей токсичности пользуются **среднесмертельными дозами и концентрациями**: DL_{50} , CL_{50} - это показатели абсолютной токсичности. Среднесмертельная концентрация вещества в воздухе CL_{50} — это концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при 2—4-часовом ингаляционном воздействии ($\text{мг}/\text{м}^3$); среднесмертельная доза при введении в желудок ($\text{мг}/\text{кг}$), обозначается как $DL_{50}^{\text{ж}}$, среднесмертельная доза при нанесении на кожу $DL_{50}^{\text{к}}$.

Степень токсичности вещества определяется отношением $1/DL_{50}$ и $1/CL_{50}$; чем меньше значения токсичности DL_{50} , и CL_{50} , тем выше степень токсичности.

Об опасности ядов можно судить также по значениям порогов вредного действия (однократного, хронического) и порога специфического действия.

Порог вредного действия (однократного или хронического) — это минимальная (пороговая) концентрация (доза) вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения биологических показателей на организменном уровне, выходящие за пределы приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология. Порог однократного действия обозначается Lim_{ac} , порог хронического Lim_{ch} , порог специфического Lim_{sp} .

Опасность вещества - это вероятность возникновения неблагоприятных для здоровья эффектов в реальных условиях производства или применении химических соединений.

Возможность острого отравления может оцениваться коэффициентом опасности внезапного острого ингаляционного отравления (КОВОИО)

$$\text{КОВОИО} = C_{20} / (CL_{50} \lambda),$$

где C_{20} — насыщенная концентрация при температуре 20 °С; λ — коэффициент распределения газа между кровью и воздухом.

При утечке газа или летучего вещества возможность острого отрав-

ления тем выше, чем выше насыщающая концентрация при температуре 20 °С. Если КОВОИО меньше 1 — опасность острого отравления мала, если КОВОИО выражается единицами, десятками и более, существует реальная опасность острого отравления при аварийной утечке промышленного яда, например, для паров этанола КОВОИО меньше 0,001, хлороформа около 7, формальдегида около 600.

Если невозможно определить значение λ , то вычисляют коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО):

$$\text{КВИО} = C_{20}/CL_{50}$$

О реальной опасности развития острого отравления можно судить также по значению зоны острого действия. Зона острого (однократного) токсического действия Z_{ac} — это отношение среднесмертельной концентрации (дозы) вещества CL_{50} к пороговой концентрации (дозе) при однократном воздействии C_{min} : $Z_{ac} = CL_{50}/C_{mi}$. Чем меньше зона, тем больше возможность острого отравления и наоборот. Показателем реальной опасности развития хронической интоксикации является значение зоны хронического действия Z_{ch} , т. е. отношение пороговой концентрации (дозы) при однократном воздействии C_{min} к пороговой концентрации (дозе) при хроническом воздействии Lim_{ch} . Чем больше зона хронического действия, тем выше опасность $Z_{ch} = C_{min}/Lim_{ch}$. Показатели токсикометрии определяют класс опасности вещества, определяющим является тот показатель, который свидетельствует о наибольшей степени опасности. Например, озон, будучи веществом остронаправленного действия, относится к 1-му классу опасности, его ПДК = 0,1 мг/м³; оксид углерода относится также к веществам остронаправленного действия, однако по показателям острой и хронической токсичности для него установлена ПДК = 20 мг/м³, 4-й класс опасности.

Очень важно отметить комбинированное действие вредных веществ на здоровье человека. На производстве и в окружающей среде редко встречается изолированное действие вредных веществ; обычно работающий на производстве подвергается сочетанному действию неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических) или комбинированному влиянию факторов одной природы, чаще ряду химических веществ. Комбинированное действие — это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько типов комбинированного действия ядов в зависимости от эффектов токсичности:

- аддитивного;
- потенцированного;
- антагонистического;
- независимого действия.

Аддитивное действие — это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется. Для

гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия ядов используют уравнение в виде:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – концентрация каждого из веществ, обладающих эффектом суммации, мг/м³; $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_3, \dots, ПДК_n$ – предельно допустимые концентрации этих веществ.

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводородов (бензола и изопропилбензола).

При **потенцированном действии** (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше, больше аддитивного и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях. Однако количественной оценки это явление не получило. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора; алкоголь повышает опасность отравления анилином, ртутью и некоторыми другими промышленными ядами. Явление потенцирования возможно только в случае острого отравления.

Антагонистическое действие — эффект комбинированного действия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект—менее аддитивного. Примером может служить антидотное (обезвреживающее) взаимодействие между эзерином и атропином.

При **независимом действии** комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например бензол и раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли.

Наряду с комбинированным влиянием ядов возможно их комплексное действие, когда яды поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу и т. Д.).

2. Санитарно-гигиенические нормативы – это устанавливаемые в законодательном порядке, обязательные для исполнения всеми ведомствами, органами и организациями допустимые уровни содержания химических и других соединений в объектах окружающей среды. Схема гигиенического нормирования (Рис. 1.) охватывает экологическую, производственную и жилищно-бытовую сферы жизни.

Признаки нормативов качества окружающей среды:

1. объект защиты (древесная растительность, человек).
2. среда, в которой нормируется и контролируется содержание вещества (воздух, вода, почва, биосубстраты человека – кровь, моча, волосы и т.д.).

3. критерий вредности (появление заболевания, снижение продуктивности, пищевой ценности растений).
4. регламентируемая временная характеристика (воздействие в течение всей жизни, рабочего стажа, короткого времени).
5. последствия («цена норматива») к которым может привести отсутствие, превышение допустимого уровня.

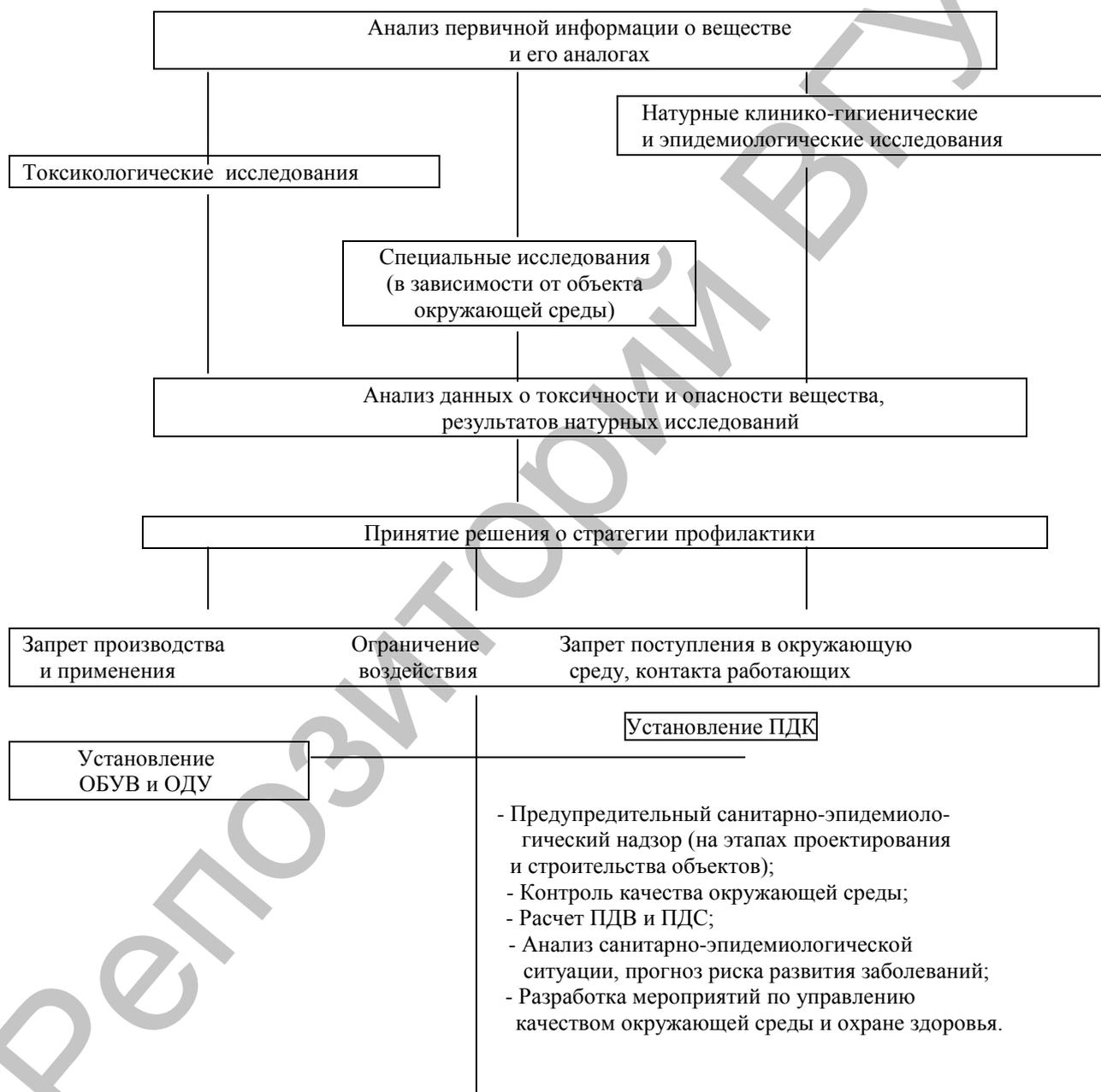


Рис. 1. Схема гигиенического нормирования содержания химических веществ в объектах окружающей среды

Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Основным критерием качества окружающей среды являются гигиенические ПДК. При нормировании химических соединений учитываются различные виды неблагоприятных воздействий (влияние на органолептические показатели, рефлекторное действие, условия проживания, изменения прозрачности атмосферы, возможность миграции из одной среды в другую). На основе этого установление окончательной величины ПДК проводится на основе принципа лимитирующего показателя вредности: величина норматива выбирается на уровне меньшей из значений концентраций, установленных по различным критериям вредности – принцип учета «слабого звена».

Методологические основы гигиенического нормирования атмосферного воздуха:

1). Допустимой признается только та концентрация химического вещества в атмосфере, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного либо неприятного действия; не влияет на самочувствие и работоспособность.

2) Привыкание к вредным веществам, находящимся в атмосферном воздухе, рассматривается как неблагоприятный эффект.

3). Концентрации химических веществ в атмосфере, которые неблагоприятно действуют на растительность, климат, прозрачность атмосферы и бытовые условия жизни – считаются недопустимыми.

Нормирование уровня загрязнения в населенном пункте.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных мест — максимальные концентрации, отнесенные к определенному периоду осреднения (30 мин, 24 ч, 1 мес, 1 год) и не оказывающие при регламентированной вероятности их появления ни прямого, ни косвенного вредного воздействия на организм человека, включая отдаленные последствия для настоящего и последующих

Максимальная (разовая) концентрация ПДК_{м.р.} — наиболее высокая из числа 30-минутных концентраций, зарегистрированных в данной точке за определенный период наблюдения. В основу установления максимальной разовой ПДК положен принцип предотвращения рефлекторных реакций у человека.

Среднесуточная концентрация ПДК_{с.с.} — средняя из числа концентраций, выявленных в течение суток или отбираемая непрерывно в < течение 24 ч. В основу определения среднесуточной концентрации положен принцип предотвращения резорбтивного (общетоксического) действия на организм.

Если порог токсического действия для какого-то вещества оказывается менее чувствительным, то решающим в обосновании ПДК является порог рефлекторного воздействия как наиболее чувствительный. В подобных случаях ПДК_{м.р.} > ПДК_{с.с.}, например, для бензина и акролеина. Если же порог рефлекторного действия менее чувствителен, чем порог токсического действия, то принимают ПДК_{м.р.} = ПДК_{с.с.} Существует группа веществ, у которых отсутствует порог рефлекторного действия (мышьяк, марганец и др.)

или он выражен недостаточно четко [оксид ванадия (V)]. Для таких веществ ПДК_{м.р.} не нормируется, а устанавливается лишь ПДК_{с.с.}

Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе рабочих зон

Для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ применяют гигиеническое нормирование их содержания в различных средах. В связи с тем, что требование полного отсутствия промышленных ядов в зоне дыхания работающих часто невыполнимо, особую значимость приобретает *гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны*. Такая регламентация в настоящее время проводится в три этапа: 1) обоснование ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ); 2) обоснование ПДК; 3) корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья. Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны, атмосфере населенных мест, в воде, почве.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия устанавливают временно, на период, предшествующий проектированию производства. Значение ОБУВ определяется путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяции и экстраполяции в гомологических рядах (близких по строению) соединений или по показателям острой токсичности. ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утверждения.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны — это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в продолжение 8 ч или при другой длительности, но не превышающей 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующего поколений.

Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия Lim_{ch} , в который вводится коэффициент запаса K_3 : $ПДК = Lim_{ch} / K_3$.

ПДК устанавливают на уровне в 2—3 раза более низком, чем Lim_{ch} . При обосновании коэффициента запаса учитывают КВИО, выраженные кумулятивные свойства, возможность кожно-резорбтивного действия, чем они значительнее, тем больше избираемый коэффициент запаса. При выявлении специфического действия — мутагенного, канцерогенного, sensibilizing — принимают наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более).

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимально разовые ПДК_{м.р.}. Превышение их даже в течение короткого времени запрещалось. В последнее время для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (меди, ртути, свинца и др.) для гигиенического контроля введена вторая величина — среднесуточная концентрация ПДК_{с.с.}. Это средняя концентрация, полученная путем непрерывного или прерывистого отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены, или средневзвешенная концентрация в

течение смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания. Для веществ, обладающих кожно-резорбтивным действием, обосновывается предельно допустимый уровень загрязнения кожи (мг/см²).

1. **Производственно-хозяйственные показатели** (нормативы) качества устанавливают требования к источнику вредного действия, ограничивая его деятельность определенной пороговой величиной: ПДВ (предельно допустимый выброс). ПДВ определяют по каждому источнику выбросов, которых может быть несколько на предприятии. В таблице 2 приведены значения ПДВ для расчетов продуктов сгорания.

При расчете ПДВ учитывают фоновые концентрации вредных веществ в воздухе и концентрации остальных источников загрязнения, сумма которых должна быть меньше или равна 1. При совместном присутствии в воздухе нескольких веществ с однонаправленным воздействием, учитывается принцип суммации. При проектировании предприятий, там, где воздух уже загрязнен выбросами действующих предприятий, нормировать их выбросы необходимо с учетом присутствующих в воздухе примесей. Для предприятия устанавливаются предполагаемые уровни выброса – в точке выброса «на конце трубы» и производятся расчеты ожидаемого перемешивания воздуха с определением ПДК в контрольных точках в приземном слое воздуха на всей территории. Если концентрация загрязняющего вещества хотя бы в одной контрольной точки оказывается выше ПДК, то предполагаемую величину выброса уменьшают. Эти расчетные циклы продолжаются до тех пор, пока не достигается желаемая концентрация.

Таблица 2

Расчет продуктов сгорания

<u>Для нагретого выброса</u>	<u>Для холодного выброса</u>	<u>Для нескольких источников выброса</u>
$\dot{M} \hat{E} = \frac{\dot{I}^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}$	$8 \dot{M} \hat{E} = \frac{H^2 \cdot \sqrt[3]{H \cdot V_1}}{A_1 \cdot F \cdot n \cdot D}$	$\dot{M} \hat{E} = \frac{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_c \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}$
<p>$V_c = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$, где H – высота источника выброса над земной поверхностью, м; V_1 – объемный расход газовой смеси, м³/с; ΔT – разность температур выбрасываемых газов и воздуха, °С; A – коэффициент распределения температуры воздуха, F – коэффициент скорости оседания вредных веществ в воздухе; m и n – коэффициенты условий выхода газовой смеси из устья источника; A_1 – коэффициент распределения температуры воздуха при холодном выбросе; D – диаметр устья источника, м; V_c – суммарный объем газовой смеси, м³/с; V_1, V_2, \dots, V_n – объем газа, выбрасываемого каждым источником, м³/с.</p>		

4. Комплексные нормативы качества можно разделить на две большие группы: ПДН (предельно-допустимые нормы нагрузки) и нормативы санитарно-защитных зон.

