

**А. В. Мананков**

**ГЕОЭКОЛОГИЯ.  
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**А.В. Мананков**

**ГЕОЭКОЛОГИЯ.  
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Учебное пособие

Томск  
Издательство ТГАСУ  
2010

УДК 502/504:008(075.8)  
М 23

**Мананков, А.В.** Геоэкология. Промышленная экология. [Текст] : учеб. пособие / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 204 с. – ISBN 978-5-93057-348-0.

Пособие включает в себя сведения теоретического характера, материал для практических занятий, ориентированных на изучение и закрепление знаний о базовых понятиях и количественной оценке степени трансформации компонентов окружающей среды под воздействием техногенных, антропогенных и природных (эволюционных и катастрофических) факторов. С позиции системного анализа рассмотрена классификация вредных и опасных производственных факторов и приведены задачи для обучения расчету общей оценки условий труда. Эти знания необходимы при составлении проектов на строительство и любую другую хозяйственную деятельность, при проведении всех видов экологического контроля на разных этапах жизненного цикла инновации и охраны окружающей среды урбанизированных территорий, а также при решении вопросов городской и архитектурно-строительной экологии.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по естественнонаучным специальностям (010000) и специальностей направления 280000 «Безопасность жизнедеятельности».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Томского государственного архитектурно-строительного университета.

Рецензенты:

докт. геол.-мин. наук, профессор Томского политехнического университета **В.Н. Сальников**;

канд. хим. наук, доцент Томского государственного архитектурно-строительного университета **В.М. Владимиров**.

ISBN 978-5-93057-348-0

© Томский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2010  
© А.В. Мананков, 2010

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	7
<b>Введение</b> .....	9
<b>1. Экологические функции геологической среды и факторы их трансформации</b> .....	11
1.1. Геологическая среда и геоэкология .....	11
1.2. Экологические функции геологической среды .....	13
1.3. Природные, антропогенные и техногенные источники трансформации окружающей среды .....	24
1.4. Понятия кларка и технофильности элементов .....	30
1.5. Приоритетные загрязнители .....	31
Контрольные вопросы и задания .....	32
Список рекомендуемой литературы .....	33
<b>2. Основные стадии эколого-геохимических исследований и системы размерностей</b> .....	36
2.1. Стадии геоэкологических исследований .....	36
2.2. Система размерностей в прикладной геохимии и геоэкологии .....	37
Контрольные вопросы и задания .....	41
Список рекомендуемой литературы .....	41
<b>3. Аналитические методы количественного определения загрязняющих веществ</b> .....	44
3.1. Физико-химические принципы основных методов анализа .....	44
3.2. Методы концентрирования поллютантов .....	46
3.3. Классификация аналитических методов на основе физико-химических принципов .....	47
3.4. Краткая характеристика физико-химических аналитических методов .....	52
3.5. Приборы и средства для измерения гамма-фона .....	54
3.6. Аппаратура для инспекционных (мгновенных) измерений значений объёмной активности (ОА) радона в воздухе помещений .....	54
3.7. Методы и аппаратура для измерения средних значений объёмной активности радона в воздухе помещений .....	62

3.8. Краткая характеристика физических аналитических методов.....	70
Контрольные вопросы и задания.....	78
Список рекомендуемой литературы .....	79
<b>4. Методы математической обработки геоэкологических данных .....</b>	<b>81</b>
4.1. Некоторые сведения о метрологии и системе единиц в геоэкологии .....	81
4.2. Статистические расчеты .....	86
4.3. Расчет погрешностей измерений .....	86
4.4. Интерпретация и сравнение полученных данных.....	88
Контрольные вопросы и задания .....	90
Список рекомендуемой литературы .....	91
<b>5. Типовые задачи по геоэкологии .....</b>	<b>93</b>
Задача 5.1. (типовая для выбора метода анализа) .....	93
Задача 5.2 .....	93
Задача 5.3. (типовая для расчета чувствительности и предела обнаружения данного метода анализа).....	94
Задача 5.4. Математическая обработка результатов измерений .....	95
Задача 5.5. Математическая обработка результатов измерений .....	96
Контрольные вопросы и задания .....	99
Список рекомендуемой литературы .....	100
<b>6. Фоновые концентрации поллютантов в геомониторинге и промышленной экологии .....</b>	<b>102</b>
6.1. Фоновое загрязнение окружающей среды .....	104
6.2. Классификация загрязнителей и их источников .....	107
6.3. Задачи для самостоятельного решения и к семинарским занятиям .....	109
Контрольные вопросы и задания.....	109
Список рекомендуемой литературы .....	110
<b>7. Критерии качества атмосферного воздуха как производственного фактора для оценки условий труда .....</b>	<b>113</b>
7.1. Качество атмосферного воздуха.....	114
7.2. Эффект суммации.....	116
7.3. Задача 1. Расчет степени загрязнения атмосферного воздуха по отношению к ПДК <sub>сс</sub> , ПДК <sub>мр</sub> и ПДК <sub>рз</sub> .....	117

7.4. Гигиенические критерии и классификация условий труда при воздействии факторов рабочей среды и трудового процесса .....	118
7.5. Классификация опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003.74* .....	119
7.6. Классификация условий труда (Р 2.2.2006-05).....	122
7.7. Общая гигиеническая оценка условий труда .....	125
Контрольные вопросы и задания .....	127
Список рекомендуемой литературы .....	127
<b>8. Роль климатических факторов в загрязнении атмосферы .....</b>	<b>129</b>
8.1. Влияние ветра и температуры .....	132
8.2. Определение концентрации вредных веществ при скоростях ветра, отличных от опасных .....	135
Задача 1 (расчет опасной скорости ветра).....	136
Задача 2 .....	138
Контрольные вопросы и задания .....	138
Список рекомендуемой литературы .....	138
<b>9. Санитарно-защитная зона предприятия с учетом метеопараметров .....</b>	<b>141</b>
9.1. Понятие санитарно-защитной зоны, промышленной зоны, ее размеры, классификация .....	148
9.2. Распространение загрязняющих веществ атмосферным воздухом .....	152
9.2.1. Показатели качества воздуха .....	152
9.3. Метеорологические условия и распространение загрязняющих веществ .....	155
9.3.1. Общая циркуляция атмосферы .....	155
9.3.2. Распространение загрязняющих веществ с локальными воздушными потоками .....	156
9.3.3. Механизмы рассеяния.....	156
9.3.4. Скорость ветра как лимитирующий фактор СЗЗ .....	158
9.4. Устойчивая стратификация атмосферы и температурная инверсия.....	160
9.5. Поведение загрязняющих веществ в атмосфере .....	162
9.6. Установление размеров санитарно-защитной зоны ( $L_0$ ) .....	165
9.6.1. Общие принципы расчета расстояния $L_0$ от центра СЗЗ до ее внешней границы в заданном направлении .....	165

9.6.2. Методика расчета расстояния от центра СЗЗ до ее внешней границы в заданном направлении .....	165
Задача 1 .....	166
Контрольные вопросы и задания.....	174
Список рекомендуемой литературы .....	175
<b>10. Расчет величины суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферу из столярного цеха.....</b>	<b>178</b>
10.1. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ) при механической обработке древесины.....	178
10.2. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных материалов.....	180
Задача .....	183
Типовые задачи по курсу «Промышленная экология». Задача 1 .....	186
Задача 2 .....	187
Задача 3. Распространение поллютантов в атмосферном воздухе .....	191
Задача 4. Расчет интегральных экологических показателей техногенных воздействий.....	193
Контрольные вопросы и задания.....	195
Список рекомендуемой литературы .....	196
<b>Заключение .....</b>	<b>198</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>201</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Глубоко осознанный переход от отраслевой экстенсивной экономики к инновационному типу экономики, основанному на реализации фундаментальных научных результатов (новшеств), выдвигает целый ряд проблем, затрагивающих сохранение окружающей среды и самого человека в биосфере.

На современном этапе забота о сохранении природы заключается не только в разработке и соблюдении законодательства об охране Земли и ее недр, лесов и вод, уникальной атмосферы, животного и растительного мира, но и в познании закономерностей причинно-следственных связей между различными видами человеческой деятельности и изменениями, происходящими в природной среде.

Исходя из того, что изменения в окружающей среде являются результатом воздействия многих групп факторов (природных, антропогенных и техногенных), познание закономерностей природных процессов и управление уровнем воздействия на них со стороны человека служит одной из приоритетных задач теоретической геоэкологии и ее прикладной отрасли – промышленной экологии.

Для комплексного решения проблем в системе «природа-человек» необходимы специалисты широкого профиля, освоившие основы геоэкологических знаний. С учетом изложенных положений построена логика подачи материала в книге.

Вначале дается понятие геологической среды с позиции геологической истории биосферы. Рассмотрены известные и выделенные нами экологические функции геологической среды. Приведены определения природных, антропогенных и техногенных факторов. Дано понятие «кларк» химических элементов и раскрыто содержание термина «технофильность» элементов-поллютантов. Затем представлены основные стадии эколого-геохимических исследований на разных этапах жизненного цикла инновации, способы и приборы для аналитических измерений

и кратко даны методы математической обработки геоэкологических данных. Поскольку пособие предназначено и для практических занятий, то эти разделы сопровождаются рассмотрением типовых задач, решение которых позволит получить опыт обработки экспериментальных данных. Отдельный раздел посвящен фоновому геоэкологическому мониторингу преимущественно загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Раздел «Промышленная экология» начинается со знакомства с критериями качества и нормативными показателями атмосферного воздуха, а также гигиеническими критериями и классификацией условий труда при воздействии факторов рабочей среды и трудового процесса, далее даны классификация вредных и опасных производственных факторов и классификация условий труда. Приведены основы для расчета вредности всех производственных факторов и определения общей оценки условий труда, а также размера санитарно-защитной зоны предприятия с учетом метеопараметров. Последний раздел знакомит читателя с примерами расчетов выбросов загрязняющих веществ из столярного цеха, степени рассеивания ЗВ в атмосфере в зависимости от высоты трубы, экологического класса предприятия и расчетов интегральных экологических показателей техногенных воздействий. Полученные на практике знания будут востребованы, в первую очередь, при разработке мероприятий по обеспечению безопасности производства и уменьшению его негативного воздействия на окружающую среду. Этой тематике, начиная с классификаций мероприятий по рациональному использованию воздуха, воды и сырьевых ресурсов (природных и вторичных), серьезное внимание уделено в теоретических лекционных курсах, читаемых автором настоящего учебного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Современная *геоэкология* (в отличие от географического понимания, предложенного К. Троллем) в качестве объекта изучения охватывает *геологическую среду* во всех ее проявлениях, ее эволюцию в процессе геологической истории биосферы под воздействием эволюционных и катастрофических природных факторов, а также возрастающих по экспоненте антропогенного (демографический взрыв XX в.) и техногенного (хозяйственная деятельность общества) факторов.

Геоэкология имеет свой предмет (начиная с прокариотов раннего протерозоя и включая все более поздние семейства живых организмов) в геологической истории биосферы, которая пережила целый ряд глобальных экологических катастроф. Современная биосфера несет в себе четкие следы «былых биосфер», которые эволюционируют в процессе развития геологической среды.

Расширение границ геоэкологии должно сопровождаться привлечением новых методов исследования и повышением ее научного уровня.

Одно из самых значительных достижений XX в., которое далось с огромным трудом и ущербом, – это широкое осознание физической ограниченности казавшихся более 300 лет НТР неисчерпаемыми природных ресурсов и возможностей планеты Земля.

Уровень использования природных ресурсов и степень трансформации (деградации) компонентов окружающей среды является главной проблемой современного общества. В связи с этим геоэкология становится междисциплинарным научным направлением и одновременно важнейшей фундаментальной наукой XXI в. Вместе с тем реализация *концепции устойчивого развития*, обеспечивающей удовлетворение потребностей общества и не ставящей при этом под угрозу будущие поколения, может быть решена в нашем государстве по примеру развитых

стран путем научно обоснованного подхода к организации и функционированию промышленных производств и строительства, в основе которых лежит массив знаний *промышленной экологии*.

Но любой специалист, особенно инженер-строитель и архитектор как основные участники процесса проектирования и строительства зданий и сооружений и их реконструкции, должен обладать знанием основ методов геоэкологии. Они нужны для того, чтобы органично вписать эти объекты техносферы в природную среду, создать условия для сохранения природных систем и одновременно повысить качество жизни человека в этих системах.

Более того, к настоящему времени на стыке геоэкологии и промышленной экологии появились и интенсивно развиваются урбоэкология, градостроительная экология, архитектурно-строительная экология, ландшафтно-архитектурная экология, городская сенсорная видеоэкология, архитектурная экофизика (архитектурная климатология, акустика и светология).

В основе этих жизненно важных наук, появившихся по требованию времени, лежат фундаментальные знания, методы и способы геоэкологии и промышленной экологии, основные типовые задачи которых приведены в данном пособии.

Работа с изданием будет способствовать экологизации мышления, а затем и реализации принципов создания экологической городской среды и сохранению устойчивой среды жизни на всех иерархических уровнях, вплоть до планетного.

# 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ФАКТОРЫ ИХ ТРАНСФОРМАЦИИ

Геоэкология пользуется понятием *«ноосфера»*, введенным в науку значительно раньше появления самой геоэкологии. Впервые оно было упомянуто в работах Э. Леруа и П. Тейяра де Шардена. Его существенно развил акад. В.И. Вернадский: «Ноосфера – это высшая стадия биосферы, связанная с возникновением и развитием человечества, которое, познавая законы природы и совершенствуя технику, начинает оказывать определяющее влияние на ход процессов в охваченной его воздействием сфере Земли, глубоко изменяя ее своей деятельностью».

## 1.1. Геологическая среда и геоэкология

Основным *объектом изучения геоэкологии* является геологическая среда и функционирующие с ее участием природные и природно-техногенные экосистемы. Термин «геологическая среда» широко используется специалистами и учеными различных отраслей знаний.

Существующие отличия его трактовки вытекают из различий в направлениях исследований, с одной стороны, и из традиций научных школ и субъективных взглядов конкретных лиц, с другой. В инженерной геологии геосреда рассматривается как верхняя часть разреза литосферы, в горнодобывающем и геологоразведочном деле – полностью связана с изучением и разработкой недр.

Эти две трактовки объединяет то, что понятие «геологическая среда» тесно увязывается только с деятельностью человека. А из этой связи вытекает алогичный вывод о том, что вне сферы хозяйственной деятельности человека нет геологической среды.

Анализ существующих понятий термина «геологическая среда» позволяет выявить два исторически сложившихся мето-

дологически разных направления или взгляда на этот сложный природный объект.

Представители первого направления геологическую среду понимают в прямом (узком) смысле как среду по отношению к какому-либо объекту (техногенному или природному), именно в ней находящемуся (Г.А. Марков, Л. Мюллер, П.Н. Панюков, Е.М. Сергеев, Г.С. Вартамян, Г.Н. Кашковский и др.).

Исследователи второго течения рассматривают геологическую среду как сложный объект природы, объективно существующий, независимо от деятельности людей (А.Д. Говард и И. Ремсон, Л.Д. Белый, Г.А. Голдовская, Л.В. Шаумян, В.Д. Ломтадзе, С.В. Клубов и Л.Л. Прозоров и др.).

Однако, по-нашему мнению, без учета всей долгой геологической истории, роли биоты, атмо- и гидросферы, а также человека невозможно получить достоверные сведения о современных качественных параметрах геологической среды.

Анализ имеющихся формулировок различных авторов позволяет дать современную трактовку понятия «геологическая среда». *Геологическая среда – это комплексная гетерофазная система биосферы, формирующаяся в результате геологически длительного взаимодействия земной коры с внутренними геосферами Земли, а также с гидросферой, атмосферой и живыми организмами. Она обеспечивает существование и эволюцию растительного, микробиологического и животного мира, включая человека.*

Более 60 % природных минералов имеют непосредственно биогенное происхождение. Деятельность человека не только ускоряет многие естественные процессы, но и может привести к серьезной трансформации и даже катастрофе любого уровня.

Таким образом, исследование геологической среды с позиций современной геоэкологии позволяет получать наиболее объективные данные по проблеме перспектив природных ресурсов и поддержания качества окружающей среды. При этом важно отметить, что появляется возможность экстраполяции не по отрас-

левому принципу и не по отдельным компонентам биосферы, а в рамках интегративной и междисциплинарной геоэкологии.

## 1.2. Экологические функции геологической среды

Человечество совсем недавно осознало, что геологическая среда для населения планеты является не только источником природных ресурсов, но и средой жизнеобитания.

Теперь идет речь о полном комплексе экологических функций геологической среды, а их изучение является одной из задач науки геоэкологии.

*Экологические функции* геологической среды (ЭФГС) – это все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение геосреды как источника ресурсов и среды обитания, включая полезные ископаемые, подземные воды, нефть, газ, геофизические поля и протекающие в ней геологические, гидрогеологические и другие природные процессы, в жизнеобеспечении всей биоты, в том числе человека. Экологические функции непрерывно изменяются (подвергаются *трансформации*) под воздействием внутренних (природных) и внешних (техногенных и антропогенных) факторов. На стадии глобального экологического кризиса процесс трансформации все отчетливее представляется *деградацией* ЭФГС.

Реальные экологические функции геологической среды: *ресурсная, геодинамическая, геофизическая, геобиохимическая, защитно-синергетическая и биоэволюционная*. Первые четыре функции предложены Московской школой геоэкологов (В.Т. Трофимов и др.). Систематика этих экологических функций литосферы, предложенная В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом (2006), представлена на рис. 1.1. Две последние – пятая и шестая функции – предлагаются нами, они непосредственно и в большей степени, чем предыдущие, ответственны за эволюцию и саморазвитие биосферы в геологической истории Земли.

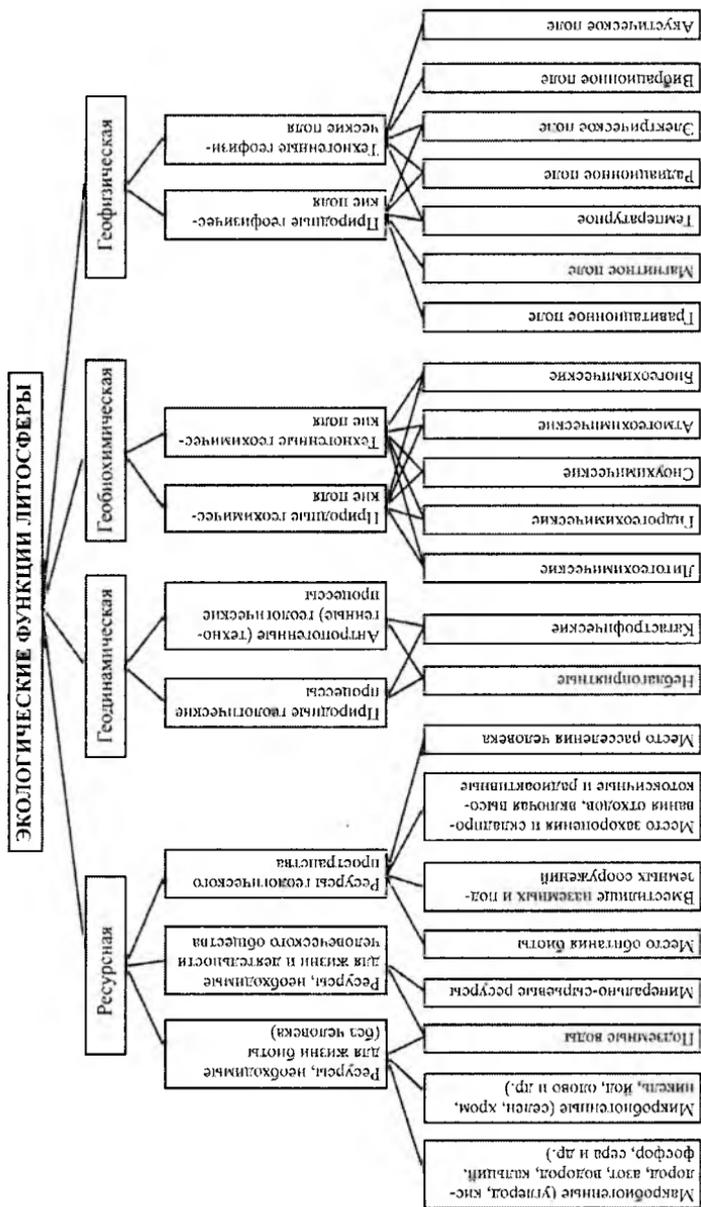


Рис. 1.1. Систематика экологических функций литосферы по Трофимову и Зилингу

1. *Ресурсная ЭФГС* – комплексный показатель количества и качества минеральных, органических и органоминеральных полезных ископаемых, поверхностных и подземных вод, приземной атмосферы и геолого-ландшафтного пространства для жизнедеятельности всех видов биоты в качестве как биогеоценоза, так и социальной структуры. За прошлый XX век потребление природных ресурсов росло по экспоненте. Стихийное развитие общества в течение XX в., экстенсивная экономика, борьба противоположных систем выразились в том, что объемы промышленных отходов и загрязнение окружающей среды росли тоже по экспонентному закону. Так, потребление воды в мире с 1900 г. ( $400 \text{ км}^3$ ) выросло в 2000 г до  $6000 \text{ км}^3$ . Лишь совсем недавно пришло общественное осознание, что только рациональное (безотходное и экологически чистое) использование природных ресурсов определяет **возможность** существования и нормального функционирования уже нынешнего и последующих поколений людей.

2. *Геодинамическая* – функция, отражающая природно- и техногенно наведенные процессы и явления (землетрясения, оползни, карст, суффозия, оврагообразования и т. п.), оказывающие влияние на условия жизнедеятельности, комфортность и безопасность биоты, включая человека.

3. *Геофизическая* – функция, отражающая свойства внешних и внутренних геофизических полей (гравитационного, магнитного, электрических, радиационных, тепловых и т. п.) природного и техногенного происхождения, способных во многом влиять на условия функционирования живых организмов в целом и состояние комфортности человека в том числе.

4. *Геобиохимическая* – функция, отражающая свойство геохимических (вещественно-металлогенических) полей природного и техногенного происхождения влиять на состояние живых компонентов экосистем. Наибольшая скорость деградации ЭФГС фиксируется в пределах урбанизированных территорий и природно-техногенных комплексов. Вещественную основу человеческого организма и других видов составляет вода (80–98 %).

Именно вода является активным переносчиком вещества и энергии. Органические составляющие (белки, жиры, углеводы) имеют сложный состав. При этом они, как и сама вода, в процессе жизненного цикла с участием атмосферы постоянно обновляют (изменяют) свой состав. Например, в белках содержатся такие химические элементы, %, как: кислород (23,4), углерод (3–51), водород (4–9), фосфор (0–7), сера (0,8), железо (0,1) и др. Под действием солнечной энергии взаимодействие живых организмов с атмосферой, гидросферой и литосферой обеспечивает биогеохимический кругооборот веществ (воды, углерода, фосфора, азота и их соединений). Наличие жизни и биосферы принципиально отличает нашу планету от других в Солнечной системе.

**5. Биоэволюционная** – функция, отражающая особенности зарождения и развития процессов взаимодействия живой и космической материи. Первые признаки жизни возникли только на третьем этапе развития газовой оболочки земли, в постархейском протерозое (2,5 млрд лет назад), когда закончился этап сильного парникового эффекта, в атмосфере доминировал азот и появился *кислород* (Мананков, 1998). Так появились прокариотные существа – предшественники бактерий и водорослей. По мере роста давления кислорода в газовой оболочке появились (но так же одноклеточные) эукариоты, бактерии, простейшие (верхняя часть дорифейского протерозоя). Первые многоклеточные, зеленые растения фиксируются на фоне стремительного роста давления кислорода лишь в верхнем рифее (650 млн лет назад). А позднее начинается эонотема фанерозоя (с 570 млн лет назад), в течение которого происходил непрерывно-прерывистый рост количества видов с глобальными экологическими кризисами и с их преодолением на более высоких биоструктурных уровнях. Появление *Homo sapiens* катастрофически быстро (с позиции геологического времени) породило очередной глобальный экологический кризис. Он отличается от всех предыдущих по своему происхождению, т. к. создан стихийной хозяйственной деятельностью.