ПДН – допустимые размеры антропогенного воздействия на природные ресурсы или природные комплексы, не приводящие к нарушению экологических функций природной среды. Цель разработки и применения норм ПДН – обеспечение рационального сочетания хозяйственной и рекреационной деятельности с охраной природы. Различают отраслевые и региональные нормы ПДН.

1. Отраслевые нормы ПДН, относятся к отдельным видам природных ресурсов: оптимальное число охотников, приходящихся на число диких животных или единицу охотничьих угодий; предельные нормы посетителей, пребывающих на экскурсию в заповедник.

2. Региональные нормы ПДН разрабатываются с учетом хозяйственной деятельности или рекреационной нагрузки на природные комплексы. Экологические ограничения на использование водных, лесных, почвенных и др. ресурсов.

Нормативы ПДН утверждаются и разрабатываются отраслевыми или местными экологическими организациями. Такие нормы определяются с учетом научных рекомендаций. Они могут меняться в ту или иную сторону в зависимости от состояния окружающей природной среды.

5. Особенности нормирования загрязняющих веществ в водной среде обусловлены следующими факторами:

1). С гигиенических позиций оценивается уровень загрязнения воды, предназначенной для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения.

2). Нормативы качества воды распространяются не на весь водный объект, только на пункты водопользования населения.

3). При нормировании учитываются: санитарно-токсикологический показатель вредности (учитывает влияние химических загрязнителей на организм), органолептический (влияние на органолептические свойства воды), общесанитарный (влияние на процессы самоочищения воды).

4). Для водных объектов, используемых населением, устанавливаются единые гигиенические нормативы ПДК, ОДУ (ориентировочно допустимый уровень), ПДН.

5). Одновременно с ПДК устанавливается другой ограничительный норматив – лимитирующий показатель вредности (ЛПВ). ЛПВ – признак вредности, который проявляется при наименьшей концентрации вещества. В водных объектах коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования различают три ЛПВ – органолептический, общесанитарный и санитарно-токсикологический. В водных объектах рыбохозяйственного водопользования, кроме названных, выделяют еще два ЛПВ — токсикологический и рыбохозяйственный.

6). Для веществ загрязняющих воду, как и для атмосферы,

установлено отдельное нормирование качества воды, однако принцип разделения здесь иной, связан с категорией водопользования.

7). При оценке качества воды в водоемах коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования учитывают также *класс опасности вещества*. Его определяют в зависимости от токсичности, кумулятивности, мутагенности и ЛПВ вещества. Различают четыре класса опасности веществ: первый — чрезвычайно опасные; второй — высокоопасные; третий — опасные; четвертый — умеренно опасные.

При оценке качества воды учитывается *принцип аддитивности* — однонаправленного действия. В соответствии с этим принципом принадлежность нескольких веществ к одному и тому же ЛПВ проявляется в суммировании их негативного воздействия.

С учетом сказанного оценка качества воды с точки зрения экологической безопасности водопользования производится по следующей методике.

Водные объекты считаются пригодными для коммунально-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования, если одновременно выполняются следующие условия:

не нарушаются общие требования к составу и свойствам воды для соответствующей категории водопользования;

для веществ, принадлежащих к третьему и четвертому классам опасности, выполняется условие:

$$C \leq ПДК ,$$

где C — концентрация вещества в водном объекте, г/м³

для веществ, принадлежащих к первому и второму классам опасности, выполняется условие:

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1 ,$$

где C_i и $ПДК_i$ соответственно концентрация и ПДК i -го вещества первого или второго класса опасности.

Водные объекты считаются пригодными для рыбохозяйственного водопользования, если одновременно выполняются следующие условия:

не нарушены общие требования к составу и свойствам воды для соответствующей рыбохозяйственной категории;

для веществ, принадлежащих к одинаковому ЛПВ, выполняется условие,

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1$$

где C_i и $ПДК_i$ соответственно концентрация и ПДК i -го вещества, принадлежащего к данному ЛПВ.

6. Нормирование загрязняющих веществ в почве. Основные положения теории и практики гигиенического нормирования содержания вредных веществ в почве заключается в следующем:

1. Поступление экзогенных химических веществ в почву не всегда следует рассматривать как опасное для здоровья человека и окружающей среды.

2. Безопасность поступления химических веществ в почву определяется недопустимостью превышения адаптационной возможности самых чувствительных групп населения или порога самоочищающей (экологической) способности почвы.

3. Нормативы основываются на данных, полученных в экстремальных почвенно-климатических условиях (максимальная миграция вещества в контактирующие с почвой среды) с учетом влияния на процессы самоочищения и микробиоценоза.

4. Гигиенические нормативы устанавливаются с учетом лимитирующего показателя вредности: общесанитарного (влияние на процессы самоочищения почвы), водно-миграционного, воздушно-миграционного (переход из почвы в воду или воздух), органолептического (изменение запаха, привкуса, пищевой ценности фитотест-растений), фитоаккумуляционного (переход и накопление в растениях) и санитарно-токсикологического. Санитарно-токсикологический норматив учитывает возможность поступления веществ, содержащихся в почве, в организм человека одновременно несколькими путями: с пылью, вдыхаемым атмосферным воздухом, питьевой водой, продуктами питания и др.

5. Учитывая чрезвычайную вариабельность климатогеографических условий формирования почв, экспериментально обоснованную ПДК рассматривают как эталонную величину отсчета, используемую для оценки опасности загрязнения почвы в конкретных почвенно-климатических условиях.

Нормирование загрязняющих веществ в почве проводят по трем направлениям:

1. Нормирование содержания пестицидов (химических средств защиты растений) в пахотном слое почвы сельскохозяйственных угодий.

2. Нормирование накопления токсичных веществ на территории предприятия.

3. Нормирование загрязненности почвы в жилых районах, главным образом в местах временного хранения бытовых отходов.

Загрязняющие вещества в пахотном слое почвы нормируются по двум показателям: *предельно допустимым* (ПДКп) и *временно допустимым концентрациям* (ВДКп).

Предельнодопустимые концентрации загрязняющего вещества в почве — это максимальное его количество (мг/кг пахотного слоя абсолютно сухой почвы), установленное в экстремальных почвенно-климатических условиях, которое гарантирует отсутствие отрицательного прямого или опосредованного через контактирующие с почвой среды воздействия на здоровье человека, его

потомство и санитарные условия жизни.

ПДКп устанавливают, используя данные о фоновых концентрациях загрязняющих веществ, их физико-химических свойствах, параметрах стойкости, токсичности. На основе эксперимента устанавливают: — допустимую концентрацию загрязняющего вещества в почве, при которой его содержание в пищевых и кормовых растениях не превысит некоторых *допустимых остаточных количеств* (ДОК) или ПДК в продуктах питания (ПДКпр);

— допустимую (для летучих веществ) концентрацию, при которой поступление вещества в воздух не превысит установленных ПДК для атмосферного воздуха (ПДК а. в.);

— допустимую концентрацию, при которой поступление вещества в грунтовые воды не превысит ПДК для водных объектов;

— допустимую концентрацию, которая не влияет на микроорганизмы и процессы самоочищения почвы.

Различают четыре разновидности ПДКп в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ — транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА — миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ — миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС — общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

Много химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов и отходов промышленных предприятий, металлургии, машиностроения, относятся к I и II классам опасности (Табл.3)

Таблица 3

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

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

Комплексные гигиенические показатели, к ним относятся:

— санитарно-физико-химические оценки, относящиеся в основном к почвенным фильтрам (санитарное число, кислотность, биохимическое потребление кислорода, окисляемость, содержание хлоридов, сульфатов и др.);

— санитарно-энтомологические оценки — синантропных (связанных с жильем и бытом) насекомых, в первую очередь мух, во всех фазах их развития (взрослые особи, личинки куколок);

—санитарно-гельминтологические оценки, характеризующие наличие в почве в местах, посещаемых населением, гельминтов (червей, паразитирующих в органах человека, животных и растений, и т. Д.);

— санитарно-бактериологические оценки, включая наличие бактерий кишечной группы, а также других микроорганизмов, вызывающих заболевания человека и домашних животных.

Таблица 4

Комплексные гигиенические показатели санитарного состояния почвы

Оценка качества почвы	Наименование показателей				
	личинки и куколки мух в 0,25 м ³ почвы, экз.	Яйца гельминтов в 1 кг почвы/ экз.	Коли-титр	Титр анаэробных бактерий	Санитарное число
Чистая	0	0	1 и более	0,1 и более	0,98-1,0
Слабо загрязненная	Единично	до 10	1-0,01	0,1-0,001	0,85-0,98
Загрязненная	10-25	11-100	0,01-0,001	0,001-0,00001	0,70-0,80
Сильно загрязненная	Более 25	Более 100	0,001 и более	0,00001 и менее	0,70 и менее

Нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям (ПДК_п). Это концентрация химического вещества (мг) в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. По своей величине ПДК_п значительно отличается от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха. Это отличие объясняется тем, что поступление вредных веществ в организм непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях в незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (воздух, воду, растения).

Для оценки содержания вредных веществ в почве проводят отбор проб на участке площадью 25 м² в 3...5 точках по диагонали с глубины 0,25 м, а при выяснении влияния загрязнений на грунтовые воды — с глубины 0,75...2 м в количестве 0,2... 1 кг. В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют ПДК_п, рассчитывают временные допустимые концентрации

$$ВДК_{п} = 1,23 + 0,48 ПДК_{пр},$$

где ПДК_п — предельно допустимая концентрация для продуктов питания (овощных и плодовых культур), мг/кг.

Уровень загрязнения почв характеризуется величиной коэффициента концентрации K_{C_i} , которую определяют из соотношения:

$$K_{Ci} = \frac{C_i}{C_{\Phi i}},$$

где C_i – концентрация загрязняющего вещества в почве; $C_{\Phi i}$ – фоновая концентрация загрязняющего вещества, мг/кг почвы.

Загрязнение обычно бывает полиэлементным, и для его оценки рассчитывают суммарный показатель загрязнения, представляющий собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентраций над фоновым:

$$Z_c = \sum K_{Ci} - (n - 1),$$

где K_{Ci} – коэффициент концентрации элемента; n – число элементов с $K_{Ci} > 1$.

Величину суммарного показателя загрязнения почв используют для оценки уровня опасности загрязнения территории города. Значение данного показателя до 16 соответствует допустимому уровню опасности для здоровья населения; от 16 до 32 – умеренно опасному; от 32 до 128 – опасному; более 128 – чрезвычайно опасному.

Контрольные вопросы:

1. Основные понятия промышленной токсикологии.
2. Оценка качества окружающей среды при комбинированном воздействии загрязняющих веществ.
3. Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе рабочих зон.
4. Нормирование загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенного пункта.
5. В каких случаях: ПДКм.р. не нормируется, а устанавливается лишь ПДКс.с.; ПДКм.р. < ПДКс.с.; ПДКм.р. > ПДКс.с.
6. Используемые лимитирующие показатели вредности при гигиеническом нормировании почвенной и водной сред.
7. Принципы нормирования водной среды.
8. Особенности нормирования почвенной среды.

Лабораторная работа № 5

Исследование воздуха на содержание пыли вне и внутри жилого помещения

Цель: овладеть методами оценки запыленности воздуха вне и внутри жилого помещения.

Способы определения пыли. Для характеристики чистоты воздуха важное значение имеет определение количества и качества содержащейся в нем пыли. При качественной оценке пыли учитывают: размеры пылинок, плотность, морфологическое строение, химический и минералогический состав.

Седиментационные методы – методы осаждения пыли из воздуха путем естественного оседания на определенную площадь. Применяются для характеристики атмосферного воздуха.

Аспирационные методы – методы, основанные на определении весового содержания пыли из определенного объема воздуха посредством просасывания через фильтры. Они более точные и применяются при определении запыленности воздуха в закрытых помещениях.

Количественные методы определения пыли.

Седиментационный метод. Этот метод позволяет легко установить общую запыленность воздуха, разницу в запыленности воздуха отдельных районов, направление и дальность распространения аэрозолей от источника загрязнения. Метод заключается в том, что оседающая из воздуха пыль собирается со строго определенной поверхности за определенный период времени. Обычно для этого применяют стеклянные банки, с диаметром отверстия 15-20 см и высотой 25-30 см, которые устанавливают в открытых сверху ящиках со стенками высотой 0,6-0,5 м на крышах домов и столбах высотой 3 м в различных участках города (например: на предприятии, в 0,5 км от него с наветренной и подветренной стороны). Банки через 1-2 недели заменяют новыми и таким образом пыль собирается в течение определенного периода: 15-30 суток. Собранные пробы пыли взвешивают и затем вычисляют, сколько оседает пыли в граммах на 1 м² поверхности за 24 часа или на 1 км² за один год в тоннах.

Оценка результатов. Количество пыли в атмосферном воздухе населенных пунктов, не загрязняемых промышленными выбросами, не должно превышать 50 т/км² в год, в промышленных центрах – 200 т/км².

Аспирационный метод. Производят фильтрацию определенного объема воздуха (примерно 100 л) через пористые вещества (гигроскопическая или стеклянная вата) с последующим взвешиванием задержанной пыли и вычислением количества ее в мг на 1 м³ воздуха.

Оценка степени запыленности воздуха. Для этого пользуются следующими критериями.

- В городах количество пыли в атмосферном воздухе в среднесуточных пробах не должно превышать 0,15 мг/м³, а в максимально разовых – 0,5 мг/м³.

- В жилых помещениях количество пыли в воздухе колеблется в зависимости от условий в широких пределах, но оно не должно превышать $0,15 \text{ мг/м}^3$.

- В производственных условиях количество нетоксической пыли в воздухе рабочей зоны допускается до 10 мг/м^3 , за исключением асбестовой пыли и пыли, содержащей кварц в количестве более 10%, для которых, ПДК установлено 2 мг/м^3 . Для токсической пыли установлены особые нормы.

Качественный анализ пыли.

Важной характеристикой является *степень дисперсности пылевых частиц*, от которой зависит продолжительность пребывания их в воздухе и способность проникновения в легкие. Чем меньше размеры пылинок, тем дольше они остаются в воздухе во взвешенном состоянии, и следовательно, повышают возможность попадания пыли в дыхательные пути. Наибольшее санитарное значение имеют частицы размером менее 10 мк, в легочные альвеолы проникают и задерживаются частицы пыли размером 0,3-0,5 мк.

Задание. Определить размер пылевых частиц, оценить пыль в отношении дисперсности, составив пылевую формулу по итогам микрокопирования.

Ход работы.

1. Приготовить препарат пыли. Для этого специально осаждают пыль из воздуха на покровные стекла, смазанные липкой лентой.

2. Определить под микроскопом с иммерсией размеры 100 пылевых частиц при помощи окулярного микрометра.

3. Измеренные пылевые частицы распределить в зависимости от размеров по группам: до 2, 2-4, 4-6, 6-10, свыше 10 мк.

4. Составить пылевую формулу, характеризующую данную пыль в отношении дисперсности. Для этого абсолютные числа каждой группы выражают в процентах к общей сумме измеренных пылевых частиц.

5. Сделать выводы. При качественной оценке пыли, обратить внимание на форму пылевых частиц. Асбестовая пыль имеет игольчатую форму. Она обладает канцерогенными свойствами, за счет игольчатой формы способна убивать клетки.

Лекция 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

1. *Основные источники загрязнения и экология воздушной среды.*

2. *Использование и экология природных вод урбоэкосистем.*

3. *Образование и удаление отходов с городских территорий.*

1. **Основными источниками загрязнения** атмосферного воздуха на территории Беларуси являются: автотранспорт; объекты энергетики; промышленные предприятия. В 2003 г. выброшено в атмосферу 1327,5 тыс. т.

загрязняющих веществ. Большая часть из них произведена передвижными источниками (прежде всего автотранспортом) - 955,3 тыс. т. (72%). На долю стационарных источников пришлось 28% выбросов - 372,2 тыс. т (таблица 1). Выбросы загрязняющих веществ на одного жителя республики составили 134,7 кг.

В составе выбросов в атмосферу преобладают оксид углерода - 55,2%, углеводороды - 18,6% и оксиды азота - 10,6%. Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (87,0%) и оксидов азота (60,2%) обусловлена работой автотранспорта. Выбросы свинца автотранспортом практически отсутствуют, поскольку этилированный бензин в Беларуси с 1997 г. не производится и не импортируется.

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на территории Беларуси в 2003 г. (в тыс. т)

Регион, область	Источник*	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды (с ЛОС)	Твердые вещества	Всего	± по сравнению с 2002 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Брестская	С	106,0	11,2	17,4	29,1	11,2	175,8	-5,8
	П	9,4	5,4	4,2	2,6	7,0	29,5	-3,0
	S	96,6	5,8	13,2	26,5	4,2	146,3	-2,8
Витебская	С	92,4	29,9	26,6	53,5	9,9	212,9	-3,3
	П	16,4	25,0	15,6	32,1	6,3	96,0	-3,5
	S	76,0	4,9	11,0	21,4	3,6	116,9	+0,2
Гомельская	С	112,5	35,0	23,9	41,8	8,5	225,3	-1,5
	П	19,6	29,6	11,5	16,6	4,6	85,5	+0,4
	S	92,9	5,4	12,4	25,2	3,9	139,8	-1,9
Гродненская	С	91,2	7,4	16,4	23,4	9,3	149,9	+5,3
	П	12,0	3,1	6,2	2,4	6,2	32,1	+0,2
	S	79,2	4,3	10,2	21,0	3,1	117,8	+5,1
Минская (включая г.Минск)	С	259,4	33,5	42,5	73,5	20,8	433,0	+27,9
	П	28,6	21,3	13,2	12,9	11,9	91,2	+2,0
	S	230,8	12,2	29,3	60,6	8,9	341,8	+25,9
Могилевская	С	71,0	9,3	13,4	26,1	9,0	130,6	-4,1
	П	9,5	5,7	5,1	9,4	6,4	37,9	-5,0
	S	61,5	3,6	8,3	16,7	2,6	92,7	+0,9
Республика Беларусь	С	732,5	126,4	140,1	247,5	68,6	1327,5	+18,6
	П	95,5	90,2	55,7	76,1	42,3	372,2	-8,8
	S	637,0	36,2	84,4	171,4	26,3	955,3	+27,4

*С - стационарные источники, П - передвижные источники, S - общая сумма выбросов.

Пространственная структура выбросов загрязняющих веществ на территории Беларуси неоднородна. Среди областей республики наибольшее количество загрязняющих веществ выброшено на территории Минской

области и г. Минск - 433,0 тыс. т, наименьшее - Могилевской - 130,6 тыс. т. На каждого жителя Минской области приходится 149,3 кг. загрязняющих веществ, города Минска - 119,8 кг. Среди городов Беларуси по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников выделяются Новополоцк (52,0 тыс. т) и Минск (35,9 тыс. т). В 12 городах вклад формальдегида в суммарное загрязнение воздуха составлял до 70%.

Анализ данных об объемах выбросов за последние десятилетия свидетельствуют о хорошо выраженной тенденции к их снижению (В.Ф.Логинов, 2002). Пик объема выбросов приходится на конец 80-х годов, после чего наблюдается постепенное его снижение. При этом тенденции изменения объемов выбросов от стационарных и передвижных источников несколько различаются. Для стационарных источников характерно постепенное снижение объемов выбросов (за 25-летний период более чем 4-кратное уменьшение). Такая закономерность связана, прежде всего, с переводом энергетики с твердых и жидких видов топлива на природный газ и выполнением природоохранных мероприятий: закрытием или реконструкцией устаревших производств, строительством воздухоочистных сооружений и др. В начале 90-х годов одной из причин уменьшения объемов выбросов явился спад промышленного производства.

Иная динамика характерна для выбросов, обусловленных работой передвижных источников. До конца 80-х годов наблюдалось постепенное повышение объемов выбросов, что обусловлено ростом автопарка в стране, а с начала 90-х годов четко прослеживается тенденция к постепенному снижению объемов выбросов загрязняющих веществ, что связано с увеличением доли в транспортных потоках машин иностранного производства со значительно меньшими удельными расходами топлива на километр пробега по сравнению с российскими и украинскими.

Оценку состояния загрязнения атмосферного воздуха городов Беларуси производят с использованием среднесуточных и максимально разовых ПДК. Для оценки степени суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ используется комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Расчет ИЗА для одного вещества производят по формуле:

$$I_i = \frac{q_{cp.i}}{ПДК_{с.с.i}} K_i,$$

где $q_{cp.i}$ – среднегодовая концентрация i -го вещества, $ПДК_{с.с.i}$ – его среднесуточная предельно допустимая концентрация, K_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы.

Значения K_i равны соответственно 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 соответственно для 4,3,2 и 1 классов опасности вещества.

Комплексный ИЗА, учитывающий массу веществ, присутствующих в атмосфере, рассчитывается по формуле:

$$I(m) = \sum_{i=1}^m (q_{\text{ср.и.}} / \text{ПДК}_{\text{с.и.}}) K_i$$

В соответствии с существующими методами оценки среднегодового уровня, загрязнение считается низким, если ИЗА ≤ 5 , повышенным при $5 < \text{ИЗА} < 7$, высоким при $7 \leq \text{ИЗА} < 14$ и очень высоким при $\text{ИЗА} \geq 14$.

Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на 2003г. Наибольшее количество загрязняющих веществ выброшено в атмосферу стационарными источниками Витебской области (25,8% общего объема выбросов), наименьшее – стационарными источниками Брестской и Гродненской областей (7,9% и 8,6%, соответственно). Индекс загрязнения атмосферы, рассчитанный по пяти приоритетным примесям, находится в пределах от 3,4 (г.Пинск) до 9,1 (г.Гомель). В 2003г. высокий ИЗА наблюдался в г.Речице и г.Гомеле (9,0-9,1 соответственно) и был обусловлен значительным содержанием в воздухе формальдегида. В городах Светлогорске, Витебске, Гродно, Новополоцке и Полоцке ИЗА повышен, в остальных городах – низкий.

Первое место в республике по объему выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников занимает **г.Новополоцк** (52 тыс.т.). Основной вклад в суммарный ИЗА вносит формальдегид (80%). Основными источниками загрязнения воздуха являются предприятия нефтеперерабатывающей (ОАО «Нафтан») и химической (ОАО «Полимир» отраслей промышленности), а также электроэнергетики (Новополоцкая ТЭЦ). В **г.Витебске** на ОАО «Керамика» отмечено превышение нормативов выброса азота диоксида и углерода оксида в 1,1 и 1,9 ПДВ, соответственно. На ОАО «Витебский мясокомбинат» наблюдалось незначительное превышение ПДВ выбросов аммиака по максимально разовым величинам. ИЗА повышен и составляет 5,7. Отмечается повышенная загрязненность воздуха в районе авто- и железнодорожного вокзала, ИЗА в 1,5-2 раза выше, чем на остальной территории города, а содержание формальдегида, особенно в теплые месяцы, составляет 3,5 ПДК. В **г.Полоцке** в выбросах загрязняющих веществ ОАО «Полоцк-стекловолокно» отмечено в 1,1 раз превышение нормативов выбросов по среднегодовым значениям бора кальция и фтористых соединений.

Основными источниками загрязнения воздушного бассейна **г.Минска** являются тепловые электростанции, бытовые котельные, предприятия машиностроения, электротехники, стройиндустрии, легкой промышленности, автомобильный и железнодорожный транспорт. Распределение выбросов на территории г.Минска неравномерно. В сравнении с областными центрами Беларуси, среднегодовые концентрации взвешенных веществ, диоксида серы и фенола в г.Минске существенно ниже. За последние пять лет уровень загрязнения воздуха основными вредными веществами и фенолом стабилизировался и имеет тенденцию к снижению. В **г.Солигорске**

основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются ПО «Беларускалий» и автотранспорт. Устойчивую тенденцию к увеличению имеет динамика выбросов от стационарных источников в атмосферу города.

Основными источниками загрязнения воздуха в *г.Гомеле* являются предприятия химической, деревообрабатывающей промышленности, а также предприятия электроэнергетики, машиностроения и станкостроения. На ОАО «Гомельский химический завод» зафиксированы превышения среднегодовых значений выбросов фтористых соединений до 1,7, а максимально разовых до 4,6 ПДВ. На ОАО «Гомельдрев» отмечены случаи превышения нормативов выбросов по максимально разовым значениям толуола, этилацетата, этанола (1,2-1,8 ПДВ). К основным загрязнителям воздуха в *г.Светлогорске* относятся: РУП «Светлогорское ПО «Химволокно», ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат», Светлогорская ТЭЦ. В *г.Светлогорске* отмечены случаи превышения концентраций сероуглерода в атмосферном воздухе. К основным стационарным загрязнителям *г.Речицы* относятся РУП «Опытно-промышленный гидролизный завод», ОАО «Речицадрев».

В *г.Гродно* фиксировались случаи увеличения концентрации аммиака в воздухе до 1,4 ПДК. В последние годы наблюдается тенденция роста средних концентраций оксида углерода и оксида азота. Превышения ПДВ были зафиксированы по максимально разовым значениям на трех предприятиях Гродно: ОАО «Гродненский стеклозавод» (по пыли неорганической, азота диоксиду 1,1-1,8 ПДВ); ОАО «Гродно азот» (по азота диоксиду, углерода оксиду, аммония нитрату, натрия карбонату до 1,3 ПДВ); Гродненская ТЭЦ-2 (по азота диоксиду в 1,6 ПДВ).

г.Могилев – основным источником загрязнения воздушного бассейна города является автотранспорт. Более 200 предприятий, расположенных в различных районах города, образуют компактные промышленные зоны. В результате большая часть города оказывается под постоянным воздействием повышенных концентраций специфических вредных веществ. Расположение многих (особенно химической отрасли) предприятий на возвышенных участках с наветренной стороны по отношению к жилым массивам и центру города приводит к увеличению воздействия выбросов на население. Для воздушного бассейна города характерна повышенная загрязненность воздуха не столько основными, сколько специфическими примесями (аммиак, фенол, сероуглерод). На долю специфических загрязняющих веществ приходится 94% общего превышения ПДК. ИЗА составляет 4,7 и примерно средний среди промышленных городов республики. Несмотря на существенное снижение загрязненности воздуха фенолом (за последние пять лет содержание уменьшилось на 58%), во всех районах зафиксированы концентрации 3,5-5,5 ПДК. Источниками загрязнения воздуха аммиаком являются выбросы ОАО «Моготекс», мясокомбината, молочного комбината, автозавода, желатинового завода и других предприятий, имеющих холодильные компрессорные установки. Загрязнение воздушного бассейна города сероуглеродом и сероводородом является завод искусственного волокна, максимально разовые концентрации превышали ПДК в 5-9 раз.

В годовом ходе увеличение средних концентраций большинства основных и специфических загрязняющих веществ наблюдается в теплый период.

2. Природные воды Беларуси используются на: хозяйственно-питьевое водоснабжение; производственные нужды; гидроэнергетику; судоходство; рекреацию; рыбо-прудовое хозяйство; орошение. Забор воды из природных источников в 2003 г. составил 1832 млн. м³, в том числе из поверхностных водных объектов (рек, озер, водохранилищ) - 768, из подземных - 1064 млн. м³. Самым крупным потребителем воды среди городов Беларуси является Минск - 271 млн. м³, меньше всего потребляется воды в Бресте - 39,7 млн. м³.

Наиболее распространенными загрязняющими веществами поверхностных вод Беларуси являются аммонийный и нитритный азот, соединения металлов, фенолы и нитритный азот, нефтепродукты. Повышенные концентрации железа общего, меди, марганца обусловлены, в основном, природными факторами.

Для интегральной оценки качества вод и определения динамики изменения их состояния рассчитывается *индекса загрязнения вод (ИЗВ)*:

$$ИЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i},$$

где, *ПДК_i* – предельно допустимая концентрация по *i*-му показателю, *C_i* – концентрация *i*-го показателя.

Вычисление ИЗВ основывается на расчете среднегодовых концентраций шести ингредиентов, из которых два являются обязательными: растворенный кислород и БПК₅, остальные выбираются исходя из приоритетности превышения ПДК. Классификация поверхностных вод по их качеству и ИЗВ приведена в таблице 2.

Наряду с наблюдениями за гидрохимическим составом, проводятся режимные наблюдения на 74 водных объектах за гидрологическими показателями качества поверхностных вод. В результате которых осуществляются регулярные наблюдения за

Таблица 2

Классификация поверхностных вод по их качеству

Величина ИЗВ	Степень загрязнения	Класс качества воды
Менее или равно 0,3	Очень чистая	I
Более 0,3 до 1	Чистая	II
Более 1 до 2,5	Умеренно загрязненная	III
Более 2,5 до 4	Загрязненная	IV
Более 4 до 6	Грязная	V

Более 6 до 10	Очень грязная	VI
Более 10	Чрезвычайно грязная	VII

основными сообществами пресноводных экосистем: фитопланктоном, зоопланктоном и макрозообентосом. Отбор гидробиологических проб проводится одновременно с гидрохимическими, а сроки отбора совпадают с характерными гидрологическими фазами и периодами вегетации.

Оценка качества поверхностных вод проводится с помощью методов биоиндикации, основывающихся на изучении структуры гидробиоценозов и их отдельных компонентов. Для биоиндикации с помощью планктонных сообществ и водорослей обрастания используется метод сапробиологического анализа Пантле и Букка в модификации Сладечека; биоиндикация по зообентосу проводится с использованием индекса Гуднайта-Уитле и биотического индекса по Вудивиссу.

По комплексной оценке качества в 2003г 58,4% поверхностных вод Республики Беларусь классифицировались как умеренно-загрязненные, 41% - относительно чистые; 0,6% - очень грязные.

Сточные воды. Установленное ежегодное снижение объемов водоотведения не всегда влечет за собой снижение количества содержащихся в них химических веществ, поступающих в водотоки и водоемы. Например, количество хлоридов в сточных водах по республике (1994 - 2000гг наблюдения) увеличилось на 9-68%, в то время как объем водоотведения сократился на 34-48%. Тенденция к снижению массы загрязняющего вещества в сточных водах в целом для страны характерно для нефтепродуктов, органических и взвешенных веществ.

Наибольшую нагрузку, связанную со сточными водами, испытывают: р.Свислочь ниже Мнска, р.Неман ниже Гродно, р.Березина ниже Бобруйска, р.Днепр ниже Могилева и Речецы, р.Западная Двина ниже Новополоцка, р.Припять ниже Мозыря, р.Ясельда ниже Березы, р.Уза ниже Гомеля.

3. Образование и удаление отходов с городских территорий.

В 1993 году в Республике Беларусь создана система учета образования, утилизации и накопления отходов. Все многообразие твердых отходов, образующихся на территории Беларуси в процессе хозяйственной и бытовой деятельности, может быть отнесено к трем основным группам:

- твердые промышленные отходы;
- твердые бытовые отходы;
- осадки сточных вод.

В 2004 году обустроено более двух тысяч мини-полигонов и около одной тысячи площадок временного складирования отходов. В 2003 г. на предприятиях образовалось около 28 млн. т отходов, примерно 2,8 т таких отходов на одного жителя республики.