Важный аспект биоэволюционной экологической функции заключается в том, что живые организмы являются создателями почвы, а после отмирания органика накапливается в рыхлых отложениях, осадочных и метаморфических породах. Здесь она формируется в виде скоплений и даже различных месторождений: торфа, бурого и каменного угля, горючих сланцев, нефти, газа, известняков, мраморов и многих других полезных ископаемых.

**6. Защитно-синергетическая** – функция, отражающая самоорганизацию и саморегуляцию экосистем в процессе развития биосферы в геологическом времени. Благодаря взаимодействию биоты с окружающей средой обеспечивается гомеостаз экосистем, т. е. способность поддерживать их основные параметры в благоприятных для жизнедеятельности условиях. Восстановление равновесия в экосистемах происходит в процессе самоочищения компонентов окружающей среды при ведущей роли живых организмов и физико-химических барьеров. Весьма наглядно проявляется защитная роль живых веществ, например, в ситуациях, когда наземный растительный покров существенно насыщает приземную атмосферу водяными парами, которые исполняют роль терморегулятора в термическом режиме биосферы. Другой пример, еще более наглядный, – это защита атмосферы от загрязнения пылью, аэрозолями и газами.

Академик В.И. Вернадский выделил целых девять биогеохимических функций живого вещества: газовую, кислородную, окислительную, кальциевую, восстановительную, концентрационную, функцию метаболизма и др. Позднее усилиями А.И. Перельмана, А.В. Лаппо, А.А. Ярошевского и др. эти функции получили дальнейшее развитие и детально рассматриваются в геохимии и биогеохимии.

Городские территории сейчас оказались наиболее далекими от равновесия. Оценка геологической среды города проводится на основании натуральных наблюдений и изучения карт (геологических, геофизических, геохимических, гидрогеологических и т. п.) и космоснимков. Особое внимание обращается на динамику бы-

стро протекающих экзогенных геологических процессов (оползни, карст, оврагообразование и др.) а также радиогеохимические критерии. В итоге получаем необходимую информацию для зонирования территории и экспертно-качественной оценки устойчивости геологической среды, что является основой для проектирования строительства, оптимизации транспортных магистралей, селитебных и рекреационных зон. Экологические последствия трансформации геологической среды на урбанизированных территориях обычно носят негативный и только в отдельных редких случаях (например, при выделении рекреационных зон города) позитивный характер.

### **Трансформация экологических функций геологической среды**

На современном этапе, серьезность экологических проблем которого обычно скрывают понятием «эпоха техногенеза», постоянно растет риск трансформации всех экологических функций. Определяющие причины этого процесса на всех уровнях (от точечного до регионального и глобального) для основных экологических функций – стихийное развитие технологий, нерациональное отраслевое использование природных ресурсов и демографический всплеск. Поэтому наиболее наглядно и с максимальной скоростью трансформация экологических функций геологической среды осуществляется на интенсивно застраиваемых городских и урбанизированных территориях. Выяснение причин и глубокое изучение механизмов трансформации экологических функций на конкретной территории необходимо для развития методов инженерной защиты окружающей среды и оптимизации последствий трансформации экологических функций для минерально-сырьевых ресурсов, живых организмов и населения, а также развития теоретической геоэкологии. Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий комплексно рассмотрены в книге «Трансформация экологических

функций литосферы в эпоху тектогенеза» (Трофимов и др., 2006). Наши представления о последствиях изменения экологических функций геологической среды иллюстрируются в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Последствия изменения экологических функций геологической среды на урбанизированных территориях**

Экологическая функция геосреды	Объект воздействия	Тип воздействия	Экологические последствия
Ресурсная (возобновляемые и невозобновляемые)	Все типы злаков, растений, горных пород, почвы, водные ресурсы, полезные ископаемые	Разведка, добыча и переработка ресурсов для обеспечения благосостояния и развития хозяйственных отраслей	Дефицит природных полезных ископаемых, чистой воды, рекреационных зон Загрязнение на порядки окружающей среды Ущерб биоте и здоровью людей, голод
Геодинамическая	Урбанизация Искусственные моря Строительство	Статическая и динамическая перегрузка, подтопление Опасные экзогенные процессы Геомеханическая активность	Активизация тектонических процессов, оползни, обвалы, осыпи, провалы, просадка грунтов, термопросадки, сели Повышение уровня грунтовых вод, подтопление городов Геопатогенные зоны Разрывы нефтегазопроводов и др. инженерных коммуникаций Рост заболеваний
Геофизическая	Урбанизация Подземные сооружения	Опасные гео- и электрофизические процессы Радиация	Повышение сейсмичности, шума, вибрации Купола тепла над городами Хронические заболевания, онкология

Экологическая функция геосреды	Объект воздействия	Тип воздействия	Экологические последствия
Геобиохимическая	Выбросы предприятий и транспорта, сбросы, пром-отходы	Токсиканты разных классов, диоксины Ионизирующие излучения, emanации радона Автолитотрофы	Геобиохимическое (биотическое и микробиологическое) загрязнение воздуха, поверхностных и подземных вод, экосистем, технологических установок Коррозия материалов зданий Онкология, генетические, сердечно-сосудистые и др. болезни
Биогеоэволюционная	Все ресурсы экосистем биосферы, внешние оболочки Земли Рост видов биоты	Фотосинтез Диссипация Бифуркации хода эмбрио- и морфогенеза Поливариантность онтогенеза Биофильтрация Фоссилизация, катагенез, диагенез, метаморфизм	Создание живого вещества за счет неживого и наоборот, создание карбонатных, органических и др. природных ресурсов из отмерших организмов Эволюция газового состава атмосферы, вод мирового океана, почв, кор выветривания, земной коры
Защитно-синергетическая	Природно-техногенные комплексы, урбо-комплексы Взрывы, пожары Землетрясения, цунами, вулканизм ( наземный и подводный)	Преобразование энергии Солнца, восстановление типов миграции и кругооборота химических элементов в биосфере как едином организме Восстановление гомеостаза естественных экосистем	Обеспечение потенциала экологической устойчивости, которая возникает в биосфере с позиции синергетики и голографической модели вещества при пространственной и/или временной когерентности

Геофизическое состояние геологической среды определяется влиянием на ее свойства природных физических полей, а также техногенных факторов, обусловленных возрастающим по экспоненте воздействием динамических, вибрационных, тепловых, электромагнитных и ионизирующих полей. Область влияния и интенсивность этих видов воздействия устанавливаются на основании инструментальных измерений, т. е. количественных показателей.

Степень геохимического загрязнения может устанавливаться на основании анализа загрязнения городских депонирующих сред, это почвы, донные отложения, снеговой покров, растительность. Важная роль отводится состоянию фитоценозов, а также измерению мощности и количества выбросов, сбросов загрязняющих веществ и радиусов их распространения. Степень геохимической опасности для биотических компонентов в пределах городской территории может изменяться от очень высокой до очень низкой.

В настоящее время в геоэкологии интенсивно исследуются геохимические функции геологической среды, связанные с загрязнением всех компонентов окружающей природной среды, включая депонирующие. Постепенно (по мере накопления статистически значимых массивов информации) математические методы исследования внедряются и в другие разделы геоэкологии, затрагивающие все остальные экологические функции литосферы.

Под воздействием природных, антропогенных и техногенных факторов (эволюционных и катастрофических) геологическая среда испытывает непрерывно-прерывистые изменения. В геоэкологии они выражаются в последовательной трансформации одной или нескольких экологических функций геологической среды, что влечет за собой множество ярковыраженных последствий (табл. 1.2). Как следует из таблицы, экологические последствия трансформации экологических функций геологической среды на урбанизированных территориях в подавляющем

числе случаев носят негативный, и только в отдельных случаях – позитивный характер.

Таблица 1.2

**Последствия изменения экологических функций литосферы на урбанизированных территориях (по Трофимову, Зилингу, 2006)**

ЭФЛ	Виды воздействия	Объект исследований		Экологические последствия		
				Позитивные	Негативные	
Ресурсная	Откачка подземных вод Строительство зданий Складирование и захоронение отходов Планировка территорий Высокая плотность населения	Ресурсы, необходимые для жизни	биоты	Массивы горных пород, исключая зону выветривания (почву)	-	Угнетенность растительности
			человека	Подземные воды	-	Перебои с водоснабжением в связи со сработкой водоносных горизонтов
		Ресурсы геологического пространства	Для расселения		-	Дефицит площади
			Для размещения отходов		-	Эстетическое «обеднение» и отчуждение земель, деградация биоценозов
Геодинамическая	Откачка подземных вод для водоснабжения Асфальтирование поверхности Утечки из водопроводов Подрезка и пригрузка склонов Строительство в криолитозоне (отепляющее воздействие)	Геологические процессы	Природные	Карстующие массивы горных пород	Повышение комфортности проживания в связи со стабилизацией карста при асфальтировании	Понижение комфортности проживания в связи с карстовыми провалами
				Массивы просядочных лесов	-	Повышение заболеваемости в связи с увеличением влажности из-за трещин в зданиях

ЭФЛ	Виды воздействия	Объект исследований		Экологические последствия		
				Позитивные	Негативные	
Геодинамическая	Откачка подземных вод для водоснабжения Асфальтирование поверхности Утечки из водопроводов Подрезка и пригрузка склонов Строительство в криолитозоне (отепляющее воздействие)	Геологические процессы	Природные	Оползневые массивы	-	Перенос жилых домов, реже гибель людей
				Заовраженные массивы	Заповедные зоны города	Дискомфорт проживания в условиях расчлененного рельефа
			Техногенные	Оседание поверхности	-	Потеря земельных ресурсов, особенно в городах прибрежно-морской зоны
				Подтопление	-	Повышение заболеваемости
				Термопросадки	-	Преждевременная потеря жилья
			Геобиохимическая	Складирование промышленных и коммунально-бытовых отходов Выбросы промышленности Выбросы транспорта	Геохимические поля	Природные и техногенные
Подземные воды	-	Повышение заболеваемости в связи с ухудшением качества воды				
Подземные воды	-	Повышение заболеваемости из-за радоноопасности				
Наземные растительные сообщества	-	Функционально-морфологические изменения				
Биосубстраты	-	Повышение заболеваемости				

ЭФЛ	Виды воздействия	Объект исследований		Экологические последствия		
				Позитивные	Негативные	
Геофизическая	Выбросы радиоактивных веществ Движение транспорта Работа механизмов Асфальтирование поверхности	Геофизические поля	Природные и техногенные	Радиационное	–	Переселение, запрет проживания
				Акустическое	–	Ухудшение слуха, шумовая болезнь у человека
				Вибрационное	–	Обеднение орнитофауны
				Электромагнитное	–	Заболевание сердечно-сосудистой и нервной систем

Так как развитие науки геоэкологии происходит на стыке многих наук: естественных, социально-экономических, технических – для решения геоэкологических проблем необходим синтез нескольких научных направлений, позволяющий получать комплексную оценку окружающей среды и природно-техногенных систем. Именно такая комплексная оценка, включающая в себя результаты изучения геолого-структурной, геофизической, геохимической и географической ситуаций, является основой для принятия рациональных (в научном плане) решений по планированию хозяйственной деятельности и сохранению благоприятных условий для жизнедеятельности населения.

### 1.3. Природные, антропогенные и техногенные источники трансформации окружающей среды

К постоянно действующим природным источникам загрязнения относятся выветривание и сопровождающие его разнообразные процессы коррозии (физической, физико-хими-

ческой, биогеохимической) строительных материалов и горных пород. Сюда же входят различные виды воздействия, обусловленные эманацией ювенильных газов, включая радон, аргон, метан, другие углеводороды из земных недр.

К *периодическим, обычно быстро протекающим (импульсным), природным процессам* относятся различной мощности землетрясения, извержения вулканов, цунами, наводнения, оползни, селевые потоки. В истории биосферы именно они выступают в качестве критических факторов.

Перенос различных видов загрязнений в окружающую среду происходит также за счет перехода в атмосферу *морской соли* и более организованной, чем микроорганизмы, *жизнедеятельности* в биосфере. К последнему виду относятся *антропогенные источники*, охватывающие весь комплекс бытовой деятельности людей и все виды ее последствий.

Существование и развитие жизни в биосфере возможно только в равновесии с окружающей средой. Всякое нарушение этого равновесия, как следует из геологической истории биосферы, влечет за собой неустойчивое состояние системы, что, в конце концов, приводит к глобальному кризису и гибели наиболее развитых видов живых организмов.

Демографический взрыв в XX в. практически не способствовал восстановлению разумного взаимодействия человека с природой. Академик А.Е. Ферсман, один из основателей науки геохимии, еще полвека назад указывал: «Создавая неустойчивые системы, человек направляет свою деятельность против естественно идущих геохимических реакций, с которыми он вступает неизбежно в конфликт». В самом деле, сейчас все больше людей осознает, что нарушение гармоничного природного равновесия неизбежно таит в себе опасность для человека как биологического вида.

*Техногенными источниками* трансформации и загрязнения окружающей среды *постоянного* воздействия являются: добыча любых полезных ископаемых (энергетических, рудных и неруд-

ных), все виды промышленности, энергетика, сельское хозяйство и лесоразработки.

*Техногенные источники периодического действия* – это техногенные аварии, катастрофы, войны.

Масштабы воздействия человека на природу огромны. А.Е. Ферсман, введя понятие *техногенеза* в 1933 г., установил: «Хозяйственная и промышленная деятельность человека по своему масштабу и значению сделалась сравнимой с процессами самой природы... Природные геохимические законы распределения и концентрации элементов сравнимы с законами геохимии, т. е. с химическими преобразованиями, вносимыми промышленностью и народным хозяйством. Человек геохимически переделывает мир».

В результате техногенного рассеяния химических элементов и их химически активных соединений вокруг источников загрязнения возникли зоны или ореолы их аномальных содержаний. По размерам ореолов различают техногенные аномалии трех типов:

- локальные;
- региональные;
- глобальные.

**Локальные и региональные** (например, химкомбинат г. Северска, Кузбасс с месторождениями угля, Западная Сибирь с месторождениями нефти и газа и др.) **техногенные геодинамические и геохимические аномалии** формируются в ходе всех видов хозяйственной деятельности: добычи твердых полезных ископаемых, добычи нефти и газа, производства энергии, промышленного производства, жилищно-коммунальной деятельности, функционирования транспорта, земледелия, животноводства, использования возобновляемых природных ресурсов (вырубка леса и переработка древесины, рыбное хозяйство) и др. Таким образом, человек своей деятельностью выводит из природного равновесия и перемещает огромные массы веществ, которые затрагивают все зоны земной коры. В первую очередь, это

твердые вещества литосферы, активно вовлекаемые в атмосферу и гидросферу. Далее – все разнообразие биоты, испытывающей постоянно возрастающий гнет техногенеза.

Источниками загрязнения окружающей среды, особенно на этих уровнях, являются отходы промышленной, коммунально-бытовой, сельскохозяйственной деятельности, использование удобрений, аддохимикатов и др.

Производственные отходы подразделяются:

1) на твердые и жидкие, специально собираемые и сохраняемые;

2) стоки, рассеиваемые в окружающую среду в виде жидких потоков, содержащих твердые взвешенные частицы;

3) выбросы, рассеиваемые в виде газовых потоков, содержащих также твердые (пыль) и жидкие (аэрозоли) взвешенные частицы. Особое место в загрязнении окружающей среды и во вредном воздействии на биоту и человека занимают металлы. Загрязняются все компоненты окружающей среды: воздух, вода, почва, растительный покров, депонирующие среды (снег, донные отложения).

Практически ни одно предприятие не может функционировать без выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы или водотоки. Для обеспечения чистоты окружающей среды принято нормировать, например, вредные промышленные выбросы в атмосферу. В РФ для количественного контроля качества воздуха установлены предельно допустимые концентрации (**ПДК<sub>с.с.</sub>** – среднесуточные, **ПДК<sub>м.р.</sub>** – максимально разовые, **ПДК<sub>р.з.</sub>** – в рабочей зоне и др.), предельно допустимые выбросы (**ПДВ**) и временно согласованные выбросы (**ВСВ**).

По определению ПДВ представляют собой количество выбросов от отдельных источников, при которых в районе (с учетом действия смежных источников) концентрация поллютантов не превышает их ПДК<sub>с.с.</sub> В случаях, когда установление ПДВ по объективным причинам невозможно, предусматривается поэтапное снижение выбросов и определение ВСВ.

Таким образом, мощность выброса  $M = \text{ПДВ}$  или  $M = \text{ВСВ}$ , если максимальная концентрация от источника  $C_m$  удовлетворяет условию

$$C_m + C_{\text{ф}} < \text{ПДК},$$

где  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация поллютанта.

Экстраполяция и предсказание распространения ЗВ осуществляется по результатам моделирования процессов рассеяния веществ от источников. Различают два основных метода моделирования:

- физико-химическое;
- математическое.

Физико-химическое моделирование предполагает создание физической или физико-химической модели – макета – и изучение особенностей воздушных течений в аэродинамической трубе. Метод дает довольно точные результаты, но пока используется довольно редко т.к. требует больших материальных затрат и времени. Сейчас распространение получает математическое моделирование, в котором выделяют три группы методов:

- детерминистические, предполагающие использование причинно-следственных уравнений, типа уравнений турбулентной диффузии;

- стохастические, основанные на применении методов теории вероятности, например, гауссовских распределений;

- комбинированные, если используется детерминистическое уравнение, а входящие в него величины вычисляются из вероятностных моделей (подробно об этом см. разд. 7–9).

Борьбе с загрязнением окружающей среды придается все большее значение, она охватывает различные направления и становится все шире. Еще Д.И. Менделеев настаивал, что в химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье. Проблема безотходного производства, разработка безотходных технологических процессов – дальнейшее развитие идей В.И. Вернадского о ноосфере – сейчас главное направление, в первую очередь, всех естественных и технических наук.

**Глобальные аномалии** захватывают большие пространства. В атмосфере поллютанты в виде пыли, аэрозолей и газов переносятся потоками воздуха на многие сотни и тысячи километров. К таким аномалиям чаще относят так называемые кислотные осадки, а также аномалии радиоактивных загрязнений, вызванные ядерными взрывами и техногенными авариями.

Появление кислотных дождей связано с выбросами в атмосферу диоксида серы и оксидов азота теплоэлектростанциями и другими промышленными предприятиями. На высоте в несколько сот метров эти вещества вступают в химические реакции с каплями воды, а потому время жизни этих газов очень короткое, и кислотные дожди, туманы выпадают практически рядом с местом формирования выбросов. К глобальному типу техногенных аномалий они относятся за счет повсеместного распространения промышленных источников подобных выбросов.

Экологические последствия кислотных дождей очень впечатляющие: гибель деревьев и рыбы (например, в Германии, Швейцарии, США, скандинавских странах), гибель людей от заболеваний почек, старческое слабоумие и др.

Механизм воздействия кислотных дождей на биоту и людей довольно сложный. Так, в результате взаимодействия кислотного дождя (это слабый раствор серной, сернистой и азотной кислот, которые образуют на поверхности сульфаты и нитраты, активно воздействующие на любые живые организмы) с почвой появляется свободный Al, который проникает в водоемы. Далее Al с питьевой водой поступает в организм, вступает в реакции с белками, проникает в клетки и нарушает биологические процессы.

К глобальному типу также относится техногенное истощение озонового слоя, начинающегося на высоте 18 км, который предохраняет жизнь на Земле, задерживая основную часть жесткого космического излучения, губительного для всего живого.

Количественный вклад тех или иных источников загрязнений окружающей среды может меняться в широких пределах

в зависимости от природы воздействующих источников, внутренних параметров самой геосреды, а также места и времени.

Мощность природных, антропогенных и техногенных факторов и их вклад в общее загрязнение являются предметом многочисленных исследований, результаты которых не всегда однозначны.

#### 1.4. Понятия кларка и технофильности элементов

Термин «кларк» для характеристики распространенности химических элементов в природе введен А.Е. Ферсманом, назван в честь одного из пионеров геохимии – американского профессора Франка Уиглсуорта Кларка (1847–1931), который первым выполнил исследования (с помощью спектральных методов) и подсчеты среднего химического состава земной коры и слагающих ее горных пород.

После многочисленных уточнений многими учеными, в том числе и российскими (например, акад. А.П. Александров), с помощью все более совершенных аналитических методов понятие «кларк» в настоящее время – важнейшая геохимическая константа, определяющая поведение химического элемента во всех геологических процессах, неизбежно ведущих к дифференциации вещества Земли, к дифференциальному перемещению компонентов, в том числе к накоплению металлов в рудных месторождениях.

А.И. Перельман обратил внимание на обнаруженную им зависимость размера добычи металлов от величины их кларков и ввел понятие *технофильности элемента*  $T$ , выражаемое через отношение его годовой добычи  $D$  к кларку в земной коре  $K$ :

$$T = D / K,$$

где  $K$  – *кларк химического элемента* – константа распространенности элемента в земной коре, гидросфере, атмосфере, Земле

в целом, различных типах горных пород и др., выраженная в весе или числе атомов, процентах, весовых или числовых единицах в отношении всей суммы атомов или какого-либо одного, принятого за константу, например, кремния.

Если при изучении *локальных* аномалий чаще в знаменателе формулы используются *фоновые* концентрации и нормативные для населенных мест ПДК<sub>с.с.</sub>, то при региональных, и тем более глобальных, построениях непременно нужно пользоваться общепризнанными значениями кларков элементов.

Зависимость миграции и концентрации химических элементов от значений их кларков проявляется отчетливо и в техногенных процессах. Это обусловлено тем, что эти процессы совершаются в той же природной среде, где действует единый закон дифференциации. Л.Н. Овчинников в 1990 г. установил *прямую пропорциональность* кларку добываемых за год количеств металлов  $D$ , а также количеств металлов  $P$ , рассеиваемых промышленными предприятиями обратно в окружающую среду. В обоих случаях впереди находятся литофильные элементы (Al, Fe, Ti, Mn и др.), а в конце – драгоценные металлы и редкоземельные элементы.

Ежегодно добывается свыше 100 млрд т минерального сырья; в процессе горных, добычных и строительных работ за 1 год перемещается не менее 1 км<sup>3</sup> горных пород, что сравнимо с денудационной работой рек. При этом степень концентрации и рассеяния химических элементов, связанных с деятельностью человека, прямо пропорциональны его кларку земной коры.

### 1.5. Приоритетные загрязнители

При проведении геоэкологических исследований, включая геомониторинг, загрязнители определяются в атмосфере, воде, почве и биоте. Для каждой природной среды установле-

ны перечни приоритетных загрязнителей, подлежащие определению.

1. В атмосферном воздухе – взвешенные частицы, оксиды серы, азота и углерода, озон, сульфаты, свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды.

2. В атмосферных выпадениях (осадках, снежных покровах, сухих выпадениях) – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды, рН, главные катионы и анионы (катионы калия, натрия, магния и кальция; сульфат-, хлорид-, нитрат- и гидрокарбонат-анионы).

3. В пресных водах – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды, биогенные элементы (фосфор, азот, кремний).

4. В почве и донных отложениях – те же вещества, что и в пресных водах.

5. В биоте (растительность, объекты животного мира) – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды. Исключение – биогенные элементы.

Одновременно проводятся гидрометеонаблюдения, в ходе которых определяют температуру воздуха и воды, атмосферное давление, направление и силу ветра, вид и количество осадков, характер облачности, влажность; на водоемах – уровень, течения, волнение, соленость, ледяной покров.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Кто создавал понятие ноосферы и что оно означает?

2. Что такое экологические функции геологической среды?

3. Охарактеризуйте основные экологические функции геологической среды.

4. Опишите последствия техногенных изменений ресурсной экологической функции геологической среды.