Номенклатура промышленных отходов включает около 800 наименований. Наибольшими объемами выделяются галитовые отходы и глинисто-солевые шламы калийных производств, на долю которых

приходится 79% общей массы отходов. Высокий удельный вес имеют также другие отходы минерального происхождения: вскрышные породы, формовочная горелая земля литейных производств, фосфогипс, а также органические отходы производства вкусовых и пищевых продуктов, лигнин гидролизный и промышленный мусор. Общая площадь земель, занятых под объектами с промышленными отходами, составляет 2250 га, из которых 1500 га приходится на солеотвалы и глинисто-галитовые шламы, 89 га - на отходы фосфогипса. Общий уровень использования отходов в Беларуси пока низкий (16 %). Количество отходов по сравнению с 2002 г. увеличилось на 7%. На объектах их размещения и на территориях предприятий накопилось более 760 млн.т. из них 738 млн.т. (96,6%) - это отходы РУП "Беларуськалий". На предприятиях образовалось свыше 1,5 млн. т токсичных отходов. Из них 7% приходится на долю чрезвычайно и умеренно опасных. К опасным относятся отходы гальванических производств, нефтесодержащие шламы, отходы лакокрасочных производств, отработанные масла и органические растворители. Уровень использования токсичных отходов составил 36%.

Некоторыми предприятиями производится вторичное использование отходов. Так, в результате производственной деятельности ОАО «Витебскдрев» образуется около 12 тыс.т. отходов деревообработки, из которых около 70% используется в виде топлива для сушильных камер.

Оптимальный вариант для более полного использования отходов - отдельный сбор мусора в контейнеры. Организациями жилищно-коммунального хозяйства было выявлено и ликвидировано на территориях населенных пунктов более 5 тысяч несанкционированных свалок. Для сбора коммунальных отходов в 2004 г. установлено 5609 контейнеров и оборудовано более тысячи контейнерных площадок в секторе индивидуальной жилой застройки. На территориях садоводческих товариществ и дачных кооперативов установлено более 3 тыс. контейнеров и оборудовано почти 1,5 тыс. контейнерных площадок. Охват населения отдельным сбором коммунальных отходов увеличился в 2003 г. по сравнению с 2002 г. в 2,4 раза, а заготовка вторичного сырья из коммунальных отходов увеличилась на 25%. Ведется строительство сортировочно-перегрузочных станций в Бресте, Пинске, Гомеле, а также 40 полигонов для размещения коммунальных отходов. Предусмотрено строительство в 2004 - 2008 г. сортировочных станций коммунальных отходов для городов с населением от 100 до 150 тыс. человек и заводов по переработке коммунальных отходов для городов с населением свыше 150 тыс. человек.

Причины недостаточного использования отходов в республике:

- отсутствие экономически и экологически эффективных способов переработки;
- неполная обеспеченность мощностями для переработки отходов в необходимых объемах;
- непостоянный состав, загрязненность отходов и малое содержание полезных компонентов;

- отсутствие оборудования для сбора, прессования, упаковки и других видов обработки отходов;
- высокая стоимость их транспортировки.

Следует помнить, что при переплавке одной тонны металлолома объем отходов сокращается на 57%, загрязнение воздуха уменьшается на 86%, воды - на 76%; при производстве бумаги из макулатуры загрязнение атмосферы уменьшается на 37%, воды - на 25-30%.

Контрольные вопросы:

1. Пространственная структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов на территории Республики Беларусь.
2. Динамика выбросов от стационарных и передвижных источников в городах Беларуси. Понятие ИЗА.
3. Принципы классификации поверхностных вод по их качеству. Понятие ИЗВ.
4. Номенклатура промышленных отходов в республике.

Лабораторная работа № 6

Экологический анализ атмосферного воздуха городов Беларуси

Цель работы: произвести анализ и оценку динамики загрязнения атмосферного воздуха областных центров Беларуси. Освоить методику расчетов ИЗА.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить основные примеси, определяемые в городах Беларуси.
2. Понятие приоритетного специфического вещества. Приоритетные специфические вещества в атмосфере городов Беларуси, основные факторы при выборе приоритетного перечня специфических примесей.
3. Дайте определение ПДК, ПДКс.с., ПДКм.р.
4. Определение ИЗА, шкала для оценки среднегодового уровня загрязнения.

Государственная сеть мониторинга атмосферы в городах Беларуси включает 51 станцию. В Минске имеется 10 станций, в Могилеве – 5, Гомеле, Витебске, Бресте, Гродно по 4 станции, в остальных промышленных центрах – по 1-3 станции. При расчете количества станций используется такой показатель, как численность населения города. Дополнительные критерии: промышленный потенциал, степень концентрации источников эмиссии, сложный рельеф местности, наличие природных или исторических объектов и т.д.

Во всех городах определяется концентрация основных примесей (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота); а также концентрация приоритетных специфических веществ: формальдегида,

аммиака, фенола, сероводорода, сероуглерода. При выборе приоритетного перечня специфических примесей учитывается, прежде всего, выбросы каждого вещества, размеры города, ПДК, коэффициенты рассеивания.

Задание 1. Проанализировать динамику загрязнения атмосферы городов Беларуси основными и специфическими вредными веществами по табл. 1-7. На основе полученных данных выделить города, для которых характерны максимальные и минимальные средние за год концентрации загрязняющих веществ. Сделать вывод о динамике загрязняющих веществ в областных центрах республики: отметить вещества, по которым наблюдалось существенное уменьшение загрязненности; рост средних концентраций; динамика уровня загрязнения не устойчива.

Расчитать ИЗА для основных и специфических вредных веществ в г.Витебске (Табл.1-7).

Оценку состояния загрязнения атмосферного воздуха городов Беларуси производят с использованием среднесуточных и максимально разовых ПДК. Для оценки степени суммарного загрязнения атмосферы рядом веществ используется комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Расчет ИЗА для одного вещества производят по формуле:

$$I_i = \frac{q_{ср.i}}{ПДК_{с.с.i}} K_i,$$

где $q_{ср.i}$ – среднегодовая концентрация i -го вещества, $ПДК_{с.с.i}$ – его среднесуточная предельно допустимая концентрация, K_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы.

Значения K_i равны соответственно 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 соответственно для 4,3,2 и 1 классов опасности вещества.

Таблица 1

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации пыли (взв. в-ва) в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	64	49	45	33		27
Витебск	166	97	47	114		99
Гомель	103	82				43
Гродно	111	70		147		104
Минск	101	30	16	19		6
Могилев	133	67		3348		24

Таблица 2

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации диоксида серы в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	12,8	8,4	6	4,0	3,0	3,0

Витебск	10,9	9,8	4	5,6	2,0	2,3
Гомель	8,5	9,0	6	4,6	6	8
Гродно	7,5	3,1	2	1,9	2,0	2,0
Минск	3,8	1,4	2,0	2,0	1,0	1,0
Могилев	13,8	2,5	4,0	3,0	3,0	1,0

Таблица 3

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации <i>оксида углерода</i> в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	1431	1411	1567	1255	1091	992
Витебск	432	1424	1283	1188	1245	976
Гомель	584	403	668	521	499	519
Гродно	1069	718	439	442	630	1139
Минск	1182	949	1002	1126	750	745
Могилев	1718	1568	1228	1165	940	610

Таблица 4

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации <i>диоксида азота</i> в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	30	19	17	19	20	23
Витебск	23	29	20	23	22	25
Гомель	27	23	7	8	26	23
Гродно	37	23	25	29	27	31
Минск	33	47	33	36	31	33
Могилев	104	46	51	77	42	48

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха специфическими вредными веществами в областных центрах Республики Беларусь

Таблица 5

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха фенолом в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации <i>фенола</i> в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	-	-	-	-	-	-
Витебск	2,3	1,5	2,1	1,7	1,8	1,6
Гомель	4,3	2,9	1,2	1,5	3,0	3,2
Гродно	-	-	-	-	-	-
Минск	0,9	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2
Могилев	3,7	4,0	3,0	3,1	2,0	1,9

Таблица 6

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха аммиаком в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации <i>аммиака</i> в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	-	-	-	-	-	-

Витебск	152	29	8	13	43	35
Гомель	68	24	10	11	22	24
Гродно	124	57	19	17	30	20
Минск	38	48	37	47	36	44
Могилев	-	-	71	31	30	55

Таблица 7

Изменение уровня загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в областных центрах Республики Беларусь

Город	Средние за год концентрации <i>формальдегида</i> в мкг/м ³					
	1991	1995	1999	2000	2002	2003
Брест	12	8	8	8	10	8
Витебск	10	11	5	7	7	8
Гомель	9	8	5	6	10	14
Гродно			12	8	6	9
Минск	4	4	6	4	4	6
Могилев		18	8	5	5	4

Таблица 8

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

Вещество	ПДК с.с	Класс опасности
Взвешенные вещества	150	
Диоксид серы	200	3
Оксид углерода	3000	4
Диоксид азота	100	2
Фенол	3	2
Аммиак	40	4
Формальдегид	3	2

Задание 2. Проанализировать годовую динамику ИЗА в областных центрах Беларуси. Построить график, отражающий динамику ИЗА за последние 10 лет. Сделать вывод о различиях ИЗА в областных центрах Республики Беларусь в 2003г.

Таблица 9

Индексы загрязнения атмосферы для некоторых городов республики в 1991-2003гг.

Города	Значения (ИЗА)					
	1991	1996	1997	1998	1999	2003
Брест	9,8	5,8	5,0	4,5	4,4	4,2
Могилев	13,4	13,0	10,0	8,8	8,0	4,7
Витебск	15,2	7,5	5,8	8,3	4,2	5,7
Гомель	8,9	8,6	7,1	4,5	3,7	9,1
Гродно	5,1	6,8	5,0	4,1	7,2	5,2
Минск	6,7	4,3	3,3	3,0	4,1	4,0

Лекция 6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ГОРОДОВ – ОСНОВНОЙ ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОСФЕРУ

1. Основные типы электрических станций (ТЭЦ, АЭС, ГЭС) и их экологическое влияние на окружающую среду.
2. Экологические аспекты нетрадиционной энергетики. Перспективы использования в Беларуси.

1. ТЭЦ. Особенности формирования выбросов при использовании различных видов топлива

Уголь. Уголь, используемый в народном хозяйстве, делится на каменный и бурый. Главное их отличие друг от друга — количество теплоты, выделяющейся при сгорании, которое может различаться в 2—5 раз. В целом, теплота сгорания, выделяющаяся при сжигании 1 т условного топлива (тут) — высококачественного каменного угля, в 1,2 раза меньше, чем при сжигании 1 тут газа, и в 1,4 раза меньше, чем при сжигании природного газа. Особенности загрязнения окружающей среды при сжигании угля характеризуются следующими направлениями:

1) *Газообразные вещества.* Как правило, при сжигании каменного угля выделяется в 5—10 раз больше оксидов азота, чем при сжигании других видов топлива (табл. 1), причем выброс при использовании каменного угля в 6 раз больше, чем при использовании бурого.

Таблица 1

Выбросы в атмосферу при сжигании топлива, г/кВтч

Загрязнители	Виды топлива			
	Каменный уголь	Бурый уголь	Мазут	Природный газ
SO ₂	6	7,7	7,4	0,002
Твердые	1,4	2,4	0,7	0
NO _x	21	3,45	2,45	1,9

Но оксида серы (II) выбрасывается меньше, чем при сжигании мазута. Лишь сернистость низкокачественных бурых углей больше, чем мазута. Наибольшую сернистость имеют подмосковные и украинские бурые, донецкий, кизеловский, интинский каменные угли, эстонские горючие сланцы. Сибирские угли, как правило, имеют небольшое содержание серы, измеряемое десятками и даже сотыми долями процента.

2) *Твердые частицы.* Выброс при сжигании бурых углей почти в два раза превышает выброс каменных углей, который в свою очередь в два раза превышает выброс нефти. С природным газом по этому параметру уголь конкурировать не может, так как при сжигании газа твердых частиц не выделяется. Специфическое твердое вещество - оксид ванадия (V₂O₅) — выделяется только при сжигании угля.

3) *Радиоактивные выбросы.* Огромная радиоактивность золы и

выбрасываемых в атмосферу твердых частиц приводит к рассеиванию радиоактивных элементов через трубы теплоэнергоцентралей (ТЭЦ) и разносу радиоактивной пыли с золоотвалов. При сжигании таких углей на ТЭС за счет термохимических процессов в выбросах возрастает содержание радия-226 и свинца-210, причем последний накапливается в золе. После сжигания угля концентрация в золе свинца-210 увеличивается в 5-10 раз, а радия-226 — в 3-6 раз.

Следовательно, при сжигании каменного угля больше всего образуется оксидов азота (21 г/кВт-ч), далее идут оксиды серы (6 г/кВт-ч), а потом твердые частицы (1,4). При сжигании бурого угля соотношение основных веществ другое: максимум приходится на оксиды серы (7,7), далее идут оксиды азота (3,45), а замыкают список твердые частицы (2,4). Отсюда можно сделать вывод, что в абсолютном выражении доля выбросов твердых частиц при сжигании угля меньше, чем других основных веществ, но в абсолютном значении среди прочих видов топлива уголь по выбросу твердых частиц в атмосферу занимает первое место.

Нефть. Для сжигания в котле электростанции используется "нефтяная грязь" — *мазут*. Он выделяется с помощью перегонки нефти, т.е. выделение содержащихся в ней продуктов методом отдельной конденсации паров углеводородов с различными температурами кипения и давлениями конденсации. Поэтому ТЭС, использующие в качестве топлива мазут, тяготеют к центрам нефтеперерабатывающей промышленности (Кириши Ленинградской обл., некоторые теплоэлектростанции Поволжья, Рязанской обл.). Некоторые станции также расположены в районах добычи нефти (Печорская и Западно-Сибирская нефтегазоносные провинции). Но, в основном, мазут на ТЭС используется как вспомогательное топливо и доставляется железной дорогой. Особенности загрязнения атмосферы выбросами ТЭС, использующими мазут, проявляются прежде всего в структуре выбросов.

1) *Газообразные вещества.* При сжигании нефти образуется достаточно большое количество оксидов серы. Особенно высокую сернистость имеют мазуты, получаемые из нефти Волго-Уральского района, а мазуты, получаемые из нефти сибирских месторождений, имеют низкую сернистость. Выход окислов азота при сжигании мазута больше, чем у газа, но меньше, чем у угля.

2) *Твердые частицы.* В нефти их содержится меньше, чем в угле. Но, все равно, их количество по сравнению с газом значительно.

3) *Специфические вещества.* При сжигании мазута выделяются окислы различных элементов: V_2O_5 , NiO_3 , MnO_2 , Al_2O_5 , F_2O_5 , SiO_2 , MgO . Высок также выход бенз(а)пирена.

Следовательно, при сжигании мазута больше всего образуется оксидов серы (7,4 г/кВтч), на втором месте - оксиды азота (2,45), а выбросы твердых веществ незначительны (0,7).

Нефть как топливо для ТЭС используется неохотно по многим причинам:

- ценность нефти как универсального сырья для химической промышленности;

- ценность нефти как топлива в различных транспортных средствах (от бензина для автомобиля до ракетного топлива);

- конкуренция со стороны других видов топлива. Поэтому целесообразность сжигания нефти на ТЭС имеется только в том случае, если рядом расположен НПЗ большой мощности. Постройка ТЭС в районах добычи опасна для окружающей среды, так как это районы с ранимой природой, главным образом тундра и северная тайга. Но в целом нефть используется как резервное топливо и как переходное при переводе с угля на природный газ.

Природный газ. Природный газ - самое распространенное в данный момент топливо. Сейчас доля потребления природного газа в объеме топливопотребления составила 50%, а в европейской части - 80%. В производстве энергии доля газа превысила 60%. Причины большого распространения природного газа в качестве топлива на ТЭС заключаются в следующем.

Во-первых, *природный газ - экологически более чистое топливо* по сравнению с мазутом и углем. При его сжигании вообще не выбрасывается твердых частиц, выбросы оксидов серы ничтожны (только природный газ Астраханского и Оренбургского месторождений обладает высокой сернистостью, а газ Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции серы практически не содержит), и лишь оксиды азота выбрасываются в незначительном количестве (в более чем 10 раз меньше, чем у каменного угля и в 1,3 раза - чем при сжигании мазута). Но, в целом, при сжигании природного газа выбрасываются оксиды азота (1,9 г/кВт-ч). Поэтому теплоэнергетика высокоурбанизированных и промышленно развитых территорий базируется на природном газе. Лишь в депрессивных районах, зарождение которых было связано с добычей угля, сохраняется высокое потребление угля. Для улучшения экологической ситуации необходим перевод и этих станций на природный газ.