5. Дайте характеристику последствий изменений геодинамической экологической функции геологической среды под воздействием техногенеза.

6. Дайте характеристику последствий изменений геофизической экологической функции геологической среды под воздействием техногенеза.

7. Дайте характеристику последствий изменений геохимической экологической функции геологической среды под воздействием техногенеза.

8. Что лежит в основе отличия природных, антропогенных и техногенных источников загрязнения?

9. Дайте характеристику постоянных и периодических природных и техногенных источников загрязнения.

10. Кто автор термина «техногенез»?

11. Дайте классификацию техногенных аномалий.

12. Назовите основные отличия локальных аномалий от глобальных.

13. Дайте характеристику понятия «технофильность химических элементов».

14. Дайте определение понятия «кларк».

15. Какая зависимость между величиной кларка химического элемента и объемом его добычи из недр Земли и массой, рассеиваемой промышленными предприятиями?

16. Опишите приоритетные загрязнители различных природных сред. Найдите общие и специфические для каждого объекта.

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Алексеевко, В.А.* Экологическая геохимия / В.А. Алексеевко. – М. : Логос, 2000. – 636 с.

2. *Бахур, А.Е.* Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды : автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – М. : ВИМС, 2008. – 34 с.

3. *Маслов, И.В.* Градостроительная экология / И.В. Маслов. – М. : ВШ, 2002. – 284 с.

4. *Мананков, А.В.* Синергетические процессы в геологической среде урбанизированных территорий / А.В. Мананков, Ю.Н. Фатыхова // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ. – 2007. – С. 55–58.

5. *Мананков, А.В.* Развитие идей В.И. Вернадского в современных геологических науках / А.В. Мананков // Междунар. год планеты Земля: проблемы геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2008. – С. 188–193.

6. *Мананков, А.В.* Научные и организационные принципы геомониторинга для строительства / А.В. Мананков, И.И. Подшивалов // Междунар. год планеты Земля: проблемы геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2008. – С. 66–71.

7. *Минакова, Т.Б.* Подходы к оценке геоэкологического состояния урбанизированных территорий / Т.Б. Минакова // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ. – 2007. – С. 22–25.

8. *Тарасов, В.В.* Мониторинг атмосферного воздуха / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, – 2000. – 97 с.

9. *Трансформация экологических функций литосферы* в эпоху техногенеза / В.Т. Трофимов [и др.]. – М. : Ноосфера, 2006. – 720 с.

10. *Хомич, В.А.* Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

11. *Экологические проблемы урбанизированных территорий как следствие трансформации экологических функций литосферы* / В.Т. Трофимов [и др.] // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ. – 2007. – С. 14–18.

12. *Языков, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Языков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

13. *Анализ объектов* окружающей среды. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.
14. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.
15. *Безуглая, Э.Ю.* Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах / Э.Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 130 с.
16. *Драйвер, Дж.* Геохимия природных вод / Дж. Драйвер. – М. : Мир, 1985. – 248 с.
17. *Израэль, Ю.А.* Экология и контроль природной среды / Ю.А. Израэль. – М. : Гидрометеиздат, 1984.
18. *Мананков, А.В.* Основы экологии. Теория, факторы, законы, кризисы и их преодоление : учеб. пособие / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 1998. – 261 с.
19. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

## 2. ОСНОВНЫЕ СТАДИИ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И СИСТЕМЫ РАЗМЕРНОСТЕЙ

Накопленный в экогеохимии опыт применения традиционных методов контроля за состоянием компонентов окружающей среды широко используется сейчас в геоэкологии.

### 2.1. Стадии геоэкологических исследований

Экогеохимический и геоэкологический контроль состоит из следующих основных стадий:

1. Выбор места отбора образца и пробы.
2. Отбор образца пробы.
3. Обработка пробы.
4. Измерение концентрации загрязнителей.
5. Математическая обработка аналитических данных и их проверка.
6. Интерпретация и сравнение полученных данных.

Правильная организация и проведение всех стадий обеспечивают достоверность полученной информации.

*Выбор места отбора* твердой, жидкой или газообразной пробы определяется масштабом работ и особенностями (геологическими, географическими и экологическими) изучаемого района. Чаще изучаемый район «покрывают» сеткой с определенным масштабом шага и отбирают пробы во всех узловых точках.

Наиболее трудной задачей, по-видимому, является выбор оптимальных точек отбора проб почвы и биоты, так как их состав может сильно меняться даже на малых расстояниях.

*Отбор образцов* осуществляется с целью получения статистически усредненной *пробы*, например, из пяти образцов снега, взятых по методу конверта. Наиболее подходящим материалом для хранения проб являются калька или пищевой полиэтилен и тефлон для изолирования пробы от контактов с воздухом.

Стадия *обработки пробы* включает в себя квартование, взвешивание, дробление, истирание в соответствии с требованиями применяемых аналитических методов.

Стадия *измерения концентрации загрязнителей* представляет собой собственно аналитическое определение концентраций поллютантов. Она состоит из выбора метода анализа, подготовки пробы согласно требованиям данного метода, калибровки применяемых приборов, проверки метода с помощью стандартов, проведения холостых и повторных измерений и т. п.

Выбирая метод анализа из числа стандартных или при отсутствии таковых, следует учитывать точность, чувствительность, предел обнаружения, селективность, производительность, другие технические и экономические показатели существующих методов.

При проведении геоэкологических работ следует пользоваться стандартными или общепринятыми межведомственными или ведомственными методами анализа. При отсутствии таковых необходимо самостоятельно выбрать (или даже разработать) наиболее подходящий метод.

Стандартизация методов анализа в России проводится органами Госстандарта. Для обеспечения достоверности принятых методов и возможности сравнения результатов, полученных в разных лабораториях, проводится национальная и международная тарификация (интеркалибрация) аналитических методов.

## **2.2. Система размерностей в прикладной геохимии и геоэкологии**

Здесь уместно напомнить учащимся сведения о размерностях и масштабах определений, условно принятых в прикладной геохимии и аналитической химии (макро-, микро- и т. д.), а также об основных параметрах обсуждаемых методов: специфичности, чувствительности, производительности, точности, автоматизируемости, доступности и других характеристиках.

В геохимии и аналитической химии сложилась система размерностей определений, буквально одним словом характеризующая область количества вещества и объемов их проб, с которыми приходится иметь дело аналитику. Речь идет о терминах: «макроанализ» (макроопределения), «микроанализ» (микроопределения), «ультрамикроанализ», «субмикроанализ», «ультрасубмикроанализ» и т. д. В соответствии с этими размерностями аналитических операций иногда принято говорить и о *макрокомпонентах*, *микрокомпонентах*, *ультрамикро-*, *субмикро-* и других компонентах окружающей среды, характеризуя их концентрации в анализируемой среде. Дадим краткую сводку этих характеристик.

**Макроанализ** (макроопределения, дециграммовый метод) – аналитические операции с относительно большими количествами анализируемых веществ (0,1 г и более) и с большими объемами проб анализируемых растворов (10 мл и более). Пробы взвешивают на обычных технических или аналитических весах, а при приготовлении растворов и титровании пользуются обычной мерной посудой и бюретками на 25 или 50 мл.

**Микроанализ** (микроопределения, миллиграммовый метод) – выполнение аналитических операций со средними навесками проб ( $10^{-3}$ – $10^{-2}$  г) и со средними объемами анализируемых растворов (около 1 мл). Для взвешивания проб пользуются аналитическими весами, более точной микропосудой, а для титрования – микробюретками вместимостью 1–5 мл, с ценой деления соответствующей  $10^{-2}$  мл.

**Ультрамикроанализ** (микрограммовый метод) – совокупность приемов и методов анализа весьма малых образцов вещества ( $10^{-6}$ – $10^{-3}$  г) в растворах обычных или малых концентраций, но малых объемов проб ( $10^{-3}$ – $10^{-6}$  мл).

Анализируемую пробу обычно взвешивают на ультрамикроаналитических весах. Операции с ультрамикрообъемами и титрование таких объемов (порядка  $10^{-3}$  мл и менее) осуществляются капиллярными пипетками (микрошприцами) и капил-

лярными бюретками с внутренним диаметром 0,05–0,01 см и менее. Некоторые операции выполняют под микроскопом и с применением микроманипуляторов.

**Субмикроданализ** (нанограммовый метод) – метод анализа сверхмалых навесок проб с количествами порядка  $10^{-9}$ – $10^{-6}$  г или в растворах с микроконцентрациями, но в ультрамикрообъемах.

**Следовый анализ** – определение «следов» примесей в особо низких концентрациях. Следовые концентрации начинаются с  $\text{млн}^{-1}$  (ppm) – миллионной доли (1 часть следового компонента в 1 миллионе частей матрицы), что соответствует  $10^{-4}$  %, или 1 мкг/мл ( $10^{-2}$  мг/мл).

В аналитической химии следовых количеств наиболее часто применяются следующим образом связанные между собой обозначения и единицы измерения концентраций веществ:

$\text{млн}^{-1}$ (ppm)	(частей на миллион)	$1:10^6 = 10^{-4}$ % (мкг/мл)
$\text{млрд}^{-1}$ (ppb)	(частей на миллиард)	$1:10^9 = 10^{-7}$ % (нг/мл)
$\text{трлн}^{-1}$ (ppt)	(частей на триллион)	$1:10^{12} = 10^{-10}$ % (пг/мл)
$\text{квдрл}^{-1}$ (ppquad)	(частей на квадриллион)	$1:10^{15}$ – $10^{-13}$ % (фг/мл)
1 мг – миллиграмм	( $10^{-3}$ г)	
1 мкг – микрограмм	( $10^{-6}$ г = $10^{-3}$ мг)	
1 нг – нанограмм	( $10^{-9}$ г = $10^{-6}$ мг = $10^{-3}$ мкг)	
1 пг – пикограмм	( $10^{-12}$ г = $10^{-9}$ мг = $10^{-6}$ мкг = $10^{-3}$ нг)	
1 фг – фемтограмм	( $10^{15}$ г = $10^{-12}$ мг = $10^{-9}$ мкг = $10^{-6}$ нг = $10^{-3}$ пг)	
1 аг – аттограмм	( $10^{-18}$ г = $10^{-15}$ мг = $10^{-12}$ мкг = $10^{-9}$ нг = $10^{-6}$ пг)	

Методы определения следовых количеств веществ не следует путать с микро-, ультрамикро- и субмикрометодами. В следовом анализе принципиально речь идет о сверхмалых *концентрациях*, а в указанных микро- и т. д. методах – о малых и сверхмалых *количествах* (объемах или массах) *проб*. В последнем случае концентрации веществ в этих микропробах могут быть достаточно большими – порядка  $10^{-2}$ – $10$  мг/мл, или  $10^{-3}$ – $1,0$  %.

В процессе геоэкологических исследований предусмотрено выполнение необходимого объема *лабораторных анализов* соб-

ранных проб горных пород, почв, пылеаэрозольных выпадений, биомассы, поверхностных и подземных вод, воздушной атмосферы на широкий комплекс химических элементов. В результате получается всесторонняя характеристика их природного состава, а также степени загрязнения токсичными, радиоактивными элементами и другими веществами.

По существующим нормативам (ГОСТ 17.4.3.04–85) в группу анализов для характеристики природного состава и физико-химических свойств *отдельных компонентов* геологической среды входят:

- 1) гранулометрический состав по 4 фракциям (0,05 мм – песчаная фракция; 0,05–0,01 мм – крупная пыль; 0,01–0,001 мм – мелкая и средняя пыль; < 0,001 мм – илистая фракция);
- 2) определение или расчет удельной поверхности;
- 3) определение емкости поглощения;
- 4) определение содержания органического вещества;
- 5) кислотность;
- 6) сумма поглощенных оснований;
- 7) количество валовых и подвижных концентраций азота, фосфора, калия, фтора, кремнезема, алюминия, железа;
- 8) состав поверхностных, грунтовых и подземных вод;
- 9) состав основных и специфических загрязнителей в выбросах стационарных и передвижных источников и т. д.

В группу анализов для характеристики степени загрязнения отдельных компонентов геологической среды входят: определение тяжелых металлов различных классов опасности, определение содержаний естественных (уран, торий, калий) радиоактивных элементов, дочерних продуктов распада урана-238 и тория-232 (ГОСТ 17.4.3.04–85) и других веществ (серы, нефтепродуктов), а также редких и редкоземельных элементов.

Научным советом по аналитическим методам (НСАМ) составлен перечень существующих ГОСТов, ОСТов, отраслевых методик и методик предприятий, пригодных для определения компонентов при геоэкологических и геохимических исследованиях.

Аналитические исследования содержаний микро- и макрокомпонентов выполняются по отраслевым методикам и ГОСТам. Возможен выбор аналитических методов. Он осуществляется в соответствии с уровнем развития аналитической базы и требованиями экологии к значениям нижних границ количественных определений. Предпочтение отдается методам, позволяющим анализировать комплекс элементов по возможности с минимумом финансовых и временных затрат.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Откуда пришли в геоэкологию методы контроля над состоянием компонентов окружающей среды?

2. Охарактеризуйте основные стадии геоэкологического контроля.

3. Какой орган проводит стандартизацию методов анализа в стране?

4. Что представляет собой национальная и международная тарификация аналитических методов?

5. Охарактеризуйте систему размерностей в геоэкологии.

6. Чем отличается следовый анализ от субмикрoанализа?

7. Определите, сколько нанограмм содержится в 1 т вещества.

8. Назовите основные показатели для характеристики состава и свойств компонентов геологической среды.

### **Список рекомендуемой литературы**

#### **Основная литература**

1. *Бахур, А.Е.* Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды : автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – М. : ВИМС, 2008. – 34 с.

2. *Маслов, И.В.* Градостроительная экология / И.В. Маслов. – М. : ВШ, 2002. – 284 с.

3. *Мананков, А.В.* Научные и организационные принципы геомониторинга для строительства / А.В. Мананков, И.И. Под-

шивалов // Междунар. год планеты Земля: проблемы геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2008. – С. 66–71.

4. *Минакова, Т.Б.* Подходы к оценке геоэкологического состояния урбанизированных территорий / Т.Б. Минакова // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2007. – С. 22–25.

5. *Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза* / В.Т. Трофимов [и др.]. – М. : Ноосфера, 2006. – 720 с.

6. *Хомич, В.А.* Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

7. *Экологические проблемы урбанизированных территорий как следствие трансформации экологических функций литосферы* / В.Т. Трофимов [и др.] // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2007. – С. 14–18.

8. *Языков, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Языков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

9. *Анализ объектов* окружающей среды. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

10. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

11. *Безуглая, Э.Ю.* Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах / Э.Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 130 с.

12. *Драйвер, Дж.* Геохимия природных вод / Дж. Драйвер. – М. : Мир, 1985. – 248 с.

13. *Израэль, Ю.А.* Экология и контроль природной среды / Ю.А. Израэль. – М. : Гидрометеоиздат, 1984.

14. *Мананков, А.В.* Основы экологии. Теория, факторы, законы, кризисы и их преодоление : учеб. пособие / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 1998. – 261 с.

15. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

16. *ГОСТ 17.4.3.04–85.* Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

### **3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

Фундаментальная для геоэкологии окружающей среды потребность в современных экспрессных, надежных, высокочувствительных и селективных методах контроля становится все более острой, в настоящее время данные анализа всё чаще служат для принятия решений о регулирующих мерах и санкциях. При этом число методов, которые сейчас доступны аналитику, так возросло, что при их выборе возникают трудности. Это в свою очередь и определяет необходимость знания некоторого минимума обобщенных характеристик и систематизации контрольных методов. Разбору и обсуждению данной весьма обширной области и посвящен настоящий раздел.

Это сделано, с одной стороны, специально, а с другой – вынужденно, так как глубокое рассмотрение этих вопросов вряд ли возможно без знания физико-химических принципов основных методов анализа.

Касаясь классификации важнейших методов анализа загрязняющих веществ, необходимо отметить её некоторую условность и возможную спорность. Автор настоящего пособия счел возможным при классифицировании опереться на традиционные подходы, свойственные известным школам геохимии и аналитической химии.

#### **3.1. Физико-химические принципы основных методов анализа**

**Гравиметрия (весовой анализ)** – основывается на выделении и взвешивании труднорастворимого соединения определяемого элемента. Например, железо (III) осаждают из раствора аммиаком в виде гидроксида, последний отфильтровывают на

беззольном фильтре, прокаливают в муфельной печи до оксида железа (III), который и взвешивают:



Осаждение должно проводиться так, чтобы другие элементы полностью оставались в растворе, что достигается подбором селективного осадителя или «маскировкой» примесей (переводом их в неосаждаемые формы).

**Титрование** (титриметрический анализ) основывается на постепенном добавлении к исследуемому раствору некоторого реагента до достижения эквивалентности, которая определяется с помощью индикаторов или приборов.

Например, для определения концентрации кислоты к ее раствору добавляют раствор щелочи до  $\text{pH} = 7$ , что фиксируется с помощью индикатора, который изменяет свою окраску при  $\text{pH}$ , близком к 7, или  $\text{pH}$ -метра.

По тому же принципу определяют концентрации окислителя (его титруют восстановителем), ионов тяжелых металлов (их титруют комплексообразователями) и т. п. Во всех случаях существуют подходящие индикаторы или приборы, позволяющие определять точку эквивалентности.

Расчет концентрации в любом варианте ведется на основе уравнения

$$C_1 V_1 = C_2 V_2,$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – концентрации первого и второго растворов (одна из них известна);  $V_1$  и  $V_2$  – их объемы.

**Спектрофотометрия** основывается на измерении интенсивности поглощения или испускания излучения в той или иной части спектра (видимой, УФ, ИК и т. д.), которое обусловлено переходом атома, иона или молекулы в возбужденное состояние или из такового в нормальное. Для этого используются спектрофотометры различных конструкций.

Перед определением концентрации спектрофотометр калибруется, т. е. определяются его показания при использовании

растворов с точно известными концентрациями, на основании чего строится калибровочный график – зависимость показания прибора от концентрации, по которому и находят концентрацию исследуемого раствора.

**Нейтронно-активационный анализ** основывается на измерении радиоактивности изучаемой пробы после ее облучения потоком нейтронов. Количество определяемого элемента находят путем сравнения радиоактивности изучаемой пробы с радиоактивностью эталона, облученного в тех же условиях.

### 3.2. Методы концентрирования поллютантов

Выделяют следующие методы концентрирования поллютантов:

**Экстракция** – процесс распределения некоторого вещества между двумя несмешивающимися жидкими фазами (наиболее часто водой и органической жидкостью, иногда расплавами металлов или солей). Например, йод практически полностью переходит из водной фазы в эфир или хлороформ.

**Хроматография** – процесс распределения между подвижной (элюентом) и неподвижной фазами используется в методах разделения и анализа смесей. Хроматография может быть основана на различной способности компонентов к адсорбции (адсорбционная хроматография), абсорбции (распределительная хроматография), ионному обмену (ионообменная хроматография) или др. В зависимости от агрегатного состояния элюента различают газовую и жидкостную хроматографию.

Хроматографическое разделение проводят в трубках, заполненных сорбентом (колоночная хроматография); в капиллярах длиной несколько десятков метров, на стенки которых нанесен сорбент (капиллярная хроматография); на пластинках, покрытых слоем адсорбента (тонкослойная хроматография); на бумаге (бумажная хроматография). Хроматография широко ис-

пользуется в лабораториях и в промышленности для контроля производства и выделения индивидуальных веществ.

Количественно оба метода можно охарактеризовать степенью извлечения (обычно выраженная в процентах доля вещества, перешедшая в ту фазу, которая обогащается этим веществом), коэффициентом или степенью обогащения (концентрирования), показывающими, во сколько раз концентрация вещества в более богатой им фазе выше концентрации в исходном растворе, или коэффициентом распределения, равным отношению концентрации распределяющегося вещества в органической (или твердой) фазе к концентрации его в водной фазе в состоянии равновесия.

### **3.3. Классификация аналитических методов на основе физико-химических принципов**

В настоящее время все аналитические методы по физико-химическим принципам делятся на 5 групп:

1. Химические методы.
2. Физико-химические методы.
3. Физические методы.
4. Биологические и биохимические методы.
5. Гибридные методы.

Аналитические методы начали появляться и оформляться в аналитическую химию, которая возникла раньше других химических наук. В XVII в. Р. Бойль заложил основы качественного анализа неорганических веществ в водных растворах. В середине XVIII в. М.В. Ломоносов открыл закон сохранения массы при химических реакциях, а также разработал основы количественного анализа. В основе современных методов лежат не только химические, но и физические и физико-химические законы. Полная классификация аналитических методов представлена в табл. 3.1.

## Аналитические методы геоэкологии и экологической геохимии

№ п/п	Аналитический метод	Предел обнаружения, %	Точность, %	Определяемые компоненты (основные)	Примечания
1. Химические методы					
1.1.	Гравиметрия	1-10 мкг	0,1	Макрокомпоненты	Точны и надежны, но длительны и низкочувствительны
1.2.	Титриметрия	$10^{-6}$ моль/л	1,0	Макро- и полумикрокомпоненты	
2. Физико-химические методы					
2.1.	Полярграфия (вольтамперометрия)	$10^{-5}-10^{-3}$	3	Следы металлов	Специфичны, но средней чувствительности
2.2.	Физико-химическая (электро-, радио-, оптическая и т. д.) титриметрия	$10^{-6}-10^{-4}$	0,3-1	Широкий круг соединений	Традиционно широко распространены
2.3.	Молекулярная спектроскопия (фотометрия и спектрофотометрия в видимой и УФ области), хемиллюминесценция	$5 \cdot 10^{-7}-10^{-5}$	5-10	Микрокомпоненты (следы металлов), органические соединения	Просты и широко применяются

№ п/п	Аналитический метод	Предел обнаружения, %	Точность, %	Определяемые компоненты (основные)	Примечания
2.4.	Люминесцентные методы (спектрофлуориметрия и др.)	$10^{-7}-10^{-3}$	1-10	Микрокомпоненты (металлы и органические соединения)	Высокочувствительны
2.5.	Кинетические методы (хронометрия, каталиметрия)	$10^{-9}-10^{-4}$	10-50	Ультрамикрокомпоненты (металлы и органические соединения)	Особочувствительны, но не точны
2.6.	Радиометрия	$10^{-8}-10^{-3}$	1-10	Следы элементов и органических соединений	Требуют специальных условий работы и техники безопасности
2.7.	Рентгенофлуоресцентная спектрометрия	$10^{-3}-10^{-2}$	1-2	Полумикрокомпоненты в почвах	
3. Физические методы					
3.1.	Инфракрасная спектроскопия	$10^{-3}-10^{-2}$	5-10	Органические вещества, газы	Высокоспецифичны
3.2.	Атомно-абсорбционная и эмиссионная спектроскопия	$10^{-7}-10^{-5}$	5-10	Переходные и полуметаллы	Технически сложны, но селективны
3.3.	Атомно-флуоресцентная спектроскопия	$10^{-9}-10^{-6}$	5-10	Щелочные, щелочноземельные и некоторые переходные металлы	Высокочувствительны

№ п/п	Аналитический метод	Предел обнаружения, %	Точность, %	Определяемые компоненты (основные)	Примечания
3.4.	Нейтронно-активационный анализ	до $10^{-7}$	2–10	Многие элементы и органические соединения	Требуют специальных условий работы
3.5.	Ядерный и электронный магнитный резонанс	$10^{-3}$	1–5	Макрокомпоненты	Высокоспецифичны, но низкочувствительны
3.6.	Масс-спектрометрия	$10^{-7}$ – $10^{-4}$	0,5–20	Следы элементов	Точны и высокочувствительны
4. Биологические и биохимические методы					
4.1.	Биологические, микробиологические (биондикация, органолептические)	высокочувствительны	качественное обнаружение	Биологически активные вещества	Специфичны и высокочувствительны, но не количественны
4.2.	Ферментативные	$10^{-9}$ – $10^{-4}$	1–20	Ультрамикрокомпоненты (металлы и органические соединения)	Высокочувствительны, но длительно
4.3.	Иммуно-ферментные	$10^{-10}$ – $10^{-5}$	10–40	Ультрамикрокомпоненты	Особочувствительны и избирательны

№ п/п	Аналитический метод	Предел обнаружения, %	Точность, %	Определяемые компоненты (основные)	Примечания
5. Гибридные методы					
5.1.	Экстракционные (в сочетании с физико-химическими методами)	$10^{-9} - 10^{-6}$	10–30	Следы различных соединений на загрязненном фоне	Высокочувствительны, специфичны, но длительны
5.2.	Газовая хроматография	$10^{-3} - 10^{-2}$	5–10	Органические соединения	Высокоспецифичны, очень широко применимы для анализа смесей, но иногда длительны
5.3.	Жидкостная и газофазная хроматография	$10^{-7} - 10^{-4}$	2–20	Органические вещества	Особочувствительны, точны и избирательны
5.4	Хромато-масс-спектрометрия	$10^{-10} - 10^{-6}$	1–20	Следы элементов и органических соединений	Особочувствительны, точны и избирательны

### 3.4. Краткая характеристика физико-химических аналитических методов

**Полярография** – электрохимический метод качественного и количественного анализа, а также исследования кинетики химических процессов, основанный на изучении вольтамперных кривых (полярограмм), получаемых при электролизе исследуемого вещества. Все шире применяется для определения токсических, благородных и других металлов.

**Физико-химическая титриметрия** – совокупность электро-, радио-, оптико- и т. п. методов количественного химического анализа, заключающихся в измерении объема раствора реактива известной концентрации, расходуемого на реакцию с данным количеством (объемом) определяемого вещества. В титриметрическом анализе используются реакции нейтрализации, окисления-восстановления, осаждения и комплексообразования. Титриметрический анализ осуществляется путем титрования, конечную точку которого находят при помощи химических индикаторов (например, pH) или по резкому изменению каких-либо физических характеристик исследуемого раствора с помощью точных приборов.

**Спектроскопия** – раздел физики, изучает спектры электромагнитного излучения. По диапазонам длин волн различают радиоспектроскопию, инфракрасную спектроскопию, спектроскопию видимого излучения, ультрафиолетовую спектроскопию, рентгеновскую спектроскопию и гамма-спектроскопию.

По иерархическим типам атомных систем различают: атомную спектроскопию, молекулярную спектроскопию, спектроскопию кристаллов. В зависимости от источников излучения, используемых приборов и других экспериментальных особенностей существует еще одна классификация методов спектроскопии: лазерная спектроскопия, фурье-спектроскопия, вакуумная спектроскопия, ультрафиолетовая спектроскопия и т. п. Ультрафиолетовая спектроскопия – спектроскопия в УФ-области спектра. В интервале 200–10 нм она называется вакуумной, так как

воздух в этой области непрозрачен и для исследования применяют вакуумные спектральные приборы. Области приложения вакуумной спектроскопии в геоэкологии очень широки: спектральный анализ, физика плазмы, астрофизика и др.

**Люминесцентные методы** – методы анализа неорганического и органического веществ по характеру их люминесценции. Качественная люминесценция определяется по виду ее спектра, количественная люминесценция – по интенсивности характеристических линий в спектре люминесценции анализируемого вещества и эталона.

**Кинетические методы анализа** – основаны на измерении зависимости реакций от концентраций реагирующих веществ. Они являются особо чувствительными и используются для определения следовых элементов в металлах и биологических объектах.

**Радиометрия** – представляет собой совокупность физико-химических методов измерений активности (числа распада в единицу времени) нуклидов в природных и искусственных источниках. Для выполнения инструментальных измерений при радиоэкологическом обследовании объектов строительства используются различные типы измерительной аппаратуры. Классификация приборов и оборудования для регистрации радиоактивных излучений предусматривает некоторое их функциональное разделение на радиометры, дозиметры и спектрометры.

*Радиометры* – приборы, предназначенные для измерения числа актов радиоактивного распада в единицу времени.

*Дозиметры* – устройства для измерения дозы радиоактивного излучения.

*Спектрометры* – устройства, предназначенные для измерения распределения радиоактивного излучения по энергии, массе, заряду или времени.

В последнее время также получили распространение универсальные (или экспертные) приборы и измерительные комплексы, которые в той или иной степени одновременно совмещают в себе функции радиометрической, дозиметрической и спектрометрической аппаратуры.

### 3.5. Приборы и средства для измерения гамма-фона

Измерение мощности дозы внешнего гамма-излучения, характеризующей уровень гамма-фона на земельных участках, а также внутри вновь построенных и эксплуатируемых зданий и помещений, относится к числу основных направлений деятельности при контроле радиационной безопасности условий проживания населения. Для этой цели используются различные типы дозиметрической и радиометрической аппаратуры.

**Сцинтилляционный радиометр поисковый СРП-68-01.** Этот геологический радиометр первоначально был предназначен для поисков радиоактивных руд по их гамма-излучению, радиометрического опробования горных выработок и карьеров, а также для пешеходной радиометрической съёмки местности. В дальнейшем он нашёл широкое применение при радиоэкологических исследованиях, в том числе для ориентировочной оценки мощности дозы гамма-излучения на земельных участках и внутри помещений. Благодаря высокой чувствительности прибор успешно применяется при уточнении границ аномальных участков и поисках потерянных источников гамма-излучения.

В последнее время появились более совершенные модификации этого радиометра: измеритель мощности эквивалентной дозы гамма-излучения GammaTRACER, радиометр-спектрометр универсальный портативный МКС-А02, дозиметр гамма-излучения ДРГ-01М, радиометр поисковый СРП-88Н.

### 3.6. Аппаратура для инспекционных (мгновенных) измерений значений объёмной активности (ОА) радона в воздухе помещений

*Радиометры радона портативные РРА-01 и РРА-01М* (рис. 3.1) предназначены для измерения текущих значений ОА радона в воздухе в диапазоне от 20 до  $2,0 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup> с экспозици-

ей от 10 до 99 мин. Они способны работать при температуре от +5 до +35 °С и его относительной влажности воздуха до 86 %.



Рис. 3.1. Радиометр радона портативный PPA-01M

Конструктивно радиометры состоят из блоков детектирования, регистрации, управления и питания. Модификации PPA-01 и PPA-01M отличаются расположением этих блоков и внешним оформлением.

В качестве детектора в радиометре используется поверхностно-барьерный полупроводниковый детектор (ППД) типа ДКПС-100 или ДКПС-200, который располагается в измерительной камере и находится под отрицательным потенциалом относительно её стенок. В процессе измерения окружающий воздух, содержащий Rn-222, переводится в измерительную камеру радиометра. Атомы Po-218, образующиеся при распаде радона в объёме камеры, находятся в ионизированном состоянии и несут положительный заряд. Поэтому они собираются на поверхности детектора. В результате ОА Rn-222 определяется по количеству альфа-частиц, зарегистрированных при распаде атомов Po-218, осевших на поверхности ППД.

Численная оценка объёмной активности радона в воздухе производится умножением количества альфа-частиц, зарегистрированных за время измерения, на ряд переводных коэффициентов, устанавливаемых для каждого прибора индивидуально.

Радиометры радона PPA-01МП и PPA-01М-01 (рис. 3.2) по основным техническим характеристикам подобны основной модификации прибора PPA-01, но отличаются от него рядом особенностей внутреннего устройства и внешнего оформления.

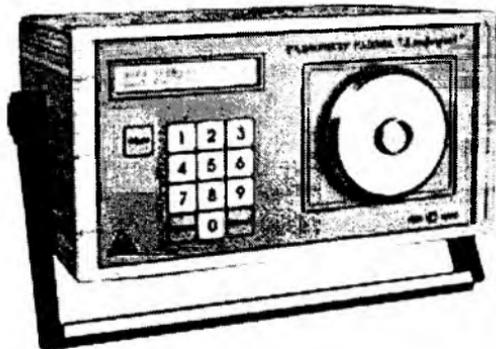


Рис. 3.2. Радиометр радона PPA-01М-01 «Альфарад»

В частности, они имеют:

- улучшенный дизайн с использованием гибкой плёночной клавиатуры на лицевой панели;
- встроенный микропроцессор, позволяющий рассчитывать и отражать на матричном жидкокристаллическом индикаторе значения ОА Rn-222 ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ) и их относительные погрешности;
- специальные режимы для измерения ОА Rn-222 в воде и подпочвенном воздухе;
- возможность вывода спектрометрической информации на многоканальный анализатор;
- фильтр очистки воздуха от твёрдой дисперсной фазы аэрозолей и избыточной влаги;

– встроенную автоматическую воздуходувку с производительностью 1 л/мин;

– устройства для автоматического учёта фона измерительной камеры и корректировки результатов на влажность воздуха и неустановившееся радиоактивное равновесие между Rn-222 и Po-218 в измерительной камере.

*Радиометр радона РРА-03* является более поздней разработкой и предназначен для автоматизированного или ручного измерения ОА радона и торона в воздухе, воде и подпочвенном воздухе с использованием приставки ПОУ-02.

В радиометре предусмотрена возможность автоматического накопления результатов последовательных измерений ОА радона и торона, температуры окружающего воздуха и его влажности с последующей передачей их на внешнюю ПЭВМ. Количество результатов, хранимых в ОЗУ радиометра, более 1500; продолжительность одного измерения может быть установлена равной 10 или 40 мин.

*Пробоотборное устройство ПОУ-04* (рис. 3.3) является приставкой к радиометрам радона серии РРА. ПОУ предназначено для измерения ОА радона в воде в диапазоне от 250 до 200 000 Бк/м<sup>3</sup>, а также отбора проб воздуха с целью последующего лабораторного измерения ОА радона в диапазоне от 46 до 50 000 Бк/м<sup>3</sup>. Предусмотрена возможность доукомплектования этого устройства специальными пробоотборниками для измерения ОА радона в подпочвенном воздухе.

Прибор имеет в своем составе пробоотборники воздуха, воздуходувку с таймерным блоком, барботёры и блок аккумуляторного питания с зарядным устройством.

Принцип определения содержания Rn-222 в воде заключается в способности газа радона легко покидать водную среду при её активном перемешивании (барботирование). При помощи воздуходувки воздух, проходящий через толщу воды в барботёре, насыщается радоном и переводится в измерительную камеру радиометра типа РРА.

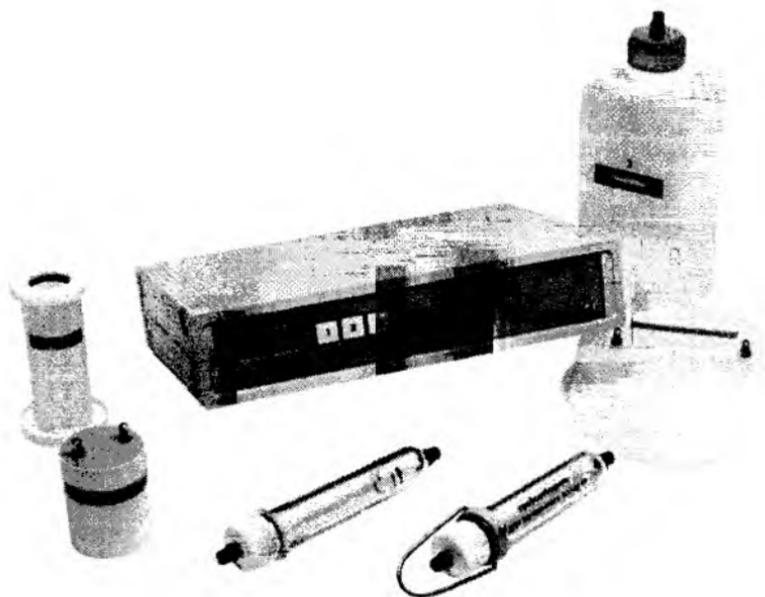


Рис. 3.3. Пробоотборное устройство ПОУ-4

*Радиометр объемной активности радона-222 Alpha-GUARD PQ2000* радиометр разработан и изготавливается германской фирмой Genitron Instruments GmbH (рис. 3.4). Он предназначен для мгновенных (инспекционных) измерений ОА Rn-222 в диапазоне от 20 до  $2 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup> в воздухе помещений жилищного, общественного и производственного назначения, в шахтах, горных выработках, пещерах и др. объектов с одновременной регистрацией температуры воздуха, влажности и атмосферного давления. Продолжительность измерения может быть установлена равной 10 или 60 мин. Кроме того, в приборе предусмотрен режим активного поиска источников радона с экспозицией 5 мин при погрешности результатов до  $\pm 50$  % без сохранения данных в памяти. Различают два вида моделей при-

бора AlphaGUARD, адаптированных для разных систем мировых единиц: PQ2000 и модель MC50 (США).

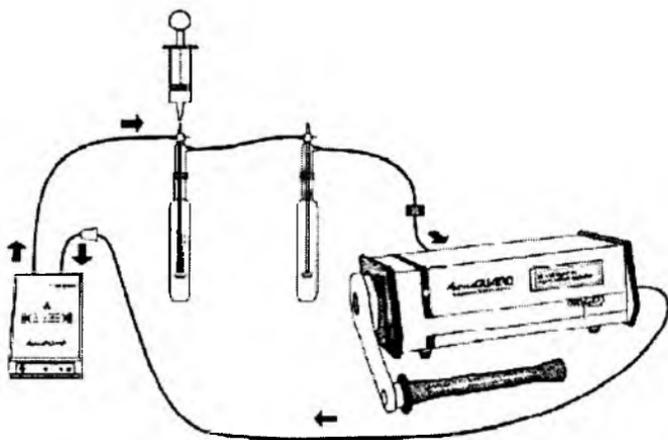


Рис. 3.4. Радиометр объемной активности радона-222 AlphaGUARD PQ2000

Эксплуатационные характеристики радиометра позволяют выполнять измерения при температуре окружающего воздуха от  $-10$  до  $+50$  °С и его относительной влажности до 99 %.

В памяти радиометра может храниться свыше 7000 результатов измерения ОА радона и других физических параметров окружающей среды. Это обеспечивает возможность использования радиометра в режиме длительного мониторинга, причём одновременно полученные результаты позволяют изучать зависимость ОА радона от изменчивости внешних факторов и оценивать их средние интегральные значения за период мониторинга.

Специальная версия прибора AlphaGuard PQ2000 PRO оснащена дополнительным каналом измерения мощности дозы гамма-излучения, содержащим встроенный датчик мощности дозы (счетчик Гейгера-Мюллера), а также разъёмом для подключения внешних датчиков параметров окружающей среды.

Диапазон измерения эквивалента мощности дозы внешнего гамма-излучения составляет от 0,02 до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Модификация радиометра AlphaGuard PQ2000-S предназначена для определения ОА радона в почвенном воздухе в диапазоне от 1 до 2 000 000 Бк/ $\text{м}^3$  при продолжительности одного измерения 1 или 10 мин с ёмкостью цифровой памяти до 3400 результатов.

Устройство радиометра AlphaGuard допускает возможность измерений ОА не только радона, но и торона с использованием специальной методики.

Измерение объёмной активности радона выполняется в объёме рабочей камеры, которая представляет собой импульсную ионизационную камеру.

В процессе измерения окружающий воздух в режиме пассивной диффузии через стекловолоконный фильтр поступает в ионизационную камеру объёмом 0,56 л. Фильтр пропускает в камеру газообразные компоненты воздуха, но задерживает дочерние продукты распада радона, содержащиеся в окружающем воздухе в виде твёрдых аэрозольных частиц, а также защищает внутреннюю поверхность ионизационной камеры от загрязнения пылью. Сигнал с выхода ионизационной камеры поступает на вход аналого-цифрового преобразователя спектрометрического тракта, где определяются характеристики сигнала не только по его амплитуде, но также производится его классификация по форме импульса.

Данные, получаемые прибором, могут быть представлены как трехмерный спектр с  $X$ -координатой, отражающей амплитуду импульсов, пропорциональную энергии альфа-частиц,  $Y$ -координатой, характеризующей количество импульсов в единицу времени, и  $Z$ -координатой, описывающей форму импульсов. В результате такого трёхмерного описания становится возможной высокоэффективная сортировка импульсов с определением их принадлежности регистрируемым альфа-частицам и отбраковкой импульсов, обусловленных различными поме-

хами, такими как микрофонный, электромагнитный и другие мешающие эффекты.

Устройство прибора обеспечивает передачу данных в IBM PC по кабелю со стандартным разъёмом RS-232. Для обработки данных, в зависимости от модели радиометра, в комплекте с прибором поставляются пакеты специализированных программ AlphaView, AlphaExpert, AlphaExpert-UP Super+2. Они позволяют отслеживать изменение во времени ОА радона, гамма-фона, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха; вычислять их средние значения и стандартные отклонения, коэффициенты корреляции между ними; рассчитывать разнообразные математические функции (кратность воздухообмена, кривую распада Rn-222 и др.); наконец, контролировать правильность функционирования отдельных узлов и устройств радиометра.

Штатное математическое обеспечение допускает преобразование данных в форматы, удобные для работы с различными программными приложениями, такими как MathCad, Microsoft Excel и Statistica.

В комплекте с прибором по требованию заказчика поставляются: 1) герметичные металлические контейнеры емкостью от 10 до 220 л, предназначенные для определения эманулирующей способности различных материалов и изделий, градуирования и поверки радиометров радона, изучения воздействия радона и его ДПР на биологические объекты; 2) специальная камера-ёмкость объёмом 34 л (570×370×165 мм) для измерений эксгаляции радона из почвы; 3) пробоотборные приставки для определения ОА радона в пробах воды и почвенного воздуха; 4) бустерная (внешняя) батарея, обеспечивающая работу радиометра независимо от сети в течение 30 суток; 5) многофункциональная механическая воздуходувка AlphaPump производительностью 0,3; 0,5; 1 л/мин, обеспечивающая два режима работы – нагнетание воздуха и его вытяжку, с автономным источником питания.

*Измерительный комплекс TN-WL-02* производится канадской фирмой Thomson & Nielsen Electronics LTD и предназначен для регистрации дочерних продуктов распада радона в воздухе.

В процессе измерения воздух, содержащий радон и его ДПР, прокачивается небольшой помпой через бумажный фильтр, на котором происходит осаждение ДПР радона. Скорость воздуха регулируется и контролируется ротаметром. Альфа-частицы, испускаемые осевшими на фильтре Po-218 и Po-214, регистрируются полупроводниковым детектором и обрабатываются цифровой интегральной схемой. Количество альфа-частиц, зарегистрированных за время измерения, которое может быть установлено в пределах от 0,5 до 24 ч или без ограничений, отображается на цифровом дисплее. Объём прокачанного воздуха и количество зарегистрированных альфа-частиц в совокупности со временем экспозиции определяют уровень ДПР в воздухе.

Измерительный комплекс совместим с радиометром AlphaGuard PQ2000 PRO. Это позволяет, используя модуль TN-WL-02 в качестве внешнего датчика радиометра, выполнять одновременные измерения как ОА Rn-222, так и дочернего короткоживущего нуклида Po-218 с сохранением результатов в памяти радиометра. Специальная версия программного приложения радиометра обеспечивает расчёт уровня скрытой энергии дочерних продуктов распада радона, а также расчёт значений коэффициента равновесия и эквивалентной равновесной объёмной активности радона.

### **3.7. Методы и аппаратура для измерения средних значений объёмной активности радона в воздухе помещений**

Методы и аппаратура, предназначенные для измерения средних значений ОА радона, характерных для длительных интервалов времени, основаны на использовании трековых, ад-

сорбционных и электрентных детекторов. Эти способы регистрации радона носят название интегральных методов. Они лишь недавно стали применяться в отечественной практике и поэтому недостаточно хорошо известны специалистам-радиоэкологам. Поэтому описание приборов предваряется изложением физической сущности этих методов.

Метод трековой радиометрии радона основан на способности альфа-частиц при прохождении через тонкие органические плёнки образовывать в них линейные дефекты, или треки, причём между ОА радона в воздухе, окружающем детектор, и количеством треков при определённых условиях сохраняется пропорциональность.

Трековый детектор (ТРД) для измерения ОА радона представляет собой тонкую плёнку из органического материала, помещённую в контейнер, снабжённый крышкой с диффузионным фильтром. Этот фильтр пропускает газообразный радон, но предотвращает попадание внутрь контейнера пыли, аэрозолей, содержащих дочерние продукты распада радона, и паров воды. Среднее время диффузии воздуха, содержащего радон, внутрь контейнера составляет около 2 ч. За этот период другие радиоактивные эманации – торон и актинон, период полураспада которых составляет около 56 и 4 с, распадаются, и их влияние на результаты измерений исключается.

На рис. 3.5 показано устройство одной из измерительных камер. Она состоит из корпуса 2 объёмом  $100 \text{ см}^3$  и крышки 3 с многочисленными отверстиями. В крышку вкладывается диффузионный фильтр 5. Воздух, содержащий радон, проходит в камеру через отверстия в крышке и диффузионный фильтр. Внутри камеры на специальных направляющих устанавливается рамка 1 размерами  $50 \times 50 \text{ мм}$ , в окне которой закреплён ТРД 9 – нитроцеллюлозная (НЦ) плёнка толщиной  $10\text{--}15 \text{ мкм}$  с рабочей поверхностью  $16 \times 23 \text{ мм}$ . Рамка имеет отверстия 7, располагаемые в индивидуальном порядке, необходимом для её автоматической идентификации.

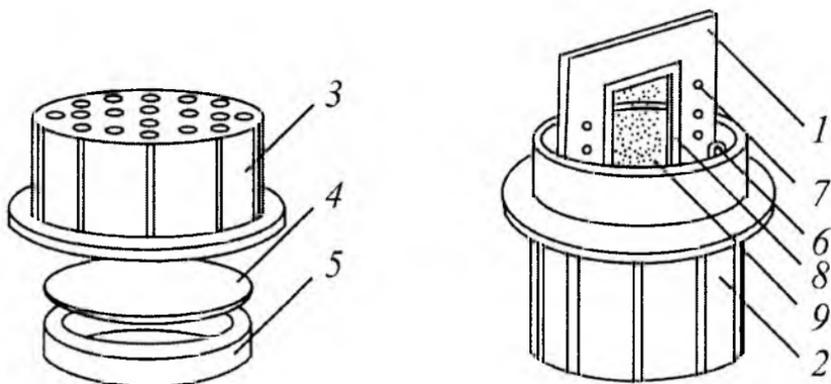


Рис. 3.5. Сборка пассивного трекового радиометра:

1 – рабочее окно рамки; 2 – пластмассовый стакан; 3 – крышка с отверстиями; 4 – диффузионный фильтр; 5 – прижимное кольцо; 6 – направляющие грани; 7 – маркировочные отверстия; 8 – прижимная рамка; 9 – НЦ пленка

В процессе экспонирования в атмосфере, содержащей радиоактивные эманации, в НЦ-плёнке образуются микроотверстия по следу (треку) альфа-частиц. Эти треки можно наблюдать в электронный микроскоп. Бесспорно, это дорогой способ, непригодный для практического счёта треков.

В 1972 г. в США был запатентован метод химического травления треков, который делает их видимыми в обычные оптические микроскопы с увеличением в 100–500 раз. Однако визуальный счёт плотности треков в детекторах с применением микроскопа является субъективной операцией, отнимающей достаточно много времени.

В настоящее время для подсчёта количества треков используется метод искрового счёта, идея и принципы которого были предложены еще в 1968 г. Его основным достоинством является объективность и возможность быстрого подсчёта треков на большей площади.

Обработка пленочного детектора после экспонирования и травления составляет три этапа. Целью первого, предварительного, этапа является создание сквозных отверстий в НЦ-плёнке по следам всех треков, включая не до конца протравленные, приповерхностные и наклонные.