Во-вторых, это *свобода размещения ТЭС на природном газе* по сравнению с ТЭС, потребляющими другие виды топлива. Это связано прежде всего с легкостью транспортирования газа с помощью газопровода к станции, а для угля нужна железная дорога, да и транспортные издержки велики, а для нефти — это необходимость близости к НПЗ или железной дороге.

Именно по этим причинам с 80-х годов на многих электростанциях, находящихся в экологически неблагоприятных местах, наметилась переориентировка с угля на природный газ.

Основными факторами загрязнения атмосферы при работе ТЭС являются:

1. Вид используемого топлива.

2. Качество сжигаемого топлива. В зависимости от месторождения различные виды топлива имеют свои характеристики, а именно, содержание различных химических веществ и соединений. Большую роль играет

содержание серы (сернистость топлива) и твердых частиц.

3. Тип энергоустановки. Как правило, при сжигании топлива в одних, технически отсталых, энергоустановках, выбросы вредных веществ больше, чем на технически усовершенствованных. Но вне зависимости от типа топки количество образующихся окислов серы всегда пропорционально содержанию серы в топливе. В связи с этим сокращение выбросов этого компонента в атмосферу возможно либо при уменьшении сернистости сжигаемого топлива, с предварительной очисткой его, либо при организации системы улавливания серы из уходящих газов котлов.

4. Возраст энергоустановки. Более старые топки представляют большую опасность для окружающей среды по ряду технических параметров ввиду физического и морального износа по сравнению с усовершенствованными новыми топками. Они также используются, главным образом, в электростанциях старопромышленных районов и поэтому эти ГРЭС лидируют по выбросам вредных веществ в окружающую среду. Энергетические установки для сжигания угля, как правило, являются сильно устаревшими и нуждаются либо в реконструкции, либо в закрытии, что создает дополнительные проблемы отрасли. Например, в России в последнее время многие угольные станции переводятся на другой вид топлива, главным образом природный газ. Это выгодно для районов, удаленных от крупных угольных бассейнов, так как газ легче транспортировать. Но для типично угольных районов это большая проблема. В угольной инфраструктуре занято огромное количество трудоспособного населения, которое вследствие уменьшения объема добычи угля и, следовательно, закрытия не только малорентабельных и нерентабельных мелких шахт, но и росту безработицы. Как правило, угольные электростанции расположены в неблагоприятных в экологическом плане районах. Поэтому данная ситуация тормозит переход на более экологически чистые технологии и улучшение экологической ситуации.

Твердые отходы от предприятий теплоэлектроэнергетики. При использовании таких видов топлива, как уголь и мазут, образуется огромное количество золошлаков. Зола, представляющая собой летучую компоненту, образующуюся при сжигании топлива, также относится к числу вредных примесей. Она имеет сложный химический состав, при этом из оксидов в свободном состоянии в ней могут находиться только оксид кальция и диоксид кремния. Последний из них является сильным канцерогеном и может вызвать рак легких. К тому же, многочисленные золошлакоотвалы являются источником загрязнения подземных вод.

Загрязнение водных источников от ТЭС. Электроэнергетика является отраслью промышленности, потребляющей огромное количество свежей воды: 77% от общепромышленного объема водопотребления. Большая часть воды расходуется на охлаждение различных агрегатов, в связи с чем тепловые электростанции являются источниками теплового загрязнения. Выбросы больших объемов тепла и влаги непосредственно в атмосферу приводят к увеличению влажности, облачности, количеству осадков, туманов, гололедов в радиусе до 3 км, особенно в осенне-весенний период.

Факелы градирен содержат некоторое количество солей вследствие выноса части минеральных веществ, содержащихся в воде, и коррозии металла. В связи с этим возможно засоление почв. Другим крупным потребителем воды, загрязняющим водоемы и подземные воды, являются системы гидрозолоудаления ТЭЦ, использующие твердое топливо - угли, сланцы, торф.

Со сточными водами в водные объекты сбрасываются загрязняющие вещества, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, соли тяжелых металлов, специфические вещества (сероводород, капролактан, формальдегид).

Таким образом, анализ последствий, связанных с работой теплоэлектростанций, показывает, что наиболее значимым является атмосферное загрязнение.

Атомная энергетика. Быстро растущие потребности в электроэнергии, трудности, связанные с наращиванием производства электроэнергии на тепловых станциях вызвали необходимость создания атомной энергетике. Для многих стран, особенно не имеющих собственных топливных ресурсов, определяющим стало развитие ядерной энергетике. Немаловажное значение в развитии ядерной энергетике имел и экологический фактор - необходимость сокращения все нарастающих выбросов на предприятиях тепловой энергетике.

В настоящее время, например в России действует 30 реакторов АЭС с установленной мощностью 22,2 КВт. Доля ядерной энергетике в производстве энергии составляет 14%, а в общем энергобалансе - примерно 3%. За 2001-2010 годы предполагается закончить строительство пяти реакторов и построить еще пять новых, увеличив тем самым установленную мощность АЭС на 10 ГВт. Это означает, что доля АЭС будет доведена до 20%. В ряде стран эта доля значительно выше — Литва - 83,4%, Франция - 77,4, Бельгия - 57,2, Словакия - 44,5, Швейцария - 44,4, Украина - 43,8. В России доля АЭС в производстве энергии составляет лишь 13%, однако по отдельным районам она существенно меняется. В Мурманской области - 65%, центральных районах европейской части - до 25%, на Дальнем Востоке - менее 1 %.

Воздействие самих атомных электростанций на окружающую среду относительно невелико: в *атмосферу* попадает небольшое количество летучих веществ и аэрозолей (строго нормированное по ПДВ) - это тритий, радиоактивные изотопы ксенона, криптона, йода, осколки деления ядер, продукты активации. Газовые сбросы в атмосферу предварительно очищаются от радионуклидов. Объемы *жидких отходов*, образующихся на АЭС, могут достигать 100 тыс. м³/год на энергоблок с реактором РБМК-1000 и 40 тыс. м³/год на энергоблоке с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Объем *твердых отходов* ежегодно достигает на АЭС 2000-3000 м³. Основным видом твердых отходов является отработанное топливо. Ежегодно заменяют примерно 1/3 действующих тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) новыми. Как правило, большая часть твердых и жидких радиоактивных отходов (РО) хранится в специально оборудованных на станциях хранилищах. Но заполненность хранилищ жидкими и твердыми РО высока и

уже достигает 83,5% на Кольской и Белоярской АЭС.

При работе АЭС происходит сильное *тепловое загрязнение* поверхностных вод, что вызвано технологическими особенностями. Поскольку тепловыделение на единицу израсходованного топлива существенно выше, чем у ТЭС, то и расход воды на атомных станциях в 1,5 раза выше и составляет 50 м³/с. Сбрасываемые воды являются условно чистыми, но приводят к увеличению температуры водоема, что в свою очередь приводит к гибели живых организмов, уменьшению содержания кислорода, увеличению скорости воспроизводства органического вещества. Уровень экологической опасности для водоемов наиболее высок для крайних северных и южных широт. Наименьшая уязвимость на 56-60° с.ш. Влияние водоемов-охладителей на окружающую территорию особенно сильно в зимнее время, когда они представляют незамерзающие или частично замерзающие акватории, из-за большой разницы температуры воды в водоеме и воздуха образуются сильные туманы. Вблизи водоема выпадает чрезмерное количество осадков в виде снега или изморози. Обмерзают линии высоковольтных передач.

В некотором отдалении от АЭС всегда создаются города или поселки городского типа, поэтому прямое воздействие на население ограничено.

Однако воздействие АЭС нельзя рассматривать изолированно от других стадий ядерного топливного цикла (ЯТЦ). ЯТЦ включает следующие взаимосвязанные производства: добычу урановой руды, ее переработку с получением урановых концентратов и гексафторида урана; разделение изотопов (обогащение) урана; изготовление ТВЭЛов; регенерацию отработавшего ядерного топлива на радиохимических заводах, хранение, отработку и захоронение отходов высокой и низкой удельной активности; транспортировку топлива и радиоактивных отходов между различными предприятиями ЯТЦ.

Стратегическим направлением развития атомной энергетики является замыкание ядерного топливного цикла. Намечены модернизация радиохимического завода по переработке отработанного ядерного.

Переработка отработанного топлива. Переработка отработанного топлива является самой опасной частью цикла, так как свыше 99% продуктов деления попадает в высокоактивные отходы. Поэтому радиохимические заводы относятся к наиболее опасным стадиям ЯТЦ. При размещении этих заводов как наиболее опасных предприятий ЯТЦ в России не были учтены возможности аварийных ситуаций, которые могут оказать сильное воздействие как на окружающую территорию, так и на население. Все заводы находятся в непосредственной близости от крупных городов, два из них - в верховьях крупнейших рек России. Красноярский ГХК расположен в 40-50 км от Красноярска, под землей. Его покрывает 250-метровый каменный колпак. Это предприятие определяет радиационную обстановку в бассейне р. Енисей на всем ее протяжении - от г. Красноярска до устья. На правом берегу р. Енисей, в 60 км от Красноярска ниже по течению расположен полигон "Северный" для хранения жидких среднеактивных отходов. Жидкие

промстоки передаются на полигон магистральным трубопроводом длиной 15 км. Отходы закачиваются под землю в водоносные песчано-глинистые горизонты на глубину 400-500 и 130-220 м. Хранилище за время своего существования приняло миллионы кубометров отходов общей активностью около 10^8 Ки.

Сибирский химический комбинат (СКХ) расположен около города Северска (Томск-7), в 15-20 км от Томска. Комплекс включает пять реакторов с графитовыми замедлителями и химкомбинат. Комбинат имеет полный цикл переработки - первичное обогащение, наработка плутония, установка для отделения плутония от высокорadioактивных продуктов распада, вторичная переработка отработанного урана с использованием технологии фторирования.

Использование комбинатом современных новейших технологий, в том числе и плазменных, позволяет получать обогащенный уран высокого качества.

Существенному воздействию подвергся ряд городов при авариях. В 1957 г. на ПО "Маяк" произошел взрыв одного из хранилищ жидких радиоактивных отходов. В результате переноса продуктов аварии в северо-восточном направлении образовался Восточно-Уральский радиоактивный след. Загрязненными оказались участки Челябинской, Екатеринбургской, Тюменской областей. В выбросах преобладали стронций-90, цезий-144, цезий-137.

Авария на Чернобыльской АЭС в значительной степени определила экологическую обстановку в г. Чернобыль, который был полностью отселен, а также в г. Гомель и Могилев в Белоруссии, Плавск, Клинцы, Новозыбков в России, где наиболее высокие уровни загрязнения почвы ^{137}Cs наблюдались на западе Брянской области, на отдельных участках - свыше 100 Ки/км^2 . Чернобыльская авария привела к необходимости пересмотра стратегии развития атомной энергетики.

Гидроэлектроэнергетика. Россия и страны Содружества располагают значительными гидроэнергоресурсами, которые оцениваются в 3942 кВт-ч/год, из них экономический потенциал составляет 1095 кВт-ч.

ГЭС в отличие от рассмотренных типов станций не загрязняют ни воздушный ни водный бассейны. С одной стороны, ГЭС - один из самых экологически чистых способов производства энергии. Но с другой - водохранилище изменяет берега, усиливает воздействие на береговую линию, усиливает эрозию, подтопление территории, изменяет гидрологический режим. Площадь некоторых водохранилищ столь велика, что они затопили части городов или даже город целиком. Крупные гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф. Ежегодно в мире происходит более трех тысяч аварий на различных плотинах, из них каждая седьмая - в странах СНГ. При аварийном разрушении плотины возникает так называемая волна прорыва, которая затопливает огромные территории и приносит большой материальный и экологический ущерб. Критерий остроты, масштабов последствий зависит от высоты волны прорыва, от того, насколько

она превышает максимальную высоту в створе плотины, а так же от времени добегания гребня волны прорыва. Особо большая опасность существует для рек, на которых сооружены каскады гидроэлектростанций. Важным для городов дислокации ГЭС является незамерзание реки зимой ниже плотины, и как следствие повышение влажности воздуха. Что негативно сказывается как на здоровье населения, так и на конструкциях зданий, сооружений. К тому же повышенная влажность резко ухудшает потенциал самоочищения атмосферы.

2. К нетрадиционным возобновляемым источникам энергии (НВИЭ) относятся солнечная энергия, энергия ветра, биомассы малых рек, приливная, волновая, энергия океана. Доля возобновляемых источников в общем производстве составляет сейчас в России 0,1%. Несмотря на огромный объем нетрадиционных источников энергии, особенно ветра и биомассы, технически освоенный и экономически оправданный потенциал намного ниже. Поэтому планируется поднять эту долю до 0,8-1,0% (Европейский союз, например, намерен к 2010 г. довести ее до 12% общего энергопотребления).

Основными недостатками НВИЭ являются: 1) малая плотность потоков энергии и как следствие землеемкость; 2) высокая себестоимость; 3) непостоянство во времени, особенно солнечной и ветровой энергии. Есть также особенности каждого конкретного способа получения энергии. Так, для производства электроэнергии на солнечных и геотермальных станциях к воде добавляют многочисленные ингибиторы коррозии (хроматы, нитриты, нитраты, сульфаты, сульфиты, фосфаты и т.д.). Использование ветра создает дополнительные шумы и вибрации, а также электромагнитные излучения, способные вызвать теле- и радиопомехи, поэтому ветроэлектростанции должны быть окружены санитарной зоной, что требует отчуждения земель. Приливные станции приводят к нарушению экосистемы в верхней части станции.

Ветровая энергетика — это получение механической энергии от ветра с последующим преобразованием ее в электрическую. Имеются ветровые двигатели с вертикальной и горизонтальной осью вращения. Энергию ветра можно успешно использовать при скорости более 5 м/с. Недостатком является шум. Ориентиром в определении технического потенциала Республики Беларусь могут служить официальные оценки возможной доли ветроэнергетики в сложившейся структуре электропотребления таких стран, как Великобритания и Германия. Доля ветроэнергетики в этих странах оценена в 20 %. Потенциал энергии ветра в мире огромен. Теоретически эта энергия могла бы удовлетворить все потребности Европы. Последние инженерные успехи в строительстве ветровых генераторов, способных работать при низких скоростях, делают использование ветра экономически оправданным. Однако ограничения на строительство ВЭС, особенно в густонаселенных районах, значительно снижают потенциал этого источника энергии.

Наибольшая доля (до 3 %) в производстве электроэнергии ИЭС

получена в 1993 г. в Дании, где ветровые турбины рассеяны по всей стране. Строительство современных ВЭС началось здесь в конце 70-х годов. А в начале 80-х в штате Калифорния (США) наблюдался особенно интенсивный рост ВЭС.

Стоимость ветровой энергии снижается на 15 % в год и даже сегодня может конкурировать на рынке, а главное — имеет перспективы дальнейшего снижения в отличие от стоимости энергии, получаемой на АЭС (последняя повышается на 5 % в год); при этом темпы роста ветроэнергетики в настоящее время превышают 25 % в год.

Опыт освоения энергии ветра в развитых государствах показывает, что наиболее оптимальными являются ветроустановки мощностью более 100 кВт, особенно в диапазоне 200—500 кВт. При этом в Дании, например, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, произведенной на ветроэлектростанции, дешевле, чем на теплоэлектростанции.

Хотя средняя скорость ветра в Республике Беларусь считается недостаточной для массового развития ветроэнергетики, у нас существуют сотни отдельных мест и территорий, на которых можно устанавливать современные ветроустановки.

По оценкам комитета экономики ТЭК и химпрома Минэкономики Республики Беларусь потенциал ветровой энергии в Беларуси составляет 150 МВт. Однако средняя скорость ветра в нашей стране — 4,1 м/с (в Голландии — до 15 м/с). Кроме того, энергия ветра — величина непостоянная, помимо ветряков, необходимо ставить резервные мощности по производству электроэнергии. В настоящее время кадастр ветроэнергетических площадок включает 800 позиций на территории Республики Беларусь.

Например, в деревне Дружная Мядельского района Минской области уже установлена и работает ВЭУ мощностью 250 кВт. Роторная ветроэнергетическая установка по использованию энергетического потенциала ветра на сегодняшний день пока является нетрадиционным источником энергии, своего рода ноу-хау в области энергосбережения. По своим техническим характеристикам она не имеет аналогов в мире. Установка способна работать при скорости ветра 3 метра в секунду, что характерно для континентального климата Беларуси. В ближайшие два года в республике можно будет создать 1840 площадок для ветроэнергетических установок. Есть готовые проекты ВЭУ на 10, 20, 50 и 300 кВт, разработанные Белорусским государственным научно-исследовательским Теплоэнергетическим институтом (БелТЭИ).

Расчеты, выполненные специалистами показали, что энергия ветра может позволить ежегодно производить 6,5—7,0 млрд кВт·ч электрической энергии, что эквивалентно использованию около 2 млн т у.т. в год.

Однако следует учитывать, что ветроагрегаты используют не весь потенциал энергии ветра, поэтому при внедрении важно определить количественные показатели ВЭУ по степени утилизации ветроэнергоресурсов. Уже сейчас экономически целесообразна установка

ВЭУ на Минской возвышенности, в Верхнедвинской зоне, возле Солигорска, озера Нарочь.

Гелиоэнергетика — получение энергии от Солнца. Имеет несколько технологий солнечной энергетики. Фотоэлектро-генераторы для прямого преобразования энергии излучения Солнца, собранные из большого числа последовательно и параллельно соединенных элементов, получили название *солнечных батарей*.

Получение электроэнергии от лучей Солнца не дает вредных выбросов в атмосферу, производство стандартных силиконовых солнечных батарей также причиняет мало вреда. Но производство в широких масштабах многослойных элементов с использованием таких экзотических материалов, как арсенид галлия или сульфид кадмия, сопровождается вредными выбросами.

Солнечные батареи занимают много места. Однако в сравнении с другими источниками, например с углем, они вполне приемлемы. Более того, солнечные батареи могут помещаться на крышах домов, вдоль шоссе дорог, а также использоваться в богатых солнцем пустынях.

Особенности солнечных батарей позволяют располагать их на значительном расстоянии, а модульные конструкции можно легко транспортировать и устанавливать в другом месте. Поэтому солнечные батареи, применяемые в сельской местности и в отдаленных районах, дают более дешевую электроэнергию.

Главной причиной, сдерживающей использование солнечных батарей, является их высокая стоимость, которая в будущем, вероятно, снизится благодаря развитию более эффективных и дешевых технологий.

Возможно использование солнечной энергии для получения тепловой, в частности, для отопления жилищ. Однако в условиях нашей страны 80 % энергии Солнца приходится на летний период, когда нет необходимости отапливать жилье, кроме того, солнечных дней в году недостаточно, чтобы использование солнечных батарей стало экономически целесообразным.

На основании двадцатилетнего периода наблюдения установлено, что средняя продолжительность солнечного сияния в Беларуси составляет 1815 часов в год. Годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность — 980—1180 кВт-ч/м². Наиболее благоприятным для применения теплосистем является период с апреля по сентябрь. Проведенный сравнительный анализ продолжительности солнечного сияния и прихода суммарной солнечной радиации в странах Западной Европы с умеренным климатом, расположенных между 50 и 60° с.ш., показал, что Беларусь по продолжительности солнечного сияния имеет близкие значения с этими странами, а по приходу среднемесячной солнечной радиации даже превосходит северную часть Германии, Швецию, Данию, Великобританию. Эти государства наряду с "солнечными странами" считаются лидирующими в Европе по выпуску и применению гелиоэнергетического оборудования. В Республике Беларусь

целесообразны три варианта использования солнечной энергии:

1) пассивное использование солнечной энергии методом строительства домов "солнечной архитектуры". Расчеты показывают, что количество энергии, падающей на южную сторону крыши домов площадью 100 м^2 на широте Минска, вполне хватает даже для отопления зимой (при том, что 10 % солнечной энергии аккумулируется летом и затраты на отопление квадратного метра в отопительный сезон составляют 70 кВтч при хорошей теплоизоляции стен, полов, потолков). Размеры дешевого гравийного теплового аккумулятора под домом при этом вполне приемлемы: $10 \times 10 \times 1,5 \text{ м}^3$. Однако в настоящее время полностью игнорируются даже принципы пассивного солнечного отопления. Единственное здание в Беларуси, построенное с использованием этого принципа — немецкий Международный Образовательный Центр (IBV) в Минске;

2) использование солнечной энергии для целей горячего водоснабжения и отопления с помощью солнечных коллекторов;

3) использование солнечной энергии для производства электроэнергии с помощью фотоэлектрических установок.

На теплоснабжение зданий используется около 40 % всего расходуемого топлива. В Беларуси существующие дома имеют теплотребление более $250 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Если проектирование зданий проводить с учетом энергетического потенциала климата местности и условий для саморегулирования теплового режима зданий, то расход энергии на теплоснабжение можно сократить на 20—60 %. Так, строительство на принципах "солнечной архитектуры" может снизить удельное годовое теплотребление до $70\text{—}80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

Солнечные коллекторы позволяют обеспечить такие дома теплом, а также теплой водой для нужд проживающих в них людей.

Биоэнергетика — это энергетика, основанная на использовании биотоплива. Она включает использование растительных отходов, искусственное выращивание биомассы (водорослей, быстрорастущих деревьев) и получение биогаза.

Биомасса — наиболее дешевая и крупномасштабная форма аккумулирования возобновляемой энергии. Под термином "биомасса" подразумеваются любые материалы биологического происхождения, продукты жизнедеятельности и отходы органического происхождения. Ежегодный прирост органического вещества на Земле эквивалентен производству такого количества энергии, которое в десять раз больше годового потребления энергии всем человечеством на современном этапе.

Источники биомассы, характерные для нашей республики, могут быть разделены на несколько основных групп.

1. Продукты естественной вегетации (древесина, древесные отходы, торф, листья и т.п.).

2. Отходы жизнедеятельности людей, включая производственную деятельность (твердые бытовые отходы, отходы промышленного

производства и др.).

3. Отходы сельскохозяйственного производства (навоз, куриный помет, стебли, ботва и т.д.). Специально выращиваемые высокоурожайные агрокультуры и растения.

Однако наличие биомассы даже в большом количестве не означает решения проблемы получения из нее различных продуктов и веществ, в том числе топлива. Непереработанная же биомасса приносит непоправимый вред окружающей среде.

В настоящее время древесные отходы уже находят применение: созданы установки, осваивается технология производства генераторного газа и его сжигание. Специалисты считают, что при правильном использовании древесины, древесных отходов и быстрорастущих лесных насаждений может быть покрыто 15 % потребностей в топливе. При современном объеме потребления это составит около 6 млн. т у.т.

В настоящее время использование биомассы дает в Китае 6 % всей потребляемой тепловой энергии, в США — 6 %, в странах ЕС — 5,7 %, в Бразилии — 32,9 %, в Беларуси — 1 %.

Переработка биомассы в топливо осуществляется по нескольким направлениям.

Первое: биоконверсия, или разложение органических веществ растительного или животного происхождения в анаэробных условиях специальными видами бактерий с образованием газообразного топлива (биогаза) и/или жидкого топлива (этанола, бутанола и т.д.). В настоящее время в Бразилии на этаноле, полученном в результате разложения биомассы из отходов сахарного тростника, работает городской автотранспорт и многие личные автомобили. В США этанол получают из отходов кукурузы. К биоконверсии относится также получение тепловой энергии при аэробном микробиологическом окислении органических веществ - компостирование.

Второе: термохимическая конверсия (пиролиз, быстрый пиролиз) твердых органических веществ. Третье: сжигание отходов в котлах и печах специальных конструкций. В мире сотни миллионов тонн таких отходов сжигаются с регенерацией энергии. Теплобрикеты бумаги, картона, древесины по теплотворной способности сравнимы с бурым углем.

К настоящему времени на свалках в Беларуси скопилось столько отходов, что если их перевести в нефтяной эквивалент, то получится около 600—700 тыс. т нефти в год. К этому направлению можно было бы отнести и сжигание дров в бытовых печах. В условиях Беларуси развитие биоэнергетики наиболее экономически целесообразно и технически осуществимо, так как биомасса — вид топлива, которого у нас с избытком и не использовать который было бы непростительной ошибкой.

Малая гидроэнергетика. В настоящее время признанных единых критериев причисления ГЭС к категории малых гидроэлектростанций не существует. У нас принято считать малыми гидроэлектростанциями мощностью от 0,1 до 30 МВт, при этом введено ограничение по диаметру рабочего колеса

гидротурбины до 2 м и по единичной мощности гидроагрегата — до 10 МВт. ГЭС установленной мощностью менее 0,1 МВт выделены в категории микро-ГЭС. Малая гидроэнергетика в мире в настоящее время переживает третий виток в истории своего развития. Строительство первых ГЭС началось еще в прошлом веке, когда они предназначались для энергоснабжения отдельных заводов и поселков. Затем темпы их строительства замедлились из-за конкуренции небольших тепловых электростанций. Второй этап массового строительства малых ГЭС пришелся на конец 40-х — начало 50-х гг. XX в., когда тысячи малых гидростанций строились колхозами, совхозами, предприятиями и государством. В 80—70-х гг. сотни и тысячи малых ГЭС были выведены из эксплуатации либо законсервированы, либо ликвидированы из-за быстрого развития большой энергетики на базе крупных тепловых гидравлических и атомных станций.

На третьем витке возрождение малых ГЭС, естественно, происходит на новом техническом уровне основного энергетического оборудования, степени автоматизации и компьютеризации.

Согласно водноэнергетическому кадастру 1960 г, потенциальная мощность рек Беларуси, подсчитанная на основании данных об их падении и водоносности, составляет 855 МВт или 7,5 млрд. кВт-ч в год. Технически возможные к использованию гидроэнергоресурсы оцениваются в 3 млрд. кВт-ч в год. Освоение гидроэнергетического потенциала Беларуси получило существенное развитие в 1950-е гг. за счет строительства малых гидроэлектростанций, в числе которых в 1954 г. введена в эксплуатацию крупнейшая из них, ныне действующая Осиповичская ГЭС на р.Свислочь. Всего в республике в начале 1960-х гг. действовало 179 ГЭС общей установленной мощностью 21 тыс. кВт с годовой выработкой электроэнергии в средний по водности год 88 млн. кВт-ч.

Однако дальнейшее проектирование и строительство ГЭС в условиях Беларуси было свернуто в конце 50-х гг, XX в., к чему и основном побудили представившиеся возможности электроснабжения сельского хозяйства путем подключения сельских потребителей к государственным энергосистемам. Оставшиеся к началу 90-х гг. ГЭС вырабатывали 18,6 млн кВт-ч в год. Имеется возможность дальнейшего освоения потенциала малых рек за счет восстановления ранее действующих ГЭС, строительства новых малых ГЭС без дополнительного затопления земельных угодий и за счет освоения промышленных водосбросов.

В Беларуси технически возможно и экономически целесообразно восстановить и соорудить новые ГЭС общей электрической мощностью 100—120 МВт, что эквивалентно ежегодной выработке электроэнергии 300—360 млн кВт-ч или ежегодной экономии 100 тыс. т у.т. Кроме того, можно использовать гидроэнергетический потенциал существующих на малых реках водохранилищ неэнергетического назначения путем пристройки к ним ГЭС общей установленной мощностью 6 тыс. кВт с

годовой выработкой электроэнергии 21 млн. кВт-ч.

В планах энергетиков — строительство каскада гидроэлектростанций на Западной Двине (Полоцкой, Верхнедвинской, Бешенковичской и Витебской ГЭС). Начато строительство первой из них мощностью 28 МВт. Запланированы две ГЭС на Немане мощностью 45 МВт.

Завершена разработка проекта по сооружению каскада малых ГЭС на реке Котра, что неподалеку от Гродно. По оценке специалистов, за счет малых ГЭС только на Гродненщине можно получать ежегодно несколько десятков миллионов киловатт-часов электроэнергии. Здесь разработана программа развития малой и нетрадиционной энергетики, которая рассчитана до 2010 г. Предусмотрено сооружение более двух десятков малых ГЭС на реках и водохранилищах, а также свыше 10 ветроэнергетических установок.

В настоящее время суммарная мощность белорусских ГЭС составляет около 9 тыс. кВт, или менее 1 % ее возможных к техническому использованию гидроэнергоресурсов. Для сравнения в Китае их освоено 12 %.

В современных условиях Беларуси использование энергии течения рек представляется перспективным путем решения проблемы уменьшения зависимости энергетики республики от импорта топлива. При этом планируется довести выработку электроэнергии на реках Беларуси до 250 тыс. кВт.

Геотермальная энергетика — получение энергии от внутреннего тепла Земли. Различают естественную и искусственную геотермальную энергию — от природных термальных источников и от закачки в недра Земли воды, других жидкостей или газообразных веществ ("сухая" и "мокрая" геотермальная энергетика). Данный вид энергетики широко применяется для отопительных целей и отопления теплиц. Недостаток — токсичность термальных вод и химическая агрессивность жидкостей и газов.

Космическая энергетика — получение солнечной энергии на специальных геостационарных спутниках Земли с узконаправленной передачей энергии на наземные приемники. На этих спутниках солнечная энергия трансформируется в электрическую и в виде электромагнитного луча сверхвысокой частоты передается, на приемные станции на Земле, где преобразуется в электрическую энергию. Мощность одной орбитальной станции может составить от 3000 до 15 000 МВт.

Морская энергетика базируется на энергии приливов и отливов (Кислогубская ЭС на Кольском полуострове), морских течений и разности температур в различных слоях морской воды. Иногда к ней относят волновую энергетику. Пока морская энергетика малорентабельна из-за разрушающего воздействия на оборудование морской воды. Приливная энергетика рентабельна на побережьях морей с исключительно высокими приливами.

Низкотемпературная энергетика — получение энергии с

использованием низкотемпературного тепла Земли, вернее разности в температурах их различных слоев. Промышленное получение энергии с использованием разности температур на поверхности и в глубинах океана пока не выходит за рамки опытных установок.

Контрольные вопросы:

1. Взаимодействие традиционной энергетики с окружающей средой.
2. Экологические аспекты эксплуатации тепловых электрических станций.
3. Экологические аспекты создания и эксплуатации атомных электрических станций.
4. Экологические аспекты создания и эксплуатации гидроэлектростанций.
5. Нетрадиционные источники энергии и их взаимодействие с окружающей природной средой.
6. Перспективы использования нетрадиционных видов энергии на территории Республики Беларусь.

Лабораторная работа № 7

Функциональное зонирование территории жилого района

Цель работы: оценить зонирование территории жилого района как средства экологического регулирования проектного решения, обеспечивающего приоритетность вопросов охраны окружающей среды.

Задание. По предложенному плану и карте города оценить территорию выбранного района города:

1. Оценить местоположение района в структуре городских территорий в соответствии с их экологическими характеристиками;
2. Оценить влияние ландшафтных характеристик территории и прилегающих территорий их функциональное зонирование и планировочное решение;
3. Проанализировать влияния основных источников и факторов антропогенного воздействия на архитектурно-планировочную структуру территории жилого района. Выделить важные положительные факторы воздействия на территорию изучаемого района.

План функционального зонирования территории жилого района

1. Эколого-градостроительные требования к проекту планировки жилого района.

1.1. Современный жилой район, как правило, формируется на межмагистральных территориях площадью более 500 га группами кварталов. Границами территории жилого района являются ***красные линии*** магистралей общегородского и районного значения, а в случае примыкания к другим функциональным зонам — утвержденные границы и планировочные

ограничения (технические зоны и др.).