Для этого протравленная НЦ-плёнка покрывается тонкой алюминизированной лавсановой (тефлоновой) пленкой и помещается между двумя электродами. На один из электродов подаётся напряжение, и при разности потенциалов, равной 700–900 В, происходит разряд через один из треков, канал которого представляет для электрического тока путь с наименьшим сопротивлением. Искра, образующаяся при разряде, прожигает отверстие в тонком слое алюминия. В результате проводящий путь для тока через трек прерывается и цепь короткого замыкания разрывается. Повторный пробой через тот же трек невозможен из-за наличия отверстия в алюминизированной плёнке. Напряжение на электродах вновь поднимается до тех пор, пока не произойдёт разряд через другой трек. Процесс продолжается до тех пор, пока все треки, включая не до конца протравленные, наклонные и приповерхностные, не станут сквозными.

Целью следующего, основного, этапа является подсчёт количества треков. Он выполняется при более низком напряжении, равном приблизительно 500 В и достаточном для проскока искры через сквозные отверстия треков. Возникающие при этом последовательные импульсы тока регистрируются специальными электронными схемами.

После окончания счёта на алюминиевой фольге видны пробитые током отверстия – реплики. Количество реплик равно числу сосчитанных треков и соответствует их пространственному распределению. Эти сведения могут быть использованы для контроля полученных результатов.

Наконец, цель третьего, заключительного, этапа состоит в расчёте ОА радона. Для этого используется градуировочная зависимость, построенная в координатах «количество треков –

ОА радона» путём экспонирования партии ТРД в атмосфере с известной концентрацией Rn-222.

Существуют определённые ограничения на продолжительность экспонирования ТРД. При уровнях ОА радона, обычных для помещений жилищного и общественного назначения, время измерения, как правило, не должно превышать трёх месяцев. Причина этого заключается в способности НЦ-плёнки со временем частично «залечивать» радиационные повреждения. Это явление называют **федингом**. При больших экспозициях могут возникнуть затруднения с правильным учётом влияния фединга на результаты измерений.

Другая причина проявляется при экспонировании ТРД в атмосфере с высокими значениями ОА радона. Она заключается в том, что две или несколько альфа-частиц могут попасть в одно и то же место на поверхности плёнки с образованием одного или нескольких практически совпадающих треков. При ОА радона, равной сотням или тысячам Бк/м<sup>3</sup>, количество совпавших треков может стать очень большим. Это приводит к вырождению градуировочной зависимости с образованием на ней практически горизонтального участка – плато. В результате ТРД становится неспособным к правильной регистрации объёмной активности радона и показывает резко заниженные результаты.

С учётом сказанного для ТРД с НЦ-плёнкой типа ДНЦ в зависимости от ожидаемой ОА радона в воздухе обследуемых помещений рекомендуются продолжительности экспонирования, представленные в табл. 3.2.

С учётом этого перед установкой ТРД целесообразно выполнять экспрессную оценку ОА радона в воздухе помещений с использованием инспекционных (мгновенных) методов. Это позволяет выбрать оптимальную продолжительность их экспонирования.

Другой интегральный метод измерения ОА радона основан на его способности адсорбироваться из воздуха на активированном угле. Определение ОА радона в этом случае произ-

входят путём измерения удельной активности радионуклидов Рb-214 и Bi-214, образующихся при распаде радона, адсорбированного на угле. Сделать это оказывается достаточно просто, так как указанные радионуклиды обладают удобным для измерения спектром гамма-излучения (рис. 3.6).

Таблица 3.2

**Рекомендуемая продолжительность экспонирования трековых детекторов при различных значениях ожидаемой ОА радона**

Ожидаемая ОА радона, Бк/м <sup>3</sup>		Рекомендуемая экспозиция, сут
минимальная	максимальная	
190	47000	1
95	23500	2
63	15600	3
38	9400	5
27	6700	7
19	4700	10
14	3350	14
9	2240	21
6	1570	30

*Примечание.* Рекомендуемые значения являются минимальными для минимальной ОА и максимальными для максимальной ОА.

Периоды полураспада Рb-214 и Bi-214 составляют около 20 мин. Поэтому они быстро приходят в состояние радиоактивного равновесия с радоном, при котором активности материнского Rn-222 и дочерних Рb-214 и Bi-214 равны.

Для удобства в работе активированный уголь обычно помещают в специальные ёмкости. Их устройство и внешний вид могут быть различными и определяются особенностями конкретных методик измерения. В частности, адсорбция радона может осуществляться в режимах пассивной диффузии воздуха в объёме адсорбера (это так называемые пассивные угольные адсорберы ПУА) или активной прокачки воздуха через адсорбер

(это – активные угольные адсорберы). Одна из возможных конструкций ПУА представляет собой сосуд Маринелли, изготовленный из перфорированной стали, с наружным диаметром 107 и высотой 78 мм при диаметре колодца 76 и глубине 50 мм. Сосуд заполнен активированным углем марки СКТ-2БПУА, засыпанным в мешок из стеклоткани. При экспонировании ПУА помещается в специальный мешок, ткань которого препятствует попаданию ДПР радона из воздуха помещения на уголь.

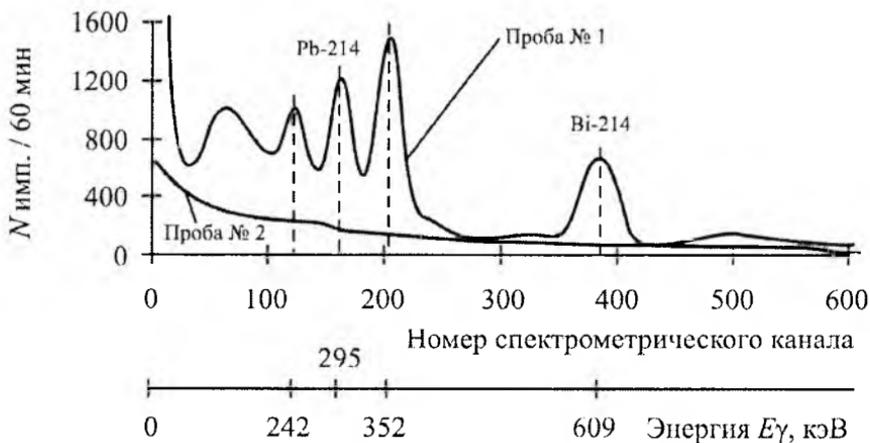


Рис. 3.6. Аппаратурный спектр гамма-излучения Pb-214 и Bi-214, измеренный на сцинтилляционном спектрометре: проба № 1 – активированный уголь с ДПР радона; проба № 2 – регенерированный активированный уголь (фон)

Измерение ОА радона в воздухе с использованием угольных адсорберов предусматривает выполнение следующих четырёх основных операций.

1. Предварительная регенерация активированного угля, при которой с его поверхности удаляются (десорбируются) ранее адсорбированные вещества. В обычных условиях регенерация выполняется путём нагревания угольных адсорберов до

80 °С с выдержкой при этой температуре в течение 10–20 ч. Для ускорения работы и предотвращения частичного выгорания угля в атмосфере, содержащей кислород, эту операцию рекомендует-ся проводить в вакуумном сушильном шкафу при повышенных температурах и частичном разрежении.

После регенерации уголь охлаждается до 50–60 °С и адсорберы помещаются в герметичные контейнеры. Охлаждение можно выполнять на открытом воздухе, так как активированный уголь эффективно адсорбирует радон при температурах ниже 40 °С.

2. Экспозиция активированного угля в атмосфере, содержащей радон. Обычная продолжительность экспозиции при пассивной диффузии составляет от 24 до 72 ч и 30 мин при прокачке воздуха через адсорбер со скоростью 40 л/мин.

3. Изоляция и выдержка экспонированного угля в герметичном контейнере в течение полутора-двух часов для достижения радиоактивного равновесия между радоном и короткоживущими ДПР. Максимальная допустимая продолжительность выдержки ПУА в контейнере не должна превышать одного-двух периодов полураспада Rn-222, то есть 4–7 суток. За это время активность радона уменьшается в два-четыре раза, что должно учитываться при расчёте ОА радона.

4. Измерение удельной активности ДПР радона по их гамма-излучению и расчёт ОА радона по заранее построенной градуировочной зависимости.

**Рентгенофлуоресцентная спектроскопия.** Методы рентгенофлуоресцентного анализа в настоящее время активно развиваются. Они отличаются многоэлементностью, высокой производительностью, сравнительно малыми трудозатратами. Наибольшее практическое значение имеет как вариант *рентгено-спектральный* метод, в основе его лежит анализ с дисперсией по длинам волн.

### 3.8. Краткая характеристика физических аналитических методов

За последние десятилетия в геоэкологии и промышленной экологии четко наметились две проблемы, связанные с изучением вещества. Первая состоит в познании вещественного состава органических и минеральных объектов, изучаемых с целью рационального использования природных ресурсов. Вторая – в изучении типоморфных признаков исследуемых объектов для целей экологического зонирования территорий и объективного определения санитарно-защитных зон промышленных предприятий, а также ареалов распространения поллютантов от стационарных источников предприятий.

**Инфракрасная спектроскопия** – раздел спектроскопии, включающий получение и исследование спектров в ИК-области, которая располагается между видимой областью (0,40–0,76 мкм) и областью радиоволнового ( $\lambda > 1\text{см}^{-1}$ ) излучения. Методами инфракрасной спектроскопии изучают, главным образом, молекулярные спектры испускания, поглощения и отражения, так как в инфракрасной области расположено большинство колебательных и вращательных спектров молекул. Длины волн колебаний и вращений, проявляющиеся в спектрах, располагаются в интервале от 1,0 до 50,0 мкм.

**ИК-спектры** поглощения являются результатом резонансного взаимодействия между электромагнитными колебаниями в потоке инфракрасного излучения и изменениями электромагнитного поля молекулы, вызываемыми собственными внутримолекулярными колебаниями. ИК-спектр поглощения является индивидуальной характеристикой вещества и аддитивной – для смеси веществ. Положение полос поглощения в спектре характеризует наличие в молекуле определенных структурных групп и связей:

а) для минералов – связей катион – анион, катион – катион и других элементов кристаллической решетки;

б) для органических соединений – *группы*  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{N}=\text{O}$ ,  $\text{S}=\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{N}$ , *связей*  $\text{C}=\text{C}$  – ароматических,  $\text{C}=\text{C}$  в алифатической цепи,  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ , и т. п.

Интенсивность полос поглощения, выражаемая значением оптической плотности при данной длине волны, является количественной мерой содержания данных структурных групп.

**Методы ИК-спектроскопии** используются для идентификации вещества, для определения структуры молекул, для выявления примесей и чистоты вещества, для качественной структурной характеристики смесей, для количественного анализа, для определения природы  $\text{H}_2\text{O}$  в структуре минералов, для определения характера связей воды ( $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), определения координации, изоморфного замещения.

ИК-спектры (рассеяния, поглощения, отражения) вещества могут быть получены на специальных приборах – *ИК-спектрофотометрах*. Приборы работают в определенных диапазонах длин волн, чаще от 1–2 мк до 25–40 мк и от 50 до 300 мк и более. Выбор соответствующего спектрофотометра обусловлен задачами исследования и особенностями вещества. Сравнительная характеристика некоторых инфракрасных спектрофотометров представлена в источниках [6, 9].

**Атомно-абсорбционная и эмиссионная спектроскопия.** Спектроскопия – это основа спектрального анализа. Эти два метода являются весьма распространенными в группе физических методов спектрального анализа. Спектральный анализ – это качественное и количественное определение состава вещества, проводимое по оптическим спектрам.

**Оптические спектры** – это спектры электромагнитного излучения в диапазоне длин волн  $10^3$ –0,1 мкм. Существуют оптические спектры *поглощения* (абсорбционные, получаемые при прохождении света через вещество), *испускания* (эмиссионные, от источников света), *рассеяния и отражения*. Все эти спектры возникают при квантовых переходах в атомных системах.

Механизм излучения света заключается в следующем. Если атом получит извне, например, при соударении с другим атомом достаточное количество кинетической энергии, то он неизбежно переходит в более высокое энергетическое состояние с энергией  $E_2$ . Однако это состояние неустойчиво, и потому возбужденный атом быстро переходит в исходное (стабильное) состояние или в промежуточное состояние с энергией  $E_1$ . При этом разность энергий излучается в виде кванта света

$$E_2 - E_1 = h \cdot \nu,$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота света.

Так как возможные энергетические состояния атомов квантованы, то и каждый атом (или ион) имеет набор характеристических линейных излучений вполне определенной частоты и спектральных линий соответственно определенной длины волны. При этом спектры атомов элементов различаются и по числу спектральных линий, и по их длине волны.

Спектральные линии различаются еще и по интенсивности, которая определяется рядом атомных констант:

- 1) потенциалом возбуждения данной линии;
- 2) концентрацией атомов в газовом облаке;
- 3) температурой газового облака и др.

Различают *атомный* и *молекулярный* спектральный анализ, *эмиссионный* (по спектрам испускания) и *абсорбционный* (по спектрам поглощения).

*Эмиссионный* пламеннофотометрический метод спектрального анализа (полуколичественный и количественный) широко применяется при изучении состава минеральных веществ в геоэкологии, минералогии и геохимии, а также в промышленной минералогии, сельском хозяйстве и др. Первые аппараты – спектрографы с высокой производительностью появились в г. Томске в середине 50-х годов XX в. в Томском госуниверситете на кафедре минералогии и кристаллографии. Первым квалифицированным спектральщиком был доцент В.К. Чистяков, а его наставником – профессор И.К. Баженов.

Под спектральным анализом понимают анализ вещества по его спектру, возбуждаемому в оптической области с помощью *горячих источников света* (электрическая дуга, искра, газовое пламя и др.). Известно, что если какое-либо вещество перевести в парообразное состояние и нагреть до высокой температуры, то оно начинает светиться. При этом одновременно могут появляться спектры трех типов: 1) *линейчатые*, излучаемые возбужденными атомами и ионами; 2) *полосчатые*, вызываемые изменением энергии молекул; 3) *сплошные* от раскаленных твердых частиц и свободных электронов.

Сплошной спектр – помеха для анализа, поэтому выбирают режим, при котором сплошной спектр сводится к минимуму. Полосчатый спектр используется редко. С его помощью определяют элементы, образующие в процессе анализа прочные молекулы и радикалы, например, щелочноземельные и редкоземельные элементы и др.

Как правило, при эмиссионном спектральном анализе пользуются линейчатыми спектрами, состоящими из отдельных спектральных линий.

При качественном анализе полученный спектр интерпретируют с помощью таблиц и атласов спектров элементов и индивидуальных соединений.

В количественном анализе определяют содержание исследуемого вещества по относительным или абсолютным интенсивностям линий или полос в спектрах.

***Спектральные приборы и аппараты.*** В зависимости от способа получения спектра применяют различные аппараты:

1) *призмные* (ИСП-28, ИСП-30, ИСП-22, ИСП-51), в которых используется зависимость показателя преломления света от длины волны;

2) *дифракционные* (КСА-1, КС-55, ДФС-13, ДФС-8), основанные на явлении дифракции света;

3) модернизированные дифракционные аппараты (ДФС-10, СТЭ-1) – *квантометры* с фотоэлектрической регистрацией

спектра. С их помощью продолжительность анализа сокращается в 1,5–2 раза.

Принципиальная схема получения оптического спектра с помощью всех моделей спектральных аппаратов включает в себя дуговой разряд и основана на испарении пробы образца в канале нижнего угольного электрода.

На первой стадии выполняют *«полный»* полуколичественный анализ, который дает общее представление о составе изучаемого объекта в объеме 40–60 химических элементов. Затем приступают к количественному определению отдельных, наиболее значимых для данного объекта элементов.

Для выполнения «полного анализа» пробу весом 10–30 мг растирают до пудры, помещают в канал нижнего угольного электрода и в течение 0,5–1,0 мин полностью испаряют в дуге постоянного или переменного тока. При включении дуги электроды разогреваются до температуры около 7000–3000 °С, проба плавится и постепенно испаряется. При этом испарение носит сильно выраженный *фракционный* характер.

В плазму дуги сначала поступают легколетучие элементы – это в первую очередь щелочные и щелочноземельные легко ионизирующиеся элементы, способные снижать температуру дуги от 7000 до 4000 °С и соответственно изменять состав плазмы. Далее в определенной последовательности испаряются элементы средней летучести, а последними испаряются труднолетучие.

С помощью спектрографа (камерного объектива) излучение разлагают в спектр и фотографируют на фотопластинке. Полученный спектр исследуют при 10-кратном увеличении на приборе спектропроекторе, выявляя спектральные линии, характерные для определенных элементов.

*Атомно-абсорбционный метод анализа* в методическом отношении близок к эмиссионному анализу. Он основан на поглощении излучения элемента невозбужденными атомами того же элемента.

Здесь используют обычно газовое пламя. Техника выполнения этого анализа отличается от техники эмиссионного анализа только тем, что дополнительно устанавливают источник зондирующего излучения для наблюдения поглощения. Это обычно лампа с полым катодом, содержащая определенный элемент.

Чаще зондирующее излучение проходит через газовое пламя, в которое распыляется раствор анализируемого вещества. По уменьшению интенсивности спектральной линии, вызванному тем, что атомы определенного элемента поглощают излучение, судят о содержании этого элемента в образце.

Эффект этого метода заключается во-первых, в том, что он позволяет определять ряд тех элементов (Mo, Zn, Sn, Bi), для которых непригоден эмиссионный метод вследствие сравнительно высокого потенциала возбуждения линий. Во-вторых, чувствительность определения многих элементов (Cu, Ag, Au, Fe, Ni, Co и Hg) этим методом значительно выше.

**Атомно-флуоресцентная спектроскопия. Флуоресценция** – кратковременная люминесценция, затухающая, в отличие от фосфоресценции, в течение  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  с после прекращения возбуждения. Люминесценция является следствием различных преобразований энергии в веществе в световую. Основой представлений о механизме возбуждения люминесценции является зонная модель твердого тела. Центрами люминесценции служат ионы примесей, расположенные в узлах решетки, в междоузлиях или же в дефектах кристаллических структур, а также собственные дефекты решетки: вакансии, междоузельные атомы и др.

Источниками люминесценции выступают:

- 1) ультрафиолетовое излучение;
- 2) рентгеновские лучи;
- 3)  $\gamma$ -лучи;
- 4) ионизирующие частицы.

В результате облучения вещество испускает вторичное, или флуоресцентное излучение. Если разложить это излучение

в спектр, то получится линейчатый спектр, который аналогичен линейчатому спектру первичного возбуждения. Этот спектр не сопровождается сплошным (непрерывным) спектром, так как он возникает в результате возбуждения атомов квантами рентгеновского излучения, а не электронами. В результате контрастность линейчатых спектров на рентгеноспектрограмме возрастает в десятки раз. Это позволяет существенно увеличить чувствительность метода.

**Атомно-флуоресцентный анализ** представляет собой совокупность методов качественного и количественного анализа, основанных на флуоресценции исследуемого вещества. Качественный анализ производится по цвету флуоресцентного излучения, при количественном – измеряется интенсивность последнего.

В настоящее время этот метод анализа позволяет качественно и количественно определять элементы, начиная с 12-го атомного номера и до конца периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева, включая заурановые элементы, содержащиеся в самых разнообразных материалах – природных (горных породах, минералах, концентратах, нефтях и т. д.) и искусственных (сплавах, керамиках и т. д.).

*Приборы и аппараты атомно-флуоресцентных методов.* Если на пути возбужденного излучения поместить монохроматор (например, УМ-2) с приемником (ФЭУ), то получится принципиальная схема установки для регистрации спектров люминесценции. Типичным прибором призмённых спектрографов являются ИСП-51 и ДФС-12.

Для наблюдения за цветом свечения при люминесценции используют очень удобные всевозможные портативные ртутные лампы.

**Нейтронно-активационный анализ (НАА).** Нейтроны, вследствие отсутствия электрического заряда, легко проникают в любые ядра атомов. Под действием нейтронов идут различные ядерные реакции. В основе НАА лежит метод облучения проб тепловыми и резонансными нейтронами, который может ис-

пользоваться в двух вариантах: инструментальном и с радиохимическим выделением.

Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) обладает высокой производительностью, экспрессностью, многоэлементностью и возможностью автоматизации процесса анализа. Предел обнаружения элементов в зависимости от их активационных свойств и состава матрицы анализируемой пробы в основном лежит в пределах от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$  %. Метод с радиохимическим выделением (РНАА) позволяет снизить предел обнаружения на два и более порядков, но отличается трудоемкостью и длительностью.

**Ядерный и электронный магнитный резонанс.** *Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)* – резонансное поглощение электромагнитных волн, обусловленное квантовыми переходами атомных ядер между энергетическими уровнями с *разными ориентациями спина ядра*. Спектры ЯМР используют для исследования структуры твердого тела и сложных молекул.

Отличие *электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)* от ЯМР в том, что здесь фиксируют резонансное поглощение радиоволн, обусловленное квантовыми переходами между *магнитными подуровнями* парамагнитных ионов.

**Масс-спектрометрия** – это комплекс точных и высокочувствительных методов исследования вещества путем определения спектра масс нуклидов, содержащихся в веществе, и их относительных содержаний (распространенности). Методы позволяют разделять молекулы или атомы по их массам.

Используют специальные приборы – масс-спектрометры. Они основаны на принципах воздействия электрических и магнитных полей на пучки ионов, движущихся в вакууме. Для регистрации ионных токов обычно используются усилители постоянного тока либо фотопластинки (в масс-спектрографах).

**Биологические, микробиологические методы.** Сущность, особенности и возможности этих и последующих методов анализа находятся на стадии интенсивного развития на

стыке геоэкологии с медицинской экологией. Например, биоиндикация радиоактивного загрязнения в урбанизированных территориях или в зоне воздействия предприятий ЯТЦ; биоиндикация геоактивных зон, коррозии строительных материалов фундаментов и стен зданий исторической застройки в условиях повышенной влажности и т. д.

*Фундаментальная для геоэкологии окружающей среды потребность в современных экспрессных, надежных, высокочувствительных и селективных методах контроля становится все более острой. Как не уставал наставлять академик Д.С. Коржинский: новые методы несут новые знания. Число методов, которые сейчас доступны геоэкологии, очень быстро растет. Данные анализа всё чаще служат для принятия решений о регулирующих мерах и санкциях.*

### **Контрольные вопросы и задания**

1. На каких принципах основана современная классификация аналитических методов в геоэкологии?
2. Для каких целей используются хроматография и экстракция, и каковы их принципиальные методические отличия?
3. Назовите физико-химический смысл хроматографии, ее разновидности.
4. Чем отличаются химические методы количественного определения загрязняющих веществ от физических?
5. Дайте характеристику биохимических методов.
6. Охарактеризуйте физико-химические принципы основных методов анализа.
7. Дайте сравнительную характеристику методов титрования и гравиметрии.
8. Дайте характеристику методов инфракрасной спектроскопии.
9. Какие существуют методы для определения радона?

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Мананков, А.В.* Георадиоэкология г. Томска / А.В. Мананков, Е.В. Сафонова // Кучинские чтения. Матер. юбил. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения проф. М.И. Кучина. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2007. – С. 116–120.

2. *Мананков, А.В.* К проблемам градостроительства, оптимизированным по геодинамическим и радиогеоэкологическим критериям / А.В. Мананков, Е.В.Сафонова // Междунар. год планеты Земля: проблемы геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2008. – С. 144–147.

3. *Механизмы выделения и переноса* радона и его дочерних продуктов распада в приземный слой атмосферы / А.В. Мананков, И.И. Подшивалов, А.И. Майков [и др.] // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы совещания. – Томск, 2005. – С. 237–240.

4. *Мананков, А.В.* Причинно-следственные связи геодинамики и гидрогеохимии с эманациями радона / А.В. Мананков, Е.В. Сафонова // Становление и развитие научных исследований в высшей школе : сб. трудов Междунар. научн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения проф. А.А. Воробьева. Т. 2. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – С. 376–384.

5. *Назиров, Р.А.* Радиоэкологическое сопровождение строительства / Р.А. Назиров, С.А. Кургуз, В.В. Коваленко. – Красноярск : Изд-во КрасГУ, 2002. – 146 с.