В структуре территорий жилого района участки или кварталы жилого типа занимают более 25% территории, а участки или кварталы других типов менее 25% каждый.

Размещение новых жилых районов осуществляется на свободных и реконструируемых территориях.

Нормативами установлены следующие требования к застройке территории селитебного назначения:

—удобный рельеф, допускающий возведение зданий и сооружений, прокладку улиц и дорог, организацию сбора и отвод поверхностных вод, сохранение рельефа местности;

—устойчивые грунты;

—благоприятные условия для организации инженерного обеспечения водоснабжения, канализации, теплоснабжения, транспортного обслуживания.

1.2. На территории жилого района размещаются: микрорайоны, жилые кварталы, объекты общего пользования с участками периодического обслуживания, в том числе спортивные сооружения, зеленые насаждения, а также коммунальные объекты, гаражи-стоянки и др.

1.3. Территория жилого района регламентируется следующими нормативными показателями:

—плотностью застройки жилых, смешанных жилых участков (суммы участков), соответствующей требованиям застройки структурной части города;

—удельными размерами территории общего пользования;

—плотностью населения на территории жилого района в межмагистральных территориях площадью: от 500 до 1000 га — 200—280чел./га, более 1000 га — 170—240 чел./га;

—обеспеченностью жителей района озелененными территориями, которая складывается из суммы удельных площадей: озелененных площадок придомовой территории, 50% участков детских дошкольных учреждений, 40% участков школ, участков зеленых насаждений общего пользования жилого района (микрорайона).

1.4. Функционально-планировочная организация территории жилого района должна учитывать геоморфологические и микроклиматические условия, способствующие рассеиванию, вредных примесей в атмосферном воздухе.

1.5. При проектировании уличной сети жилого района необходимо учитывать существующий и перспективный уровень загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта и предусматривать планировочные и технические мероприятия по локализации зон загазованности.

1.6. В случае примыкания жилого района к территориям с зелеными насаждениями общего пользования следует осуществить организацию их буферной части для обеспечения потребности населения жилого района в озелененных территориях, но не далее, чем в 15-минутной доступности и без

уничтожения существующих зеленых насаждений. Расстояние между жилой застройкой и ближним краем лесопаркового массива следует принимать не менее 30 м для лиственных и 50 м для хвойных пород.

Т а б л и ц а 1

Нормируемые элементы территории жилого района

№	Элементы территории жилого района	Удельные площади элементов территории жилого района, м ² /чел.	
		Межмагистральные территории площадью	
		500—1000 га	более 1000 га
	Территории общего пользования жилого района всего		
	В том числе:		
1	участки спортивных сооружений	не более 14,0	не более 16,0
2	участки зеленых насаждений	не менее 1,0	не менее 1,2
3	участки коммунальных объектов	не менее 4,0	не менее 5,0
4	участки гаражей-стоянок	не более 0,2	не более 0,2
		не более 0,8	не более 0,8

1.7. Расстояние от края проезжей части скоростных городских дорог до линии жилой застройки устанавливается на основании расчета уровня шума. В зоне шумового дискомфорта следует размещать зеленые насаждения, гаражи-стоянки, открытые стоянки, АЭС и другие коммунальные сооружения, отдельные объекты обслуживания.

В случае примыкания жилой застройки к железной дороге расстояние от жилых домов до крайнего рельса устанавливается расчетом уровней шума в соответствии с нормативами. При невозможности обеспечить нормативный уровень шума планировочным разрывом следует применять другие меры защиты от шума.

1.8. Гаражи-стоянки на территории жилого района целесообразно размещать на участках коммунального и общественного назначения, территориях транспортных сооружений, на участках с резким перепадом рельефа.

2. Оценка общего функционального зонирования территории должна учитывать всю совокупность факторов, оказывающих воздействие на проектируемую территорию.

Среди факторов, оказывающих отрицательное влияние, необходимо, прежде всего, выделить воздействие промышленных и энергетических объектов, крупных объектов коммунального хозяйства, транспортных магистралей (автомобильные и железнодорожные), мостов, эстакад и других сооружений. Перечисленные объекты могут находиться за пределами проектируемого района, однако их влияние необходимо учитывать при определении зоны эколого-планировочных ограничений.

Важные положительные факторы воздействия — крупные зеленые массивы, реки и большие водоемы, открытые пространства, имеющие

контакты с лесопарковой зоной.

2.1. Последовательность проведения оценки функционального зонирования территории жилого района целесообразно принять следующую:

— анализ существующей градостроительной ситуации, положения района в системе городской застройки в соответствии с основными требованиями и положениями разделов «Охрана окружающей среды» в Концепции генерального плана города, территориальных комплексных оценок и концепций развития административной территории, включающей проектируемый или реконструируемый район;

— анализ ландшафтной ситуации и пригодности территорий, наличия на проектируемых или прилегающих участках объектов природного комплекса (лесопарков, парков, водных объектов) и ландшафтно-исторических объектов (охраняемых зон памятников истории и культуры, усадеб, зон охраняемого ландшафта, и др.);

— анализ промышленно-производственных, коммунально-складских, энергетических и других инженерных объектов, транспортных сооружений, крупных транспортных коммуникаций (в т.ч. авиационных и железнодорожных).

В результате этой работы составляется карта-схема эколого-градостроительного зонирования, которая является основой для организации функционального зонирования территории жилого района.

2.2. В условиях реконструкции жилого района следует осуществлять ряд дополнительных исследований:

— анализ возможностей оптимизации плотности застройки и выделение зон ограниченного использования территории для наземного и подземного строительства;

— анализ существующих и проектируемых красных линий застройки, линий природоохранного регулирования;

— анализ существующей системы озеленения, оценку возможностей его оптимизации за счет сноса ветхого фонда;

— оценку акустического режима территории и выделение территорий и объектов шумового дискомфорта;

— исследование загрязненности почв и воздуха для уточнения размеров санитарно-защитных зон от коммунальных и производственных объектов;

— обоснование предложений по выводу нежилых объектов с территории жилого района.

2.3. Оценка воздействия производственно-коммунальных объектов и улично-дорожной сети, расположенных внутри и на границах проектируемой территории, должна включать:

— функциональные характеристики объектов, целесообразность их сохранения;

— установление границ санитарно-защитных зон и планировочных ограничений.

Оценка воздействия объектов на окружающую среду по отдельным параметрам (шум, вибрация, загрязнения и пр.) и разработка комплексных

мероприятий .

2.4. Оценка воздействия существующих транспортных магистралей и объектов, инженерной инфраструктуры должна содержать:

— анализ связи и взаимовлияние местных транспортных магистралей и инженерных коммуникаций с общегородскими системами жизнеобеспечения;

— условия подключения местных сетей и коммуникаций к общегородским системам;

— прогноз изменений структуры и интенсивности транспортных потоков на перспективу.

Оценка воздействия транспортных магистралей и инженерных коммуникаций по отдельным параметрам (шум, вибрация, загрязнение и пр.) и разработка комплексных мероприятий проводится в составе специальных подразделов раздела «Охрана окружающей среды».

2.5. Анализ системы открытых пространств — существенный аспект оценки функционального зонирования территории, так как открытые пространства — важнейшие структурно-планировочные элементы с различными функциональными характеристиками. К ним относятся компоненты природного ландшафта (водоемы, озелененные территории общего пользования — бульвары, скверы и др.), свободные территории и т. д. В результате анализа должны быть выявлены тенденции развития и трансформации открытых пространств, установлены их планировочные, функциональные и пространственные взаимосвязи с различными элементами жилого района и прилегающих территорий.

Характер застройки, высотность, плотность, композиционно-градостроительное решение должны способствовать активному визуальному раскрытию особенностей естественного рельефа, водных и зеленых массивов. Высокое качество функционально-планировочной и архитектурно-пространственной организации жилого района должно рассматриваться как существенный экологический фактор, обеспечивающий визуально-эстетический комфорт и благоприятность проживания.

3. Оценка влияния ландшафтных характеристик проектируемой территории на функциональное зонирование.

3.1. Оценка природного комплекса, историко-культурных и ландшафтных памятников выполняется в соответствии с нормами планировки и застройки и основана на ранжировании территорий по режимам охраны 5-ти категорий.

Оценка отдельных природно-ландшафтных объектов должна включать:

— ранжирование природных компонентов по их ценности для экологических целей при проектировании, строительстве и реконструкции жилого района, их значение в реализации концепции генерального плана города Москвы;

— уточнение границ отдельных природно-ландшафтных элементов, выделение составляющих их функциональных элементов (уникальных ландшафтов, мест обитания редких и ценных растений и животных и т.п.),

уточнение границ охранных зон;

—определение зоны планировочных ограничений.

3.2. Природная основа городских ландшафтов предопределяет предельно-допустимые нагрузки, которые ландшафты могут выдержать с учетом соблюдения санитарно-гигиенических и природоохранных требований. В настоящее время в связи с недостаточной разработанностью проблем комплексной оценки техногенного влияния и связанной с ним деградации ландшафтов следует использовать следующие количественные показатели: их площадь, конфигурацию и протяженность, связь с особо охраняемыми территориями, лесопарковой защитной полосой (ЛПЗП). При оценке ландшафтов учитывают их устойчивость, потенциал, способность выполнять возложенные на них социально-экологические функции. Эти обстоятельства должны быть учтены при оценке существующего функционального зонирования или его корректировке.

3.3. При оценке влияния природного ландшафта на функциональное зонирование жилого района, кроме экологически ценных, целесообразно выделить также участки, которые необходимо сохранить свободными от застройки или предназначить для объектов, требующих для своего функционирования особых санитарно-гигиенических или природных условий:

—экологически уязвимые участки, нарушение которых способно поставить под угрозу стабильность местной экологической системы;

—участки, обладающие особо благоприятными общими условиями и микроклиматом (для размещения детских, лечебных или оздоровительных учреждений);

—территории и акватории, пригодные и удобные для целей рекреации.

При этом целесообразно учитывать то обстоятельство, что рекреационные цели не всегда совместимы с задачами охраны природы, поэтому природные участки, предназначенные для рекреации, могут принадлежать только к IV и V категориям режима охраны природного комплекса .

3.4. При разработке функционального зонирования необходимо учитывать, что преобразование рельефа и благоустройство влияют на гидрогеологические условия и состояние водных объектов: формирование, распределение, состав стока и его загрязненность.

Негативное влияние на состояние гидрологического режима водных объектов оказывает высокая плотность твердых покрытий, которая приводит к увеличению поверхностного стока и обезвоживанию территорий.

Функциональное зонирование территорий и застройки должно предусматривать размещение застройки и сопутствующее ей благоустройство на незагрязненных почвах. Хорошо проницаемые почвы, выполняя санитарно-гигиеническую и природоохранную роль, уменьшают интенсивность поверхностного стока и регулируют водный баланс территории.

3.5. При разработке функционального зонирования территории жилого района рекомендуется создавать зоны, территория которых служит

естественным барьером для сбора атмосферных осадков, пополняющих грунтовые воды. Эти зоны должны подлежать специальному картографированию, на основе которого принимается комплекс защитных мер, обязательных к выполнению:

—ограничение застройки в контуре водоносного горизонта с учетом оценки степени защищенности фунтовых вод;

—корректировка трасс инженерных сетей или их особое укрепление (канализация, водоснабжение и др.);

—специальные приемы вертикальной планировки (устройство ливневого стока для отвода загрязненного приземного стока, ступенчатая планировка склонов с устройством подпорных стенок);

—исключение устройства в непосредственной близости функционально несовместимых зон и объектов (мусоросборников, свалок, транспортных стоянок и пр.).

3.6. В составе функционального зонирования необходимо предусмотреть экологически безопасную и обоснованную трассировку улиц и магистралей жилого района, которая должна отвечать следующим общим правилам:

—при переходе через заболоченные территории следует отдавать предпочтение эстакаде перед выторфовыванием грунта;

—трассировка транспортной сети жилого района и создание дорожного русла не должны нарушать естественной дренажной сети местности;

—должны быть предусмотрены специальные защитные меры на местности для предотвращения загрязнения водоемов от улично-дорожной сети;

—на пойменных землях нельзя допускать размещения застройки, проведения дорог с твердым покрытием, складирования стройматериалов, так как эти ландшафты наиболее уязвимы и требуют сохранения или реабилитации.

3.7. В условиях реконструкции жилой застройки анализ существующего функционального зонирования территории целесообразно дополнить историко-опорным планом с ландшафтным анализом для обоснования реконструкции территорий природного комплекса (засыпанных русел рек, ручьев, водоемов) с целью восстановления природного каркаса и ограничения антропогенного воздействия на реконструируемую (планируемую) застройку.

Лекция 7 . ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ КРИТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ГОРОДСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

1. Понятие критической нагрузки. Общие положения концепции критических нагрузок.
2. Схема расчета критических нагрузок на городские экосистемы. Требования к исходной информации.
3. Модель расчета критических нагрузок кислотности на экосистему.

1. Для предотвращения загрязнения и/или деградации наземных и водных экосистем городских территорий необходимо, чтобы антропогенные нагрузки загрязняющих веществ (поллютантов) укладывались в рамки природных колебаний различных звеньев биогеохимических пищевых цепей, что, как правило, должно сопровождаться существенным сокращением этих нагрузок. Для определения требуемого сокращения антропогенных нагрузок существуют различные приемы в токсикологии и химии окружающей среды, связанные с установлением различных стандартов типа предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочно допустимого содержания (ОДВ) поллютантов в различных средах. Эти приемы обычно основаны на моделировании с экспериментальными животными, и их результаты зачастую весьма далеки от реальных условий окружающей среды, что делает применение таких стандартов спорным как с экологической, так и экономической точки зрения.

Биогеохимическая цикличность является универсальным свойством биосферы, определяющим устойчивость любых экосистем, включая городские экосистемы, к поступлению различных антропогенных поллютантов (кислотные соединения серы и азота, тяжелые металлы, стойкие органические соединения, агрохимикаты и др.). Соответственно, **концепция критических нагрузок** (КН) основана на биогеохимических принципах и предполагает определение того уровня выпадений поллютантов, когда начинает проявляться их вредное воздействие на экосистемы. Величины критических нагрузок могут быть охарактеризованы как *«максимальное поступление поллютантов (сера, азот, тяжелые металлы, стойкие органические соединения и др.), которое не сопровождается необратимыми изменениями в биогеохимической структуре, биоразнообразии и продуктивности экосистем в течение длительного времени, т. е. 50-100 лет»* (Башкин и др., 2003).

Концепция критических нагрузок предусматривает достижение максимальной экологической выгоды при сокращении эмиссии поллютантов, поскольку показывает оценку дифференцированной чувствительности различных экосистем к атмотехногенным поступлениям поллютантов. Расчеты и картографирование критических нагрузок позволят создавать оптимизационные эколого-экономические модели с соответствующей оценкой минимальных экономических вложений для достижения максимального экологического эффекта в масштабе как всего города и его частей, так и в региональном масштабе для учета трансрегионального

загрязнения. Расчет и картографирование критических нагрузок при мониторинге атмосферных выпадений серы и азота могут быть также использованы для идентификации регионов, где современные выпадения превышают величины критических нагрузок. Эта информация, а также использование моделей атмосферного переноса позволят определить регионы, где и в какой степени необходимо провести сокращение выбросов ЗВ, что бы обеспечить снижение региональных превышений критических нагрузок.

Критическая нагрузка представляет собой индикатор чувствительности экосистем, определяющий максимально допустимое поступление поллютантов, при котором риск нанесения ущерба экосистеме будет резко уменьшен. Измеряя определенные физические и химические свойства экосистем, можно рассчитать чувствительность экосистем к кислотным выпадениям и определить «критическую нагрузку кислотности». *Критическая нагрузка* кислотности может быть определена как максимальное поступление подкисляющих соединений серы и азота, ниже которого не происходит вредного подкисляющего воздействия на экосистему в течение длительного, 50-100-летнего, периода времени. Оценивая же раздельное влияние серы и азота, необходимо принимать во внимание совместное подкисляющее воздействие обоих этих элементов и эвтрофирующее влияние одного азота. В таком случае критическая нагрузка серы представляет собой максимальное поступление этого элемента в экосистему, ниже которого не происходит вредного подкисляющего воздействия. А *критическая нагрузка азота* - максимальное поступление азота в экосистему, ниже которого не

происходит как подкисляющего (совместно с серой), так и эвтрофирующего воздействия соединений азота на биогеохимическую структуру и функции экосистем.

Соотношение основных катионов (Ca, Mg, K, Na) с алюминием, а также концентрация свободного иона Al^{3+} используются как индикаторы равновесных геохимических и биогеохимических процессов. На основании многочисленных экспериментальных данных принято, что критическое соотношение основных катионов с алюминием должно быть выше 1:1, а концентрация иона Al^{3+} - меньше или равна 0,2 мг экв л (*эквивалент* (экв) - количество химического вещества, реагирующее с одним атомом водорода; используется при расчетах критических нагрузок для сравнения воздействия различных элементов (сера, азот, кальций, магний, калий, натрий, водород, алюминий и др.).

В зависимости от типа воздействия в качестве наиболее чувствительных элементов в наземных и водных экосистемах могут быть самые разные организмы:

1. почвенные микроорганизмы и почвенная фауна, водные и донные организмы, ответственные за биогеохимические циклы в почве и других компонентах экосистем (например, снижение их биоразнообразия);

2. наземная фауна, такая как животные и птицы, водные растения (например, снижение воспроизводства, биоразнообразия, эвтрофирования);

3. человек как замыкающее звено в биогеохимической пищевой цепи (например, возрастающая в кислых условиях миграция тяжелых металлов в

почвах и водах приводит к их избыточному поступлению в организм человека и др.)

Требования к исходной информации. Критическая нагрузка представляет индикатор устойчивости экосистемы, поскольку показывает величину максимально допустимого поступления загрязняющих веществ, выше которой существует риск повреждения биогеохимической структуры и функций рассматриваемой городской экосистемы. Путем измерения или оценки определенных звеньев биогеохимических циклов серы, азота, основных катионов и некоторых других сопряженных элементов можно определить уровень устойчивости или чувствительности как биогеохимических циклов, так и общей структуры экосистемы к поступлению подкисляющих и эвтрофирующих соединений. Может быть рассчитан критический уровень поступления кислотности и/или критический уровень поступления питательных веществ, который определяет возможность изменения биоразнообразия в экосистеме.

Используя эти величины, можно рассчитать критическую нагрузку кислотности для каждой экосистемы на территории того или иного городского региона. Расчет критических нагрузок осуществляется для всех возможных комбинаций почв и растительных видов в случае наземных экосистем или водной биоты (включая рыб) и природных типов вод для водных экосистем. Принимая во внимание широкое разнообразие городских экосистем, величины критических нагрузок кислотности, серы и азота сравнивают с поступлением этих соединений с атмосферными осадками, удобрениями и бытовыми и промышленными отходами и выявляют экосистемы, для которых величины критических нагрузок превышены. Сопоставляя величины превышений для различных городских территорий, можно определить такой уровень необходимого сокращения эмиссии соединений серы и азота, чтобы величины критических нагрузок не были превышены. Это сокращение должно осуществляться как на локальном, так и региональном уровне, поскольку соединения серы и азота за время жизни в атмосфере могут быть перенесены на значительные расстояния (до нескольких тысяч километров). В конечном итоге, величины критических нагрузок могут рассматриваться как биогеохимические стандарты для оценки допустимого антропогенного воздействия на городские экосистемы различного уровня.

2. Схема расчета критических нагрузок. Оценку возможного воздействия на наземные и водные экосистемы можно выполнить на основании подхода, показанного на рисунке 1.



Рис. 1. Схема расчета критических нагрузок при поступлении кислотообразующих и звторфирующих соединений серы и азота в экосистему

Выбор рецептора. Рецептор представляет собой экосистему, актуально и потенциально подверженную загрязнению соединениями серы, азота, тяжелых металлов и/или стойких органических соединений. Характеристика наземной экосистемы как рецептора включает в себя описание типа использования городских земель, климата, принадлежности к биогеохимическому району, типа почвы, типа растительности и т. д. При характеристике водной экосистемы прежде всего учитываются тип водоема (река, озеро или пруд), его трофический статус и гидрохимия. При рассмотрении наземных экосистем важное значение имеет оценка источников загрязнения, например, в городские экосистемы поступление поллютантов происходит с атмосферными осадками (влажными и сухими), с удобрениями, мелиорантами, оросительными водами и другими антропогенными потоками. Аналогичная информация в ряде случаев необходима и для водных экосистем.

Выбор экологических критериев. Выбор экологических критериев (критических концентраций в наиболее чувствительных компонентах рецептора) связан с рассмотрением взаимозависимости между химическими параметрами, характеризующими тот или иной компонент экосистемы (почва, растительность, донные отложения, почвенные, грунтовые или поверхностные воды), и откликом отдельного живого организма или популяции на эти параметры. В соответствии с определением, критическая нагрузка представляет собой поступление поллютанта, не вызывающее необратимых изменений в биогеохимическом круговороте элементов в экосистемах, предотвращая таким образом «значительное вредное воздействие на специфические чувствительные организмы». Следовательно, этот шаг при оценке критических нагрузок представляется одним из важнейших.

Выбор метода расчета. Важное значение имеет выбор нединамической или динамической модели. Нединамические модели более важны при расчете критических нагрузок, поскольку могут предсказать долговременные изменения

в биогеохимической структуре как наземных, так и водных экосистем под воздействием антропогенного загрязнения. Например, под воздействием кислых осадков происходит изменение скоростей химического выветривания, уменьшается содержание основных катионов, наблюдается вымывание питательных веществ, возрастание содержания свободного алюминия и тяжелых металлов. Динамические модели необходимы для оценки периода, в течение которого эти изменения произойдут в той или иной экосистеме, что позволит моделировать различные сценарии сокращения поступления загрязнителей, например, эмиссии вредных веществ в атмосферу от автомобилей.

Сбор информации для характеристики входных параметров модели. Производится сбор максимально полной информации о биогеохимических циклах различных элементов, о почвенных, геоботанических, геологических, климатических, гидрологических, гидрохимических и других условиях, поступлении загрязнителей с различными антропогенными потоками, современном состоянии загрязнения рассматриваемых городских условно-природных и трансформированных наземных и водных экосистем. При этом полезно применение геоинформационных систем.

Расчет критических нагрузок. Расчет критических нагрузок загрязнителей осуществляется для всех экосистем в выбранном масштабе с использованием ГИС, позволяющих создавать карты этих величин. Обычно картографирование критических нагрузок выполняется для клеток выбранного масштаба (500 x 500 м; 1 x 1 км; 5 x 5 км и т. д.).

Сравнение с современными выпадениями. Критическая нагрузка загрязнителей на данную экосистему сравнивается с экспериментальными или смоделированными величинами их выпадений и иных поступлений. Это позволит рассчитать, насколько критические нагрузки превышены или нет для определенной территории. Такое сравнение осуществляется с использованием ГИС. Рассчитанные величины превышений включаются в эколого-экономические оптимизационные модели для выбора различных сценариев сокращения поступления загрязнителей.

3. Исходная информация для расчета КН включает дигитализированные геологические, почвенные, геохимические, геоботанические, гидрологические, ландшафтные и гидрохимические карты. Для каждого элементарного таксона (минимального выдела) должны быть количественно охарактеризованы основные звенья биогеохимических циклов серы, азота и основных катионов (Ca, Mg, K) с использованием данных экспериментальных и мониторинговых исследований в выбранном масштабе. Необходимый набор параметров, входящих в алгоритм расчета и использованных для получения величин критических нагрузок азота, серы и кислотности, показан ниже, и их количественные параметры для городских экосистем различных климатических зон России представлены в таблице 2.

Таблица 2

Входные параметры модели для расчета критических нагрузок кислотности на экосистему

Q_{run}	- сток избыточного поступления осадков (м ³ /га/год); т.е. влага, удаляемая из корневой системы
N_{td}	- суммарные N выпадения, влажные и сухие (NO _x + NH _x)
S_{td}	- суммарные S выпадения, влажные и сухие
BC_d	- выпадения основных катионов
C_t	- коэффициент активных температур (отношение суммы температур >5°C к общей годовой сумме)
C_b	- коэффициент биогеохимического круговорота как отношение массы элемента в ежегодном опаде к его массе в подстилке
C:N	- отношение C:N в верхнем почвенном горизонте
AMC	- азотоминерализующая способность почв
C_N	- максимально допустимое содержание азота в поверхностных водах
W_r	- химическое выветривание почвенных минералов (экв/га/год/м почвенного профиля); определяет способность почвы к выветриванию
D	- верхний активный слой почвы; толщина почвенного слоя
K_{gibb}	- константа Гиббса
N:BC	- отношение N и основных катионов в растительной биомассе; величины, обусловленные типом почвы
N_{upt}	- годовое поглощение азота
N_i	- иммобилизация почвенного N
N_i*	- иммобилизация N атмосферных выпадений
N_{de}	- денитрификация почвенного N
N_{de}*	- денитрификация N атмосферных выпадений
N_u	- поглощение почвенного N
N_u*	- поглощение N атмосферных выпадений
N₁	- вымывание N атмосферных выпадений
BC_w	- выветривание основных катионов в рассматриваемом почвенном слое

Рассмотрим модели для расчета критических нагрузок кислотности на городские экосистемы. Методологические и методические подходы для количественной оценки и картографирования величин критических нагрузок азота, серы и кислотности описаны в соответствующих методических

рекомендациях, разработанных при научном обеспечении Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

Для определения *величины максимальной критической нагрузки по сере* используется следующее уравнение:

$$CL_{\max}(S) = C_t \times (BC_w - ANC_1) + (BC_{dep} - BC_u), \quad (1)$$

где C_t - гидротермический коэффициент, характеризующий период года с температурой выше 5°C . Рассчитывается как отношение суммы годовых температур выше 5°C к сумме всех годовых температур.

Поглощение основных катионов определяется следующим уравнением:

$$BC_u = N_u^* \times N/BC \quad (2)$$

где N/BC - величина, определяющая соотношение азота и основных катионов в растительной биомассе. Эти величины обусловлены типом почвы. Знак * относится к антропогенным поступлениям элемента в городские экосистемы в отличие от поглощения азота, образующегося вследствие естественно протекающих процессов минерализации почвенного органического вещества.

Выветривание основных катионов рассчитывается исходя из уравнения:

$$BC_w = W_r \times D, \quad (3)$$

где коэффициент W_r определяет способность почвы к выветриванию, а D - толщина почвенного слоя.

Вымывание щелочности определяется уравнением:

$$Alk_{le(crit)} = -Al_{le(crit)} - H_{le(crit)} = -Q ([Al]_{crit} + [H]_{crit}) \quad (4)$$

где Q - сток избыточного поступления осадков ($\text{м}^3/\text{га}/\text{год}$), т. е. влага, удаляемая из корневой зоны растений. Квадратные скобки означают концентрацию в экв/ м^3 . Отношение между $[H]$ и $[Al]$ описывается уравнением химического равновесия гиббсита:

$$[Al] = K_{gibb} [H]^3, \text{ или } [H] = ([Al]/K_{gibb}P)^{1/3} \quad (5)$$

где K_{gibb} - гиббситовый коэффициент. Его величина зависит от типа почвы. Чаще всего используется величина $K_{gibb} = 300 \text{ м}^6/\text{экв}^2$.

Для того чтобы получить величину критического вымывания щелочности, необходимо определить или критическую концентрацию алюминия $[Al]$, или критическое рН почвы, а затем рассчитать другой параметр согласно уравнению (5).

Сток осадков рассчитывается как количество осадков минус сумма эвапотранспирации лесным пологом, почвенной эвапотранспирации и испарения в корневой зоне растений; данные берутся из соответствующих

справочников.

Определив *величину минимальной критической нагрузки азота* $CL_{min}(N)$ как

$$N_{dep} \leq N_i + N_u + N_{de} = CL_{min}(N) \quad (6)$$

можно считать, что весь выпавший азот поглощается почвенными микроорганизмами и включается в состав гумуса, поглощается растениями и денитрифицируется. *Величин азота* $CL_{min}(N)$ определяется следующим образом:

$$CL_{min} = (N_i^* + N_u^*) \times 71,4 \quad (6a)$$

где индекс * означает принадлежность отмеченных величин к допустимым (критическим) величинам выпадений антропогенного азота на экосистему.

Нагрузка по питательному азоту определяется из следующего уравнения:

$$CL_{nutr}(N) = CL_{min}(N) + N_1 + N_{de}, \quad (7)$$

Для количественной оценки величин, входящих в уравнения (6-7), используются следующие методы.

Процессы *трансформации азота*.

Поглощение азота почвы растительной биомассой определяется следующим уравнением:

$$N_u = (AMC - N_i - N_{de}) \times C_t, \quad (8)$$

Поглощение азота атмосферных выпадений рассчитывается исходя из следующего уравнения:

$$N_u^* = N_{upt} - N_u$$

Минимальные критические нагрузки азота:

$$CL_{min}(N) = (N_i^* + N_u^*);$$

Критические нагрузки питательного азота:

$$CL_{nutr}(N) = CL_{min}(N) + N_1 + N_{de}^*;$$

Максимальные критические нагрузки серы:

$$CL_{max}(S) = C_t \times (BC_w - ANC_1) + (BC_d - BC_u);$$

Максимальные критические нагрузки азота:

$$CL_{max}(N) = CL_{max}(S) + CL_{min}(N).$$

Контрольные вопросы:

1. Общие положения концепции критических нагрузок. Экологическое значение.
2. Схема расчета критических нагрузок.
3. Исходная информация модели. Алгоритм расчета.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. Ред. С.В. Белова. –М.: Высш. шк., 1999. -448с.
2. Бочкарева Т.Б. Экологический «джин» урбанизации. М.: Мысль, 1988. - 268с.
3. Козерук Б.Б. Мониторинг атмосферного воздуха в городах и промышленных центрах Беларуси / Информационный бюллетень №1 (39). –Мн.: «БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ», 2003. -48С.
4. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. –М.: Высшая школа. -2001. -510с.
5. Маслов Н.В. Градостроительная экология. –М.: Высш. шк., 2002. -284с.
6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений 2003г. / БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 2004 - 202с.
7. Охрана природы. Городские экосистемы. Расчет величин критических нагрузок поллютантов на городские экосистемы. –Москва-Смоленск.: Моджента. -2003. -56с.
8. Природная среда Беларуси: Монография / Под ред. В.Ф. Логинова; НАН Беларуси. Ин-т пробл. Использования природ. Ресурсов и экологии: -Мн.: НОООО «БИП-С», 2002. -424с.
9. Самойлов М.В. Основы энергосбережения: Учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. 3-е изд. – Мн.: БГЭУ, 2004. - 198с.
10. Сенько А. С., Лысухо Н. А., Зубрицкий В. С.. Методические подходы к расчету и картированию критических нагрузок азота и серы на экосистемы Беларуси. // Природопользование. -№4. –2004. –С. 80-85.
11. Степановских А.С. Прикладная экология: охрана окружающей среды: Учебник для вузов. –М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. -751с.
12. Хван Т.А. Промышленная экология. –Ростов-на Дону: Феникс. -2003. - 320с.
13. Челноков А.А. Основы промышленной экологии: Учебное пособие. –Мн.: Высшая школа, 2001. -343с.
14. Экологические проблемы городов Беларуси и пути их решения / Обзорная информация. / Авт. Челноков А.А., Ющенко Л.Ф., Елизарова Л.В., Фридлянд М.Е. –Мн.: ОДО «ЛОРАНЖ-2», 2001. -44с.
15. Экология города./ А.С.Курбатов, В.Н.Башкин, Н.С.Касимов. –М.: Научный мир. -2004. -624с.
16. Экология города: Учебник. Под общей редакцией Стольберга Ф.В. – К.: Либра, 2000. -464с.