6. *Нормы радиационной безопасности* (НРБ –99/2009) : Гигиенические нормативы. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.

7. *Рихванов, Л.П.* Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии : учеб. пособие / Л.П. Рихванов. – Томск : СТТ, 2009. – 430 с.

8. *Сапожников, Ю.А.* Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.

9. *Старков, В.Д.* Основы радиационной экологии / В.Д. Старков. – Тюмень : Изд-во «Тюмень», 2001. – 208 с.

10. *Титяева, Н.А.* Ядерная геохимия / Н.А. Титяева. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.

11. *Язигов, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Язигов, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

12. *Анализ объектов окружающей среды.* Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

13. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

14. *Коваленко, В.В.* Введение в прикладную радиогеоэкологию / В.В. Коваленко, З.Г. Холостова. – Новосибирск : Наука, 1998. – 108 с.

15. *Кросс, А.* Введение в инфракрасную спектроскопию / А. Кросс. – М. : Физматгиз, 1963. – 253 с.

16. *Основы радиационной биофизики и региональной радиоэкологии* / В.В. Коваленко [и др.]. – Красноярск, 2002. – 219 с.

17. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

18. *Современные методы* минералогического исследования. Ч. I и II. – М. : Недра, 1969. – 2597 с.

19. *Хомич, В.А.* Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

20. *ГОСТ 17.4.4.02–84.* Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

21. *ГОСТ 17.4.2.01–81.* Охрана природы. Почвы, Номенклатура показателей санитарного состояния.

## 4. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Результаты контроля качества компонентов окружающей среды, полученные на стадии «Измерение», подлежат математической обработке.

При работе с аналитической аппаратурой и приборами большое значение придается надежности действия приборов и точности измерений, а также правильности анализа и воспроизводимости результатов.

### 4.1. Некоторые сведения о метрологии и системе единиц в геоэкологии

Все эти характеристики и особенности, рассмотренные в предыдущих разделах, связаны с метрологией. Метрология – это наука о мерах, именно она включает общие знания о единицах, средствах и методах измерений. Основными задачами ее являются проверка и испытание измерительных приборов для установления точности и надежности их действия. Необходимые метрологические термины следующие.

**Измерение** – это ряд действий, выполняемых с помощью приборов с целью нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения. Измерения различают *контактные* и *бесконтактные* (когда датчик измерительного устройства не соприкасается с измеряемым объектом). Контакт с измеряемым объектом может быть точечным, линейным и поверхностным.

**Единица измерения** – это значение физической величины, принятой за основание для сравнения при количественной оценке величины того же рода. Например, 1 метр – это единица длины. Совокупность единиц измерения, охватывающих определенную область величин, называется *системой единиц* (например, система единиц концентраций веществ).

**Величина** – это количественная характеристика физического тела или явления, или процесса.

### Средства измерения

Средства измерения подразделяются на **меры, контрольно-измерительные приборы и измерительные приспособления**.

**Мерами** называют тела, вещества и устройства, предназначенные для конкретного воспроизведения единицы измерения или определенного, заранее установленного размера.

**Контрольно-измерительные приборы** – это устройства, которые служат для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с мерой.

**Измерительные приспособления** обеспечивают сравнение измеряемой величины с контрольной.

Контрольно-измерительные приборы классифицируются по способу получения результатов измерения и способу отсчета показаний и характеру применения.

**По способу получения результатов** измерения различают приборы сравнения, показывающие и суммирующие.

**Приборы сравнения** (компарирующие) предназначены для непосредственного сравнения измеряемой величины с мерой. К ним относятся рычажные весы с гирями, лабораторные потенциометры и др.

**Показывающие приборы** служат для определения значения измеряемой величины (например, давления, температуры) по отсчетным приспособлениям (шкале, цифровому указателю и др.), предварительно проградуированным путем прямого или косвенного сравнения с мерами. Показывающие приборы являются наиболее многочисленными.

**Суммирующие приборы** показывают суммарное значение измеряемой величины за время действия прибора (например, радонметры, где по сути измеряют в течение минут или часов не концентрацию радона, у которого период полураспада составляет более 3,8 суток, а сумму его дочерних продук-

тов распада – Po-218 ( $T_{1/2} = 3,05 \text{ min}$ ); Bi-214 ( $T_{1/2} = 19,7 \text{ min}$ ) и других.

По способу отсчета показаний различают приборы с непосредственным отсчетом и с управляемым отсчетом.

Приборы с *непосредственным отсчетом* дают показания автоматически, без участия наблюдателя (амперметры, термометры, автоматические потенциометры и др.). Приборы с *управляемым отсчетом* требуют для получения отсчета некоторых операций по наладке и регулировке их отсчетных устройств (неавтоматические мосты, оптические пирометры и др.).

По *характеру применения* измерительные приборы подразделяются на указывающие, самопишущие (регистрирующие), сигнализирующие и регулирующие.

*Указывающие* приборы позволяют наблюдателю производить отсчет измеряемой величины только в данный момент. *Самопишущие* приборы снабжены устройствами для автоматической записи измеряемых величин. *Сигнализирующие* приборы имеют специальные приспособления для включения звуковой или световой сигнализации, когда измеряемая величина достигает заданного значения. Регулирующие приборы предназначены для поддержания значения измеряемой величины – параметра – на заданном уровне или по заданной программе в соответствии с требованиями технологического процесса (например, регуляторы уровня, температуры и др.).

По метрологической классификации *меры и измерительные приборы* разделяются на *образцовые и рабочие*.

*Образцовые* меры и измерительные приборы предназначены для воспроизведения единиц измерения, поверки и градуировки рабочих измерительных приборов. *Рабочие* меры и измерительные приборы служат для измерений в производственных условиях.

Различают три основных вида *абсолютных погрешностей*: случайные, систематические, промахи.

**Случайные погрешности** вызываются случайными, неконтролируемыми причинами, действие которых неодинаково при

параллельных измерениях. Значения случайных погрешностей могут быть различными даже тогда, когда параллельные измерения производятся в одинаковых условиях, в один и тот же день, одним аналитиком, с одними и теми же реактивами, посудой, приборами и т. д. Например, взвешивая одну и ту же навеску несколько раз на одних весах, пользуясь при этом одними гирями, можно получить разные результаты. Причиной случайных погрешностей в этом случае может оказаться колебание воздуха, неодинаково влияющее на чашки весов, или нагревание одной половины коромысла от руки взвешивающего.

Абсолютные погрешности случайным образом изменяются от одного единичного измерения к другому. Они могут быть в одних измерениях очень маленькими, в других – достаточно большими, в одних – отрицательными, а в других – положительными. Какова погрешность данного единичного измерения, сказать нельзя, но можно оценить возможную случайную погрешность данной методики. Для этого при разработке методики производят большое число (десятки и даже сотни) определений концентрации в стандартном образце с точно известной концентрацией в соответствии с данной методикой.

**Систематические погрешности** – это погрешности, значение которых остается неизменным во всех параллельных измерениях. Из-за систематических погрешностей результат анализа оказывается неправильным. Например, при проведении химического количественного анализа источником систематической погрешности может оказаться неточная калибровка посуды или неточно определенный титр рабочего раствора. Сколько бы раз мы ни повторяли определение концентрации раствора, используя эту мерную посуду или рабочий раствор, результат определения будет иметь одну и ту же погрешность.

**Промахи** – это грубые погрешности, возникающие в результате недоброкачественной работы аналитика. Например, из-за невнимательности он может записать неверные результаты взвешивания, неправильно снять показания прибора и т. д.

О промахе говорят в тех случаях, когда какой-то результат единичного определения сильно отличается от всех остальных. Отбросить такой результат без дополнительной проверки нельзя, так как он может оказаться следствием большой случайной погрешности. Существует несколько способов отбраковки промахов, о которых будет сказано позже.

*Основными метрологическими характеристиками* методики анализа являются сходимость, воспроизводимость, правильность, точность, чувствительность и предел обнаружения.

**Сходимость** – это степень близости друг к другу результатов параллельных единичных измерений, выполненных в одинаковых условиях одним и тем же человеком, в один день при использовании одних и тех же материалов и аппаратуры.

**Воспроизводимость** – это степень близости друг к другу результатов единичных измерений, выполненных в различных условиях (например, разными людьми или на разных приборах, в разные дни и т. д.). Воспроизводимость в 1,5–2 раза ниже сходимости.

Чем выше сходимость и воспроизводимость методики (т. е. меньше стандартное отклонение), тем реже в единичных измерениях встречаются большие погрешности и тем ближе результаты параллельных измерений.

**Правильность** характеризует близость результатов анализа к истинному содержанию компонента в образце. Правильность обусловлена наличием и значением систематических погрешностей.

**Точность** отражает близость к нулю погрешностей всех видов (как систематических, так и случайных).

**Чувствительность** отражает способность метода обнаружить разницу между близкими концентрациями (количествами) определяемого вещества. Если определение концентрации производится по градуировочной кривой, построенной по стандартным образцам, то чувствительность метода равна тангенсу угла наклона этой кривой при данной концентрации. Если градуиро-

вочный график прямолинеен, то чувствительность метода определяется отношением  $x/c$ , где  $x$  – разность аналитических сигналов;  $c$  – соответствующая им разность концентраций.

**Предел обнаружения** характеризует наименьшее содержание определяемого вещества в соответствии с данной доверительной вероятностью. Предел обнаружения определяется с помощью градуировочной кривой по величине минимального обнаруживаемого аналитического сигнала.

Различают абсолютный и относительный пределы обнаружения. *Абсолютный предел* обнаружения – это наименьшее количество вещества, которое может быть обнаружено данным методом. Он выражается в единицах массы – граммах, миллиграммах, микрограммах и т. п. *Относительный предел* обнаружения – это наименьшая обнаруживаемая данным методом концентрация, выражается в %, мг/мл, мкг/мл и т. д.

## 4.2. Статистические расчеты

Если  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – отдельные измерения искомой концентрации загрязнителя (результаты параллельных определений), то находят среднее арифметическое  $\bar{x}$  по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

где  $n$  – число измерений.

## 4.3. Расчет погрешностей измерений

После определения концентрации загрязнителя вычисляют абсолютную случайную погрешность  $i$ -го измерения

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}, \quad (4.2)$$

среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

и относительную квадратическую погрешность отдельного измерения

$$\delta_x = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (4.4)$$

Из (4.3) рассчитывают среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

и относительную квадратическую погрешность среднего арифметического

$$\delta_x = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}}. \quad (4.6)$$

Истинное значение искомой концентрации загрязнителя с надежностью (вероятностью)  $p$  лежит в доверительном интервале

$$\bar{x} \pm t_p \bar{\sigma}, \quad (4.7)$$

где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента (табл. 4.1), зависящий от числа измерений и ожидаемой (заданной) надежности  $p$ .

*Таблица 4.1*

**Коэффициент Стьюдента  $t_p$  при надежности  $p$ , равной 0,95, в зависимости от числа измерений  $n$**

$n$	3	5	7	9	20	30	$\infty$
$t_p$	3,182	2,671	2,365	2,262	2,086	2,043	1,96

Если для некоторого  $i$ -го измерения

$$|\Delta x_i| > 3\sigma, \quad (4.8)$$

то это измерение отбрасывается как содержащее грубую ошибку и все величины по формулам (4.1) – (4.7) пересчитываются заново.

Ошибки любых измерений, в том числе и аналитических, могут быть:

а) систематическими (в анализе они зависят от применяемого метода, неполноты протекания реакций, погрешности приборов, техники исполнения);

б) случайными (зависящими от случайных загрязнений, изменений напряжения в электрической сети, изменений температуры в лаборатории, случайных изменений режима определения);

в) грубыми (из-за ошибок оператора, поломок аппаратуры и т. п.).

Систематические ошибки можно предвидеть и свести к минимуму, случайные учитываются при математической обработке по формулам (4.1) – (4.7), а грубые обнаруживаются на основе критерия (4.8).

Эту стадию проще всего осуществлять с помощью электронной таблицы Microsoft Excel, которая позволяет при обработке экспериментальных данных решать такие задачи:

- 1) статистической обработки аналитических результатов;
- 2) интерполяции и экстраполяции;
- 3) аппроксимации (подбор эмпирических формул).

#### **4.4. Интерпретация и сравнение полученных данных**

Стадия *«Интерпретация и сравнение полученных данных»* является наиболее творческой и проводится путем анализа

полученного массива результатов и их сравнения с литературными, собственными более ранними, теоретическими и другими данными. При этом анализируются возможные зависимости и взаимосвязи между концентрациями загрязнителей и другими параметрами среды.

При обсуждении пригодности и вариантов применения разных аналитических методов для определения концентрации загрязнителей прежде всего обращается внимание на чувствительность и предел обнаружения этих методов.

Чувствительность  $H$  метода можно рассчитать по данным калибровки измерительного прибора (фотоколориметра, спектрофотометра и т. д.). При калибровке, используя растворы с известным содержанием загрязнителя, экспериментально строят зависимость некоторого фиксируемого физического параметра (оптической плотности, силы тока и т. п.) от концентрации или количества загрязнителя в пробе. На графике концентрация откладывается по оси абсцисс  $x$ , а физический параметр – по оси ординат  $y$ . Тогда

$$H = \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_x \quad (4.9)$$

или 
$$H = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta D}{\Delta C} = \dots, \quad (4.10)$$

где  $D$  – оптическая плотность;  $C$  – концентрация, так как в аналитической химии, как правило, используется линейная часть градуировочного графика.

Предел обнаружения метода (наименьшая концентрация  $C_m$ , которая может быть обнаружена с разумной достоверностью) можно рассчитать по формуле

$$C_m = \frac{3\sigma_\phi}{H}, \quad (4.11)$$

где  $\sigma_\phi$  – средняя квадратическая погрешность отдельного измерения фона  $y_\phi$ , найденная по (4.8) и результатам экспери-

ментального определения фона или через минимально определяемое значение физического параметра:

$$y_{\tau} = y_{\phi} + 3\sigma_{\phi} \quad (4.12)$$

по калибровочному графику.

Если предел обнаружения загрязнителя выше, чем его ожидаемая концентрация в объекте окружающей среды, необходимо провести концентрирование загрязнителя.

Для этой цели наиболее часто используется экстракция, реже – хроматография. Необходимый коэффициент концентрирования легко получить из сопоставления предела обнаружения метода и ожидаемой концентрации загрязнителя.

### Контрольные вопросы и задания

1. Как рассчитать среднеарифметическое значение из полученных данных?
2. Как рассчитать абсолютную случайную погрешность измерений?
3. Как рассчитать среднюю квадратическую и относительную квадратическую погрешность отдельного измерения?
4. Как рассчитать среднюю квадратическую и относительную квадратическую погрешность среднего арифметического?
5. По каким критериям отбраковываются отдельные измерения?
6. Что такое коэффициент Стьюдента и где он используется?
7. Дайте классификацию аналитических ошибок.
8. Что понимается под «чувствительностью метода», по какой формуле можно ее вычислить для любого аналитического метода?
9. Что понимается под «пределом обнаружения метода», по какой формуле можно его вычислить?
10. Для чего и какими методами осуществляют концентрирование загрязнителей?

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Нормы радиационной безопасности* (НРБ –99/2009) : Гигиенические нормативы. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.

2. *Рихванов, Л.П.* Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозологии : учеб. пособие / Л.П. Рихванов. – Томск : СТУ, 2009. – 430 с.

3. *Сапожников, Ю.А.* Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.

4. *Старков, В.Д.* Основы радиационной экологии / В.Д. Старков. – Тюмень : Изд-во «Тюмень», 2001. – 208 с.

5. *Титяева, Н.А.* Ядерная геохимия / Н.А.Титяева. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.

6. *Язиков, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

7. *Анализ объектов окружающей среды.* Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

8. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

9. *Коваленко, В.В.* Введение в прикладную радиозоэкологию / В.В. Коваленко, З.Г. Холостова. – Новосибирск : Наука, 1998. – 108 с.

10. *Основы радиационной биофизики и региональной радиозологии* / В.В. Коваленко [и др.]. – Красноярск, 2002. – 219 с.

11. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

12. Самарский, А.А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.

13. Хомич, В.А. Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

## 5. ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ПО ГЕОЭКОЛОГИИ

### Задача 5.1

(типловая для выбора метода анализа)

Атмосферные осадки над г. Томском содержат в среднем 10 мкг меди/л. Подберите метод (методы) анализа для мониторинга и исследования осадков в этом городе на содержание меди. Следует ли их предварительно концентрировать? Какие объемы осадков необходимы в качестве проб для анализов?

*Решение.* По условиям задачи средняя концентрация меди в атмосферных осадках:

$$10 \text{ мкг/л} = 10^{-6} \% = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Сравнивая эту концентрацию с пределами обнаружения различных методов анализа (табл. 3.1), получаем:

1. Метод титрования можно применить, но после достаточного концентрирования раствора в 2–3 раза (с очевидным запасом).

2. Метод спектрофотометрии в видимой области имеет достаточный предел обнаружения, но если концентрации меди будут ниже средней, потребуются предварительное концентрирование раствора в несколько раз.

3. Без предварительного концентрирования можно проводить определения меди методами пламенной эмиссионной спектроскопии и атомно-абсорбционной спектроскопии. Точность этих методов одинакова, поэтому предпочтение одному из них может быть отдано в зависимости от возможностей лаборатории.

### Задача 5.2

1. ПДК бериллия в питьевой воде – 0,0002 мг/л. Какие методы анализа могут быть применены для его определения?

2. В воде р. Томь никель содержится в концентрациях  $0,0008 + 0,0056$  мг/л.

Обсудите условия применения для его определения методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Предел обнаружения никеля – 0,002 мг/л.

### Задача 5.3

(типичная для расчета чувствительности и предела обнаружения данного метода анализа)

При определении фотоколориметрическим методом бора в природных водах получены следующие результаты:

$C$ , мкг/мл	2,0	3,0	5,0	7,0	8,0
$D$ , оптическая плотность	0,058	0,089	0,0143	0,185	0,220

При определении фона на холостых пробах оптические плотности  $D_{\phi}$  оказались следующими: 0,007; 0,005; 0,004; 0,008 и 0,003.

Найдите чувствительность и предел обнаружения данного метода. В природных водах содержание бора обычно составляет 0,1–0,01 мг/л. Можно ли определять бор данным методом?

*Решение.* По исходным данным задачи строим градуировочный график, из которого согласно уравнению (4.10) вычисляем чувствительность метода  $H$ :

$$H = \Delta D / \Delta C = 0,082 / 3,0 = 0,027 \text{ ед. опт. пл. / мкг/л.}$$

Далее по уравнениям (4.1) и (4.3) вычисляем среднеарифметическое  $D_{\phi} = 0,005$  и среднюю квадратическую погрешность  $\sigma_{\phi} = 0,002$ .

По формуле (4.11) определяем предел обнаружения

$$C_m = 0,006 / 0,027 = 0,22 \text{ мкг/л}$$

или по (4.12) определяем:

$$D_{\min} = 0,005 + 0,006 = 0,011 \text{ ед. опт. пл.}$$

и по градуировочному графику находим:

$$C_m = 0,2 \text{ мкг/л.}$$

Согласно условиям задачи концентрация бора лежит в интервале  $0,01 \pm 0,1$  мг/л =  $0,01 \pm 0,1$  мкг/мл.

Сравнивая эти величины с пределом обнаружения, видим, что нижний уровень концентрации в 20 раз, а верхний – в 2 раза меньше предела обнаружения, следовательно, для достижения предела обнаружения эти растворы необходимо сконцентрировать в 20 и 2 раза соответственно. А для надежного определения коэффициенты концентрирования желательнее увеличить еще в 2–4 раза. Тогда, например, при концентрировании в 60 и 6 раз соответственно, бор будет надежно определяться даже в наиболее бедных им растворах.

#### Задача 5.4

##### Математическая обработка результатов измерений

В четырех пробах донного ила (каждая проба – 100 г) по результатам параллельных измерений обнаружили  $U_3O_8$  (табл. 5.1).

Проведите математическую обработку этих результатов:

1. Найдите среднее арифметическое значение.
2. Вычислите абсолютную случайную погрешность  $i$ -го измерения.
3. Определите среднюю квадратическую погрешность отдельных измерений.
4. Определите относительную квадратическую погрешность отдельных измерений.
5. Рассчитайте среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического и относительную квадратическую погрешность среднего арифметического.
6. По табличному значению коэффициента Стьюдента при 4 измерениях с надежностью 0,95 составьте доверительный интервал.
7. Примените правило  $3\sigma$  для нахождения грубых аналитических ошибок.

Если такие результаты есть, отбросьте их и найдите новый доверительный интервал.

Таблица 5.1

**Исходные данные для статистической обработки**

Номер варианта	Содержание $U_3O_8$
1	0,0217; 0,0261; 0,0235; 0,0225
2	0,0215; 0,0256; 0,0234; 0,0226
3	0,0218; 0,0257; 0,0233; 0,0227
4	0,0219; 0,0258; 0,0232; 0,0228
5	0,0216; 0,0259; 0,0231; 0,0229
6	0,0220; 0,0260; 0,0230; 0,0251
7	0,0221; 0,0261; 0,0236; 0,0252
8	0,0222; 0,0262; 0,0236; 0,0253
9	0,0223; 0,0263; 0,0237; 0,0254
0	0,0224; 0,0264; 0,0238; 0,0255

**Задача 5.5**

**Математическая обработка результатов измерений**

В водоем с турбулентными условиями непрерывно сбрасывается некоторый загрязнитель с известной концентрацией  $C_0$ . Варианты загрязнителей приведены в табл. 5.2. На каком расстоянии от места сброса концентрация загрязнителей достигнет их ПДК при заданном времени и известной исходной (в сбросе) концентрации?

Сбросы, по существу, являются источником загрязнителей водной среды. В геоэкологии и экологической безопасности роль перемещений в рассеивании загрязнителей считается основной и подлежит обязательному учету.

В механизмах перемещения загрязнителей основное внимание должно уделяться течениям и турбулентной диффузии, так как молекулярная диффузия в водной среде характеризуется весьма малой скоростью. Осаждение поллютантов в депонирую-

щие среды становится существенным в зимнее время в результате вмерзания в ледовое покрытие. Например, так произошло с масштабными выбросами китайским предприятием высокотоксичного нитробензола ( $C_6H_5NO_2$  с ПДК<sub>рх</sub> = 0,01 мг/л) зимой 2006 г. в реку Амур, выше по течению г. Хабаровска. Другой вариант осаждения возможен при заметной концентрации в выбросах твердой (песчано-глинистой) фазы, что случается очень редко.

Течения играют существенную роль в переносе загрязнителей в реках и отдельных районах морей и океанов, причем более значимым и всеобщим фактором является турбулентная диффузия ( $D_{турб}$ ).

Коэффициенты турбулентной диффузии зависят от «масштаба длины», поэтому их следует выбирать в соответствии с масштабами расстояния. В данной задаче можно использовать значение  $D_{турб}$ , для 10 км оно равно  $4 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$ .

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Исходные данные (по вариантам)**

Вариант	Загрязнитель	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Время, ч	$C_0$ , мг/л
1	Соли хрома	0,1	10	50
2	Соли хрома	0,1	5	100
3	Соли хрома	0,1	24	20
4	Аммиак	0,05	10	50
5	Аммиак	0,05	24	20
6	Аммиак	0,05	10	30
7	Фенол	0,001	24	0,2
8	Фенол	0,001	48	0,4
9	Цианиды	0,05	24	10
0	Цианиды	0,05	12	30

1) Используя вышеприведенное значение коэффициента турбулентной диффузии, можно оценить рассеяние  $\Delta x$  загрязнителей в водоемах по уравнению

$$\Delta x = \sqrt{2D_{\text{турб}}t},$$

где  $\Delta x$  – расстояние, на которое распространяется фронт поллютантов за время  $t$ , с.

2) Точные расчеты переноса загрязнителей от точки выброса можно провести, решив уравнение 2-го закона Фика. Однако это уравнение не имеет общего решения, а может быть решено лишь при определенных граничных условиях.

Если имеется выброс загрязнителя, концентрация которого в выбросе постоянна и равна  $C_0$ , а концентрация  $C$  в начальный момент в любых точках, кроме точки выброса, равна нулю, то граничные условия принимают следующий вид:

1)  $C = 0$  при  $t = 0$ ; 2) при  $x = 0$ ,  $C = C_0 = \text{const}$  и не зависит от времени.

Решение уравнения 2-го закона Фика при этих граничных условиях имеет вид

$$C = C_0 \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/\sqrt{2Dt}} e^{-y^2} dy \right),$$

где второй член, стоящий в скобках, – интеграл вероятностей (трансцендентная функция Крампа), определяемый по специальным таблицам.

Из условий задачи и этого уравнения

$$C / C_0 = 1,0,$$

т. е. интервал вероятностей равен 1,0, а верхний предел интегрирования  $z$  по табличным данным равен 3,23 (табл. 5.3). Тогда в уравнении

$$z = \frac{x}{\sqrt{2Dt}} = 3,23.$$

Все переменные известны, и можно рассчитать значения  $x$  для каждого поллютанта.

Таблица 5.3

**Интервал вероятностей (трансцендентная функция Крампа)**

$z$	$\Phi$	$z$	$\Phi$
0,01	0,01128	2,40	0,99931
0,05	0,05637	2,50	0,99959
0,1	0,11246	2,60	0,99976
0,5	0,52050	2,70	0,99987
1,00	0,84270	2,80	0,99992
1,50	0,96611	2,85	0,99994
2,00	0,99532	2,90	0,99996
2,10	0,99702	3,00	0,99998
2.20	0,99814	3,07	0,99999
2,30	0,998865	3,23	1,00000

Примечание.  $\Phi = 2 \int_0^z e^{-y^2} dy / \sqrt{\pi}$ .

Сравните результаты, полученные двумя способами.

**Контрольные вопросы и задания**

1. На основе какого признака классифицируются выбросы загрязняющих веществ?
2. Что такое время жизни поллютанта в атмосфере?
3. Приведите примеры загрязнителей, относящихся к разным классам.
4. Какие законы описывают процесс диффузии?
5. Как рассчитывается смещение границы загрязнения?
6. Как решается уравнение, являющееся 2-м законом Фика?
7. Чем определяется диффузия в почвах и донных осадках?
8. Какие факторы влияют на распространение загрязнителей при выбросе из дымовых труб?

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Голубев, Г.Н.* Геоэкология / Г.Н. Голубев. – М. : МГУ. – 1999. – 300 с.
2. *Инженерная экология и экологический менеджмент* / М.В. Буторина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева [и др.] ; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадына. – М. : Логос, 2003. – 528 с.
3. *Мананков, А.В.* Экология : учеб. пособие / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2003. – 142 с.
4. *Нормы радиационной безопасности (НРБ –99/2009):* Гигиенические нормативы. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.
5. *Рихванов, Л.П.* Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозоологии : учеб. пособие / Л.П. Рихванов. – Томск : СТТ, 2009. – 430 с.
6. *Самарский, А.А.* Численные методы решения задач конвекции-диффузии. Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.
7. *Сапожников, Ю.А.* Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.
8. *Старков, В.Д.* Основы радиационной экологии / В.Д. Старков. – Тюмень : Изд-во «Тюмень», 2001. – 208 с.
9. *Тарасов, В.В.* Мониторинг атмосферного воздуха / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. – 97 с.
10. *Титяева, Н.А.* Ядерная геохимия / Н.А. Титяева. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.
11. *Хомич, В.А.* Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.
12. *Языков, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Языков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

13. *Анализ объектов окружающей среды*. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

14. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

15. *Мананков, А.В.* Научная рациональность в проблеме устойчивого развития / А.В. Мананков // *Методология науки*. Вып. III. Становление современной научной рациональности. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – С. 120–126.

16. *Мананков, А.В.* Краткий словарь по геоэкологии и экологической безопасности : учеб. пособие / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 77 с.

17. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

18. *Потапов, В.В.* Киотский протокол как механизм дискриминации России / В.В. Потапов // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. – 2004. – № 3. – С. 73–85.

19. *Руководство Р 2.2.2006-05.* Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М. : Минздрав России, 2005. – 152 с.

20. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 135 с.

21. *Экология и экономика природопользования* / под. ред. проф. Э.В. Гирусова. – М. : Единство, 2002. – 519 с.

22. *Ясаманов, Н.А.* Основы геоэкологии : учеб. пособие / Н.А. Ясаманов. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 352 с.

## **6. ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В ГЕОМОНИТОРИНГЕ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

Вначале экспедиционные, а вскоре постоянные исследования по программе комплексного фоновых мониторинга в рамках международных соглашений между странами СЭВ начаты у нас в стране в самом начале 80-х годов XX века.

Фоновое загрязнение природной среды увеличивается в основном за счет распространения антропогенных и техногенных поллютантов в атмосфере и переноса их водными потоками на большие расстояния. Это обусловлено тем, что антропогенные и техногенные выбросы (в атмосферу) и сбросы (в водоемы) смешиваются, частично разбавляются и переносятся естественными потоками вещества. Загрязняющие вещества в процессе дальнего переноса претерпевают физико-химические изменения, осаждаются на земную поверхность и включаются в природные процессы миграции и концентрации на новом уровне. В связи с этим создана система наблюдений за антропогенными и техногенными изменениями компонентов окружающей среды на фоне ее естественной изменчивости.

Станции фоновых наблюдений подразделяются на базовые и региональные. Перечень приоритетных загрязнителей и мест контроля определяется масштабами воздействия.

Базовые станции размещаются в районах, не подверженных непосредственному антропогенному воздействию, обычно в зонах природных заповедников. Они должны давать информацию об исходном состоянии биосферы. Для планеты Земля таких станций создано около 40 на суше и около 10 в Мировом океане.

Региональные станции располагаются вблизи урбанизированных районов и дают информацию о состоянии биосферы в этих районах.

Фоновый мониторинг, по сути, является подсистемой национального и глобального мониторинга. Для проведения сис-

тематических комплексных наблюдений и измерений фонового уровня загрязняющих веществ антропогенного и техногенного генезиса созданы станции комплексного фонового мониторинга, которые расположены в биосферных заповедниках. В результате проведения комплексного фонового мониторинга должны быть решены следующие задачи:

1) определение динамики изменения загрязняющих веществ;

2) определение пространственного распределения загрязняющих веществ в природных средах;

3) оценка тенденции изменения уровней загрязняющих веществ на конкретную перспективу.

При проведении геоэкологических исследований, включая геомониторинг, загрязнители определяются в атмосфере, воде, почве и биоте. Для каждой природной среды установлены перечни приоритетных загрязнителей, подлежащие определению.

1. В атмосферном воздухе – взвешенные частицы, оксиды серы, азота и углерода, озон, сульфаты, свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды.

2. В атмосферных выпадениях (осадках, снежных покровах, сухих выпадениях) – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды, рН, главные катионы и анионы (катионы калия, натрия, магния и кальция; сульфат-, хлорид-, нитрат- и гидрокарбонат-анионы).

3. В пресных водах – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды, биогенные элементы (фосфор, азот, кремний).

4. В почве и донных отложениях – те же вещества, что и в пресных водах.

5. В биоте (растительность, объекты животного мира) – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие пестициды. Исключение – биогенные элементы.

## 6.1. Фоновое загрязнение окружающей среды

Успешное проведение фонового геомониторинга во многом зависит от совершенства методов анализа, применяемых для определения поллютантов на самых низких уровнях концентраций (ультрамикроанализ, субмикроанализ и следовый анализ). Эти методы должны быть, по возможности, просты, надежны, высокочувствительны и селективны, унифицированы, мобильны и перспективны, чтобы при переходе на новые, более совершенные методы, результаты наблюдений предшествующих и последующих лет были сопоставимы (репрезентативны).

Содержание основных загрязнителей в природных объектах фоновых континентальных районов представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

### Концентрации основных загрязнителей в фоновых континентальных районах Земли (80-е годы XX в.)

Вещество	Воздух, нг/м <sup>3</sup>	Атмосферные осадки, мкг/л	Поверхностные воды, мкг/л	Почва, мг/кг (сухого вещества)	Растительный материал, мг/кг (сухого вещества)
Свинец	0,2+40	0,03+40	0,3+4	1+70	0,2+60
Кадмий	0,02+1,5	0,01+1,5	0,01+0,9	0,01+2	0,1+1
Мышьяк	0,1+10	0,02+10	0,05+10	0,1+9,6	0,1+1
Ртуть	0,03+50	0,01+0,6	0,01+0,6	0,001+0,6	0,001+0,6
3,4-бенз(а)пирен	0,01+0,8	0,001+0,03	0,001+0,005	0,0001+0,002	0,002+0,07
ДДТ	0,01+2	0,01+0,2	0,001+0,1	0,008+0,1	0,016+0,2
ГХЦГ(линдан)	0,005+8	0,01+0,04	0,001+0,06	0,001+0,1	0,01+0,16
Дополнение: воздух (мкг/м <sup>3</sup> )		пыль – 5+50, озон – 5+100, диоксид азота – 0,1+10, диоксид серы – 0,2+10, сульфаты – 0,3+10			
атмосферные осадки (мг/л)		сульфаты – 1+5			

Анализ табличных данных показывает, что концентрации основных загрязнителей в воздухе на несколько порядков меньше, чем в атмосферных осадках, а концентрации в последних практически совпадают с концентрациями в поверхностных водах. Содержание же поллютантов в почвах на несколько порядков выше, чем в поверхностных водах. Уровень концентрации примесей в растениях близок к таковому в почвах, т. е. особое концентрирование изученных поллютантов в биоте на (фоновом уровне) практически не наблюдается.

Перечень основных аналитических методов, применяемых в фоновом мониторинге, приведен в табл. 6.2.

Таблица 6.2

**Аналитические методы, применяемые в фоновом мониторинге, их точность и пределы обнаружения**

Определяемое вещество	Аналитический метод	Предел обнаружения	Точность измерения, %
Озон	Кулонометрия	10 мкг/м <sup>3</sup>	10
	Спектрофотометрия	4 мкг/м <sup>3</sup>	2
	Хемилюминометрия	2 мкг/м <sup>3</sup>	1
Оксиды азота	Химический	0,1 мкг/м <sup>3</sup>	5
	Хемилюминометрия	0,2 мкг/м <sup>3</sup>	1
Оксид серы (IV)	Химический	0,06 мкг/м <sup>3</sup>	5
	Пламенная фотометрия	3 мкг/м <sup>3</sup>	2
Ртуть	Атомно-абсорбционная спектрофотометрия (ААС)	0,05 нг/мл	5+10
Свинец, кадмий	ААС с пламенной атомизацией	0,5 мкг/мл (Pb)	10
		0,05 мкг/мл (Cd)	10
Pb, Cd	Рентгено-флюоресцентный анализ (РФА)	0,1 нг/см <sup>2</sup>	15
Мышьяк	ААС с гидридной генерацией	5 нг/мл	5+10
	Нейтронно-активационный анализ (НАА)	0,01 нг	5+10

Определяемое вещество	Аналитический метод	Предел обнаружения	Точность измерения, %
3,4-бензпирен и другие ПАУ	Спектрофотометрия	1 мкг/мл	10+15
	Газовая хроматография	0,1 мкг/мл	10+15
	Жидкостная хроматография	0,01 мкг/мл	10+15
	Люминесцентная спектроскопия при комнатной температуре	1 нг/мл	10+15
	Спектрофлуориметрия при температуре жидкого азота	0,1 нг/мл	15+20
ДДТ и ХОП	Газовая хроматография с ЭЗД	0,1 нг/мл	15+20

Сопоставление характеристик веществ с приведенными в табл. 6.1 концентрациями показывает, что в большинстве случаев пределы обнаружения аналитических методов не совсем обеспечивают прямое измерение многих загрязнителей на фоновом уровне. Поэтому анализ конкретного загрязняющего вещества должен состоять из отбора пробы необходимого объема (массы), извлечения и концентрирования определяемого вещества, очистки от мешающих анализу примесей, качественного и количественного определения.

Для концентрирования определяемых веществ наиболее часто используется жидкостная экстракция, которая во многих случаях одновременно является и методом отделения от мешающих анализу примесей.

Так, свинец, кадмий и ртуть можно сконцентрировать экстракцией хлороформом диэтилдитиокарбаматов этих металлов, получающихся добавлением к анализируемому раствору 2 % диэтилдитиокарбамата натрия. При этом извлекается 90–100 % металлов, коэффициенты концентрирования достигают 2000.

Этот метод широко применяется также при определении других тяжелых металлов: меди, серебра и др. в морской воде.

Свинец и кадмий можно сконцентрировать экстракцией их дитизонатов четыреххлористым углеродом, при этом также достигается отделение металлов от многих мешающих примесей.

Ртуть концентрируют также на серебряном амальгаматоре.

Это очень избирательный метод, но амальгаматоры не имеют стандартных характеристик, поэтому требуется калибровка прибора с данным амальгаматором.

Жидкостная экстракция используется и для концентрирования органических загрязнителей (3,4-бенз(а)пирен, ДДТ, СПАВ, нефтяные углеводороды и др.).

Из других методов концентрирования, очистки и разделения используют тонкослойную хроматографию (3,4-бенз(а)пирен) и колоночную хроматографию (ДДТ и другие пестициды).

## **6.2. Классификация загрязнителей и их источников**

Воздействие загрязняющих веществ на окружающую среду зависит от их физических и химических свойств, свойств продуктов деструкции и концентрации тех и других в выбросах и окружающей среде. Важнейшим параметром, определяющим масштаб распространения загрязнителя в атмосфере, является время его жизни в атмосфере. Исходя из этого, выбросы загрязняющих веществ (или сами загрязнители) делятся на три типа:

1. *Приводящие к загрязнению в глобальном масштабе.* Сюда относятся выбросы веществ с большим временем жизни в атмосфере (годы или месяцы), способных распространяться в окружающей среде в глобальном масштабе независимо от места их выброса. К таким загрязнителям принадлежат углекислый газ, фреоны, радионуклиды с периодом полураспада от одного месяца и больше (а при мощных ядерных взрывах или авариях и от нескольких дней).

2. *Приводящие к загрязнению в региональном масштабе* (регион часто охватывает территорию нескольких государств). Сюда относятся выбросы веществ с ограниченным (обычно от нескольких суток) временем жизни в атмосфере, способные приводить к загрязнению крупного региона, за пределами которого концентрация загрязнителя быстро падает, однако в следовых количествах может наблюдаться повсеместно. В числе таких загрязнителей – оксиды серы и азота, пестициды, тяжелые металлы.

3. *Приводящие к загрязнению в локальном масштабе* (на сравнительно небольшой территории). Сюда относятся выбросы веществ с малым временем жизни в атмосфере, приводящие к локальному загрязнению окружающей среды. К загрязнителям этого типа принадлежат грубодисперсные аэрозоли, сероводород и др., а также некоторые представители предыдущего типа, например, оксиды серы и азота, если они выбрасываются из низких источников.

В зависимости от периодичности различают выбросы постоянные (или непрерывные) и периодические (залповые), в том числе аварийные.

Газообразные загрязнители и аэрозоли выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы, аэрационные фонари и различные вентиляционные устройства. В зависимости от их высоты различают следующие виды источников выброса: высокие ( $H > 50$  м), средней высоты ( $H = 10+50$  м), низкие ( $H = 2+10$  м), наземные ( $H < 2$  м).

Выпуск сточных вод (загрязнителей) в водоемы может быть сосредоточенным (в одной точке) и рассеивающим (т. е. разбитым на большое число струй), а также поверхностным или подводным, прибрежным или вынесенным на определенное расстояние от берега. Подводный рассеивающий выпуск на значительном удалении от берега наиболее желателен, так как приводит к максимальному разбавлению.

### **6.3. Задачи для самостоятельного решения к семинарским занятиям**

#### **Задача 6.1**

Содержание 3,4-бенз(а)пирена в воздухе фоновых районов составляет  $0,01+0,8$  нг/м<sup>3</sup>. Обсудите условия применения для его анализа газовой хроматографии (предел обнаружения – 0,1 мкг/мл).

#### **Задача 6.2**

Содержание ДДТ в поверхностных водах фоновых районов составляет  $0,001+0,1$  мкг/л. Обсудите условия применения для его анализа газовой хроматографии (предел обнаружения – 1 нг/мл).

#### **Задача 6.3**

В воздухе фоновых районов содержится  $0,2+10$  мкг/м<sup>3</sup> диоксида серы. Обсудите условия применения для его анализа пламенной фотометрии (предел обнаружения – 3 мкг/м<sup>3</sup>).

#### **Задача 6.4**

Атмосферные осадки фоновых районов содержат  $0,02+10$  мкг/л мышьяка. Обсудите условия применения для его анализа метода ААС (предел обнаружения – 5 нг/мл).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Чем определяется фоновое загрязнение окружающей среды?
2. Каковы задачи фонового мониторинга?
3. Где находятся биосферные заповедники?
4. Какие загрязнители определяются на станциях фонового мониторинга в разных средах?
5. В чем состоят особенности определения загрязнителей при проведении фонового мониторинга?

6. Какие методы анализа используют в фоновом мониторинге?
7. Назовите методы анализа тяжелых металлов при проведении фонового мониторинга.
8. Как определяют органические загрязнители при проведении фонового мониторинга?
9. Какие методы концентрирования используют при проведении фонового мониторинга?
10. Каково фоновое загрязнение различных сред в континентальных районах Земли?
11. Где фоновые загрязнения окружающей среды максимальны?
12. Где фоновые загрязнения окружающей среды минимальны?
13. Дайте характеристику фоновому загрязнению РФ.
14. От чего зависит внутригодовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей в фоновых районах?
15. Дайте характеристику фонового загрязнения территории г. Томска.

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Инженерная экология и экологический менеджмент* / М.В. Буторина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева [и др.] ; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадиной. – М. : Логос, 2003. – 528 с.
2. *Мананков, А.В. Экология : учеб. пособие* / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2003. – 142 с.
3. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы*. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.
4. *Самарский, А.А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии*. Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.

5. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.

6. Тарасов, В.В. Мониторинг атмосферного воздуха / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, – 2000. – 97 с.

7. Хомич, В.А. Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

8. Языков, Е.Г. Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Языков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

#### Дополнительная литература

9. Анализ объектов окружающей среды. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

10. Афанасьев, Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

11. Мананков, А.В. Научная рациональность в проблеме устойчивого развития / А.В. Мананков // Методология науки. Вып. III. Становление современной научной рациональности. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – С. 120–126.

12. Мананков, А.В. Краткий словарь по геоэкологии и экологической безопасности : учеб. пособие / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 77 с.

13. Перегуд, Е.А. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

14. Потапов, В.В. Киотский протокол как механизм дискриминации России / В.В. Потапов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2004. – № 3. – С. 73–85.

15. Руководство Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса.

Критерии и классификация условий труда. – М. : Минздрав России, 2005. – 152 с.

16. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 135 с.

17. *Экология и экономика природопользования* / под. ред. проф. Э.В. Гирусова. – М. : Единство, 2002. – 519 с.

18. *Ясаманов, Н.А.* Основы геоэкологии: учеб. пособие / Н.А. Ясаманов. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 352 с.

## 7. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КАК ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ФАКТОРА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА

Переход от отраслевого хозяйствования к реализации концепции устойчивого развития, основным принципом которого является приоритет экологического императива перед экономикой, предполагает внедрение принципиально новых подходов к решению природно-ресурсных и природоохранительных проблем.

Состояние окружающей природной среды является одним из наиболее существенных факторов, воздействующих на здоровье людей. По современным оценкам специалистов состояние здоровья определяется на 15–20 % генетической последовательностью, на 25–50 % образом жизни и на 20–40 % зависит от состояния окружающей природной среды. Еще 20 лет назад нарушения в генетической наследственности практически отсутствовали, а сегодня более 50 % новорожденных имеют четкие признаки этих заболеваний.

По данным ВОЗ в практической деятельности в настоящее время используется около 500 000 химических соединений, из которых 40 тыс. вредны для организма, а 12 тыс. ядовиты. Токсикация планеты убыстряется и неорганическими веществами, среди которых наиболее опасными являются тяжелые металлы (Pb, Cd, Hg и др., а также алюминий, обнаруживающий токсические свойства несколько лет), и органическими токсичными веществами. Среди последних наиболее значимыми на сегодняшний день являются полиароматические углеводороды (бенз(а)пирен, дибенз(а)пирен, холантрен, перилен и др.) и политоксические диоксины, воздействие которых называют химическим СПИДом.

Развитие представлений об окружающей природной среде, осознание ее физической конечности привели к необходимости разработки современных понятий «безотходная технология» и «чистое производство», в основе которых заложены такие коли-

чественные показатели атмосферного воздуха, как эффект суммации, предельно допустимое воздействие, санитарно-защитная зона, опасность загрязнения воздушной атмосферы и др.

## 7.1. Качество атмосферного воздуха

Атмосфера – это внешняя оболочка планеты. Трудно переоценить роль атмосферы в функционировании биосферы Земли. Особенности ее состава и физико-химических свойств обеспечивают важнейшие жизненные процессы всех растений и животных. Человек без пищи может существовать недели, а без воздуха – считанные минуты.

В атмосферном воздухе, особенно в нижних слоях, кроме газообразных составных частей всегда имеются во взвешенном состоянии пары воды (до 4 объемных процентов) и физические примеси.

В большинстве стран критерий качества воздуха – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ.

ПДК в атмосферном воздухе населенных мест могут быть максимально разовыми и среднесуточными. Для максимально разовых ПДК период осреднения составляет 20 минут. Именно эту концентрацию принимают при определении опасности загрязнения атмосферы

$$J = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \geq 1, \quad (7.1)$$

где  $C_i$  – физическая концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы (пространство до 2 м над поверхностью земли), мг/м<sup>3</sup>;  $\text{ПДК}_i$  – максимально разовая предельно допустимая концентрация этого загрязняющего вещества, мг/м<sup>3</sup>.

Если значение  $j > 1$ , то опасность загрязнения существует. Значения предельно допустимых концентраций для некоторых

загрязняющих веществ, характерных для строительной индустрии, представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**ПДК загрязняющих веществ в атмосфере населенных пунктов**

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		
	Максимально разовая	Средне-суточная	В рабочей зоне
Азота диоксид	0,085	0,085	2,0
Азотная кислота (по иону водорода)	0,006	0,006	2,0
Акролеин	0,03	0,03	0,2
Аммиак	0,2	0,2	20,0
Бензол	0,35	0,35	5,0
Бензин (малосернистый, нефтяной в пересчете на С)	5,0	1,5	100,0
Дихлорэтан	3,0	1,0	10,0
Озон	0,16	0,03	1,0
Пыль нетоксичная	0,5	0,15	2,0
Сажа	0,15	0,05	6,0
Сернистый ангидрид (газ)	0,5	0,05	1,0
Сероводород	0,008	0,008	10
Сероуглерод	0,03	0,005	1,0
Углерода оксид	3,0	1,0	20,0
Уксусная кислота	0,2	0,06	5,0
Фенол	0,01	0,01	0,3
Фтористые соединения	0,02	0,05	0,1
Хлор	0,1	0,03	0,1

По степени токсического (отравляющего) воздействия на организм человека загрязняющие атмосферный воздух вещества подразделяются на 4 класса:

I – чрезвычайно опасные ( $\text{ПДК}_{\text{p,з}}$  – в воздухе рабочей зоны меньше  $0,1 \text{ мг/м}^3$ ;

II – высокоопасные ( $\text{ПДК}_{\text{p,з}} = 0,1-1,0 \text{ мг/м}^3$ );

III – умеренно опасные ( $\text{ПДК}_{\text{p,з}} = 1,0-10 \text{ мг/м}^3$ );

IV – малоопасные ( $\text{ПДК}_{\text{p,з}} > 10 \text{ мг/м}^3$ ).

## 7.2. Эффект суммации

При совместном присутствии в атмосфере нескольких веществ, способных взаимно усиливать воздействие на организм человека, наблюдается эффект суммации, значительно увеличивающий опасность загрязнения. Таким эффектом обладают следующие сочетания вредных веществ:

1. Ацетон – фенол.
2. Сернистый газ – сероводород.
3. Ацетальдегид – винилацетат.
4. Озон – диоксид азота.
5. Метанол – этанол.
6. Серный и сернистый ангидрид – аммиак-оксиды азота.
7. Сернистый газ – фториды.
8. Бензол и ацетофенол и др.

При совместном содержании в воздухе нескольких веществ, обладающих эффектом суммации, опасность загрязнения атмосферы определяется из выражения

$$j = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1. \quad (7.2)$$

Если значение  $j \geq 1$ , то опасность загрязнения существует.

Для специально охраняемых территорий, имеющих особое значение, таких как больницы, детские учреждения, санатории, курорты, дома отдыха, спортивные сооружения, рекреационные и заповедные объекты требования к качеству атмосферного воздуха более жесткие. Величина опасности загрязнения атмосферы  $j$  не должна превышать значения 0,8:

$$j = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 0,8, \quad (7.3)$$

и при эффекте суммации в выражении (7.2) 1 заменяется на 0,8.

В настоящее время установлены ПДК для более 750 вредных веществ, загрязняющих воздух, но при экологическом мониторинге на практике учитывается не более 20 веществ.

### 7.3. Задача 1. Расчет степени загрязнения атмосферного воздуха по отношению к ПДК<sub>с.с.</sub>, ПДК<sub>м.р.</sub> и ПДК<sub>р.з.</sub>

Определить опасность загрязнения атмосферного воздуха в жилом массиве с учетом эффекта суммации, пользуясь значениями концентраций веществ-загрязнителей в приземном слое (табл. 7.2).

Таблица 7.2

#### Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы мг/м<sup>3</sup>

№ варианта	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>3</sub>	Пыль
1	0,1	0,7	0,010	0,01	0,10
2	0,2	0,6	0,015	0,02	0,15
3	0,3	0,5	0,020	0,03	0,20
4	0,4	0,4	0,025	0,04	0,25
5	0,5	0,3	0,030	0,05	0,30
6	0,6	0,2	0,035	0,06	0,35

№ варианта	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>3</sub>	Пыль
7	0,7	0,1	0,040	0,07	0,40
8	0,6	0,2	0,045	0,08	0,45
9	0,5	0,3	0,040	0,09	0,50
10	0,4	0,4	0,035	0,10	0,55
11	0,3	0,5	0,030	0,09	0,60
12	0,2	0,6	0,025	0,08	0,65
13	0,1	0,7	0,020	0,07	0,70
14	0,05	0,8	0,015	0,06	0,65
15	0,1	0,9	0,010	0,05	0,60
16	0,2	1,0	0,005	0,04	0,55
17	0,3	0,9	0,010	0,03	0,50
18	0,4	0,8	0,015	0,02	0,45
19	0,5	0,7	0,020	0,01	0,40
20	0,6	0,6	0,025	0,02	0,35
21	0,7	0,5	0,030	0,03	0,30
22	0,8	0,4	0,035	0,04	0,25
23	0,1	0,3	0,040	0,05	0,20
24	0,2	0,4	0,045	0,06	0,15
25	0,3	0,5	0,050	0,07	0,10

#### **7.4. Гигиенические критерии и классификация условий труда при воздействии факторов рабочей среды и трудового процесса**

Основные понятия, используемые в руководстве.

*Условия труда* – совокупность факторов трудового процесса и рабочей среды, в которой осуществляется деятельность человека.

*Опасный фактор рабочей среды* – фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

*Вредный фактор рабочей среды* – фактор среды и трудового процесса, воздействие которого на работника может вызывать профессиональное заболевание или другое нарушение состояния здоровья, повреждение здоровья потомства. Классификация опасных и вредных производственных факторов содержится в ГОСТ 12.0.003.74\*.

## **7.5. Классификация опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003.74\***

1.1. Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

1. Физические опасные и вредные производственные факторы подразделяются:

- на движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
- разрушающиеся конструкции;
- обрушивающиеся горные породы;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- повышенный уровень вибрации;
- повышенный уровень инфразвуковых колебаний;
- повышенный уровень ультразвука;
- повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная или пониженная ионизация воздуха;
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная напряженность электрического поля;
- повышенная напряженность магнитного поля;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- пониженная контрастность;
- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока;
- повышенный уровень ультрафиолетовой радиации;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);
- невесомость.

2. Химические опасные и вредные производственные факторы подразделяются:

*по характеру воздействия на организм человека:*

- на токсические;
- раздражающие;

- сенсibiliзирующие;
- канцерогенные;
- мутагенные;
- влияющие на репродуктивную функцию;
- по пути проникания в организм человека через:*
- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожные покровы и слизистые оболочки.

3. Биологические опасные и вредные производственные факторы включают биологические объекты: патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие) и продукты их жизнедеятельности.

4. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются:

- а) на физические перегрузки;
- б) нервно-психические перегрузки.

Физические перегрузки подразделяются:

- на статические;
- динамические.

Нервно-психические перегрузки подразделяются:

- на умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

Один и тот же опасный и вредный производственный фактор по природе своего действия может одновременно относиться к различным группам, перечисленным в пп. 1.1.

### **Факторы трудового процесса**

*Тяжесть труда* – характеристика трудового процесса, отражающая преимущественную нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечно-сосудистую, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность. Тяжесть труда характеризуется физической дина-

мической нагрузкой, массой поднимаемого и перемещаемого груза, общим числом стереотипных рабочих движений, величиной статической нагрузки, характером рабочей позы, глубиной и частотой наклона корпуса, перемещениями в пространстве.

*Напряженность труда* – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника. К факторам, характеризующим напряженность труда, относятся:

- интеллектуальные;
- сенсорные;
- эмоциональные нагрузки;
- степень монотонности нагрузок;
- режим работы.

**Гигиенические нормативы условий труда – ПДК и ПДУ** – это уровни производственных факторов, которые при ежедневной работе (кроме выходных дней) в течение 8 ч, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должны вызывать профессиональных заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Соблюдение гигиенических нормативов не исключает нарушение состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью.

## **7.6. Классификация условий труда (Р 2.2.2006-05)**

Исходя из гигиенических критериев и принципов классификации условий труда последние подразделяются на четыре класса:

1 класс – **оптимальные** условия труда;

2 класс – **допустимые** условия труда;

Оптимальные и допустимые условия труда соответствуют **безопасным** условиям труда.

3 класс – **вредные** условия труда. По степени превышения установленных нормативов и выраженности изменений в организме работающих третий класс подразделяется на 4 степени вредности.

1 степень 3-го класса (3.1) – условия труда, характеризующиеся такими отклонениями от гигиенических нормативов, которые, как правило, вызывают обратимые функциональные изменения и обуславливают риск развития заболевания.

2 степень 3-го класса (3.2) – условия труда с такими уровнями производственных факторов, которые могут вызывать стойкие функциональные нарушения, приводящие в большинстве случаев к росту заболеваемости с временной утратой трудоспособности, повышению частоты общей заболеваемости, появлению начальных признаков профессиональной патологии.

3 степень 3-го класса (3.3) – условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, которые приводят к развитию, как правило, профессиональной патологии в легких формах в период трудовой деятельности, росту хронической общесоматической патологии, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

4 степень 3-го класса (3.4) – условия труда, при которых могут возникать выраженные формы профессиональных заболеваний, отмечается значительный рост хронической патологии и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

4 класс – **опасные (экстремальные)** условия труда – характеризуется такими уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск возникновения тяжелых форм острых профессиональных поражений.

Классы условий труда определяются по отношению к значениям ПДК, ПДУ и другим нормативным показателям (например, классы условий труда в зависимости от содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в табл. 7.3).

Таблица 7.3

### Классы условий труда в зависимости от содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны (превышение ПДК, раз)

Вредные вещества*	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный-3				Опасный
		1	2	3	4	
	2	степени 3.1	степени 3.2	степени 3.3	степени 3.4	4
Вредные вещества, за исключением перечисленных ниже	< ПДК	1,1–3	3,1–6	6,1–10	10,1–20	> 20
Вещества с остронаправленным механизмом действия	< ПДК	1,1–2	2,1–4	4,1–6	6,1–10	> 10**
Аллергены	< ПДК		1,1–3	3,1–10	> 10	–
Канцерогены	< ПДК	1,1–3	3,1–6	6,1–10	> 10	–
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	< ПДК	1,1–2	2,1–5	5,1–10	> 10	–
Противоопухолевые средства, гормоны (астрогены)*** Наркотические анальгетики****	–	–	–	–	–	–
Металлы, оксиды металлов	< ПДК	1,1–1,3	3,1–10	10,1–20	> 20	–

\* В соответствии с перечнем «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны» и дополнениями к нему, ГОСТом 12.1.005–88\* «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», «Перечнем веществ, продуктов, производственных процессов и бытовых факторов, канцерогенных для человека».

\*\* Превышение указанного уровня для веществ с остронаправленным механизмом действия может привести к острому смертельному отравлению.

\*\*\* Вещества, при работе с которыми должен быть исключен контакт с органами дыхания и кожей при обязательном контроле воздуха рабочей зоны утвержденными методами (в соответствии с перечнем «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны» и дополнениями к нему).

\*\*\*\* Работа с указанными веществами при их производстве, а также в онкологических диспансерах и подразделениях дает право отнесения условий труда к данному классу.

## 7.7. Общая гигиеническая оценка условий труда

Оценка условий труда с учетом комбинированного и совместного действия производственных факторов (табл. 7.4) проводится следующим образом.

Таблица 7.4

### Итоговая оценка условий труда по степени вредности и опасности

Фактор	Классы условий труда						
	1 класс оптимальный	2 класс допустимый	3 класс – вредный				4 класс опасный
			1 степени 3.1	2 степени 3.2	3 степени 3.3	4 степени 3.4	
Химический							
Биологический							
Физический	Аэрозоли – ф*						
	Шум						
	Вибрация лок.						
	Вибрация общ.						
	Инфразвук						
	Ультразвук						
	ЭМИ**						
	Иониз. излуч.						
	Микроклимат						
	Освещенность						
Тяжесть труда							
Напряженность труда							
<b>Общая оценка условий труда</b>							

Примечание. \* преимущественно фиброгенного действия.

\*\* электромагнитные излучения.

На основании результатов измерений оценивают условия труда для отдельных факторов. Результаты вносят в таблицу. Общая оценка условий труда по степени вредности и опасности устанавливается:

- по наиболее высокому классу и степени вредности;
- в случае если 3 и более факторов относится к классу 3.1, то общая оценка условий труда соответствует классу 3.2;
- при наличии двух и более факторов классов 3.2, 3.3, 3.4 условия труда оцениваются соответственно на одну степень выше.

При сокращении времени контакта с вредными факторами (защита временем) условия труда могут быть оценены как менее вредные, но не ниже класса 3.1.

Условия труда на рабочем месте отвечают гигиеническим требованиям, если соответствуют 1 или 2 классу, т. е. когда фактические значения уровней производственных факторов находятся в пределах оптимальных или допустимых величин. Если уровень хотя бы одного фактора превышает допустимую величину, то условия труда на таком рабочем месте могут быть отнесены к 1–4 степеням 3 класса или к 4 (опасному) классу условий труда.

При превышении нормативных уровней разрабатываются комплексы мер по оздоровлению условий труда, включающие организационно-технические мероприятия для устранения или уменьшения уровня вредных и опасных факторов до безопасных пределов.

При невозможности реализации этих вариантов используют альтернативный подход. Он заключается в уменьшении времени воздействия производственных факторов (защита временем). Использование средств индивидуальной защиты в числе приоритетов мер по улучшению условий труда занимает последнее место.

## Контрольные вопросы и задания

1. Что такое эффект суммации?
2. Как рассчитать эффект суммации?
3. Что такое допустимые условия труда?
4. Как связаны вредные условия труда с профзаболеваниями работников?
5. Какие условия труда являются опасными?
6. Как рассчитывается общая гигиеническая оценка условий труда?

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Инженерная экология и экологический менеджмент* / М.В. Буторина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева [и др.] ; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадиной. – М. : Логос, 2003. – 528 с.
2. *Мананков, А.В. Экология : учеб. пособие* / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2003. – 142 с.
3. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы*. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.
4. *Самарский, А.А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии*. Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.
5. *Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика* / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.
6. *Тарасов, В.В. Мониторинг атмосферного воздуха* / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. – 97 с.
7. *Хомич, В.А. Экология городской среды : учеб. пособие* / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

8. Язиков, Е.Г. Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

9. *Анализ объектов окружающей среды*. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

10. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

11. *Мананков, А.В.* Научная рациональность в проблеме устойчивого развития / А.В. Мананков // *Методология науки*. Вып. III. Становление современной научной рациональности. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – С. 120–126.

12. *Мананков, А.В.* Краткий словарь по геоэкологии и экологической безопасности : учеб. пособие / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 77 с.

13. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

14. *Потапов, В.В.* Киотский протокол как механизм дискриминации России / В.В. Потапов // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. – 2004. – № 3. – С. 73–85.

15. *Руководство Р 2.2.2006-05.* Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М. : Минздрав России, 2005. – 152 с.

16. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат. 1986. – 135с.

17. *Экология и экономика природопользования* / под. ред. проф. Э.В. Гирусова. – М. : Единство, 2002. – 519 с.

18. *Ясаманов, Н.А.* Основы геоэкологии : учеб. пособие / Н.А. Ясаманов. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 352 с.

## 8. РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЗАГРЯЗНЕНИИ АТМОСФЕРЫ

Распространение в атмосфере промышленных выбросов из труб и вентиляционных устройств подчиняется законам турбулентной диффузии.

Начиная с 70-х годов XX в. мировое сообщество развитых стран осознало, в целом, серьезность экологических проблем и вступило в эпоху создания и внедрения противозагрязнительной техники, выделяя на эти цели огромные финансовые ресурсы, сопоставимые с затратами на космос и машиностроение. В нашей стране эти проблемы начали серьезно рассматриваться с переходом к рыночной экономике.

По результатам моделирования в город с населением 1 млн человек ежедневно поступает 732 тыс. т вещества (вода, пища, топливо). На выходе за каждые сутки образуется около 503 тыс. т вторичного вещества. Из них 500 тыс. т приходится на сточные воды, 2 тыс. т – твердые отходы и 1 тыс. т – газообразные и пылевые загрязняющие вещества. Масса двух последних условно распределена среди *основных загрязняющих веществ* городской атмосферы следующим образом: твердые частицы – 150 т, диоксид серы – 150 т, оксиды азота – 100 т, углеводороды – 100 т и оксиды углерода – 450 т.

Плотность накопления пыли на 1 км<sup>2</sup> площади такого города (в модели площадь равна 300 км<sup>2</sup>) составляет 500 т/год. Из них максимум поступления в приземную атмосферу пыли и загрязняющих веществ в целом приходится на зимние месяцы, когда на полную мощность работают ТЭЦ, ГРЭС и котельные.

Оценка качества воздуха городов производится по сравнению наблюдаемых среднесуточных концентраций с ПДК<sub>сс</sub>. В последнее время используют также обобщенные показатели качества – индексы загрязнения атмосферы (ИЗА).

Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное – распределением

температур в вертикальном направлении. Вместе с тем на распределение (миграцию и концентрацию) всей массы поллютантов оказывают влияние очень многие факторы:

– размещение промышленных предприятий в структуре города;

– геоморфологические особенности местности;

– особенности выброса загрязняющих веществ: высота труб, диаметр устья;

– особенности технологии производства, мощность предприятия, способы очистки и утилизации и пр.;

– физические и химические свойства выбрасываемых веществ, температура пыли-газо-аэрозольных выбросов;

– состояние атмосферы, роза ветров;

– режим атмосферных осадков;

– размер пылевых фракций выбросов и их взаимодействие с поверхностью.

Пыль выбросов классифицируется по абсолютным размерам частиц:

– крупные частицы (средний размер диаметра 20 мкм) концентрируются в нижнем слое тропосферы (до 3000 м). Они осаждаются под действием силы тяжести, но могут переноситься ветром и на большие расстояния;

– средняя (полутонкая) пыль с диаметрами частиц 5,0–0,1 мкм. Она в пределах санитарно-защитной зоны осаждается с трудом или не осаждается вовсе. Частицы пыли размером меньше 1 мкм служат ядрами конденсации молекул водяного пара. Для частиц диаметром менее 0,1 мкм из-за броуновского движения осаждение в обычных условиях невозможно (эти частицы называют аэрозолем);

– тонкая (микроскопическая) пыль (диаметр менее 0,001 мкм). Она не осаждается при нормальных погодных условиях, носит название «частицы Айткена».

Большинство частиц выбросов, удерживающихся в воздухе в течение длительного времени, имеют диаметр 5,0–1,5 мкм.

Тонкая и частично средняя пыль не осаждается в местах выброса при сухой атмосфере и может попасть в воздушные потоки трансграничных региональных и даже глобальных загрязняющих веществ. Однако при влажной атмосфере эти частицы вымываются с осадками и могут оказаться на земной поверхности вблизи мест выброса. Газообразные поллютанты также, в значительной мере, вымываются из атмосферы и оседают на землю с дождем или снегом. При изучении снежного покрова как депонирующей среды необходимо иметь в виду, что снег не является абсолютно химически инертной средой, он участвует в реакциях обмена с прилегающим воздухом.

Итак, масса загрязненного воздуха высотой до 1000–3000 м накрывает территорию промышленного города. Внутри него эпизодически или непрерывно увеличивается количество загрязняющих веществ, которые оседают на депонирующие среды в пределах территории (почву, снег, донные отложения) либо выносятся за городскую черту по розе ветров. В итоге над городом и вокруг него формируется пятно хронического загрязнения поверхности, которое накладывается на техногенный атмосферный купол тепла (до +5–6 градусов).

Основные негативные последствия загрязнения атмосферного воздуха в урбанизированных районах:

- снижение солнечной ультрафиолетовой радиации до 30 %, уменьшение продолжительности солнечного сияния до 15 %;
- увеличение по сравнению с фоном газообразных примесей в 5–25 раз ядер конденсации молекул водяного пара – в 10 раз и больше, общей массы пыли – в 10 раз и больше;
- увеличение по сравнению с фоном аэрозольных примесей в 100–1000 раз;
- повышение времени облачности и туманов летом на 30 %, туманов зимой – на 200 %;
- температура суточного минимума на 1,0–9,0 °С выше;
- скорость ветра: среднегодовая на 20–30 % меньше, сильные порывы – на 10–20 % меньше, штили – на 5–10 % больше;

– содержание токсичных тяжелых металлов и канцерогенных веществ в аэрозолях техногенных ландшафтов урбанизированных районов увеличено в среднем в 4–5 раз по сравнению с фоном;

– повышенный риск заболеваний населения болезнями, характер которых зависит от типа поллютанта (аллергия, заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой системы и пр.);

– повышенный износ материалов конструкций, строений, памятников архитектуры за счет воздействия различных видов химической, физико-химической и микробиологической коррозии;

– уменьшение площадей, покрытых растительностью, болезни деревьев;

– локальное изменение климата, биохимических кругооборотов основных компонентов атмосферы (воды, азота, серы, углерода), увеличение количества дождей, преобладание кислотных осадков;

– отдаленные последствия, связанные с генетическими изменениями.

Климатические факторы играют весьма специфичную роль в миграции и концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. В настоящее время среди большого разнообразия климатических факторов количественному учету при экологических расчетах стали доступны лишь некоторые из них. К ним относятся – температура воздуха и выбросов, скорость и направление ветра, стратификация приземной атмосферы, количество осадков, влажность и некоторые другие.

### **8.1. Влияние ветра и температуры**

В общем случае ветер в момент выброса загрязняющих веществ может играть как положительную, так и отрицательную роль в загрязнении атмосферы. Достаточная скорость ветра способствует быстрому «проветриванию» атмосферы. Отсутствие

ветра может вызвать застойные явления в атмосфере вплоть до развития опасных для здоровья людей химических и физико-химических смогов.

Максимальная концентрация примесей в воздухе прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты трубы над поверхностью земли. Подъем горячих струй почти полностью обусловлен подъемной силой облегченных газов, имеющих более высокую температуру и меньшую плотность, чем окружающий воздух. Повышение температуры и момента количества движения выбрасываемых газов приводит к увеличению подъемной силы и снижению их приземной концентрации.

При выбросах через высокие трубы или при факельном выбросе в условиях безветрия рассеивание вредных веществ происходит главным образом под воздействием вертикальных потоков. Высокие скорости ветра увеличивают разбавляющую роль атмосферы, способствуя более низким приземным концентрациям в направлении ветра. Движение загрязняющих веществ с воздушными массами, перемещаемыми ветром, приводит к тому, что турбулентные вихри изгибают, разрывают поток и перемешивают его с окружающими воздушными массами. Разбавление вдоль оси струи пропорционально средней скорости ветра  $V_m$  на высоте струи. Вместе с тем с увеличением  $V_m$  уменьшается высота факела над устьем трубы. Поэтому для организованных источников выбросов введено понятие «*опасная скорость ветра* –  $U_m$ », при которой в приземном слое атмосферы возникают максимальные концентрации загрязняющих веществ от выбросов. Для того, чтобы предотвратить отклонение от вертикали струи вблизи горловины трубы, скорость выбрасываемого газа  $W_g$  должна вдвое превышать опасную скорость ветра на уровне горловины трубы.

Опасная скорость ветра определяется только параметрами источника выброса (труба, аэрационный фонарь, свечи и т. д.) и газозвоздушной смеси.

Вначале рассмотрим параметр  $V_m$ , который вычисляется по формуле

$$U_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (8.1)$$

где  $V_1$  – объемная скорость выхода (расход или мощность) выбрасываемой из устья источника газовой смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta T$  – разность между температурами выбрасываемой газовой смеси и атмосферного воздуха в самый теплый месяц года для данного города;  $H$  – высота источника выброса,  $\text{м}$ .

Значения опасной скорости ветра  $U_m$  ( $\text{м}/\text{с}$ ) для нагретых выбросов определяются из следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} U_m &= 0,5 \text{ м/с, если } V_m \leq 0,5, \\ U_m &= v_m, \text{ если } 0,5 < V_m \leq 2,0, \\ U_m &= V_m (1 + 0,12\sqrt{f}), \text{ если } V_m > 2,0, \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

где  $f = 1000 \frac{W_g^2 D}{H^2 \Delta T}$ ;  $W_g$  – скорость выхода газовой смеси,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $D$  – диаметр устья источника выброса,  $\text{м}$ .

В случае если предприятие имеет несколько нагретых стационарных источников выбросов, то рассчитывается средневзвешенная опасная скорость ветра по формуле

$$U_{\text{мс}} = \frac{U_{m1} C_{m1} + U_{m2} C_{m2} + \dots + U_{mn} C_{mn}}{C_{m1} + C_{m2} + \dots + C_{mn}}, \quad (8.3)$$

где  $U_{m1}$ ,  $U_{m2}$ ,  $U_{mn}$  – опасные скорости ветра ( $\text{м}/\text{с}$ ) первого, второго и иного энного нагретого стационарного источника;  $C_{m1}$ ,  $C_{m2}$ ,  $C_{mn}$  – фактические концентрации веществ в выбросах первого, второго и иного энного нагретого стационарного источника.

Для холодных выбросов (когда  $\Delta T = 0$ ) расчету опасной скорости ветра предшествует определение параметра  $V_m$  из выражения

$$V_m = 1,3 \frac{W_g D}{H}. \quad (8.4)$$

Затем определяем величину  $U_m$

$$U_m = 2,2 \cdot V_m,$$

где для холодных выбросов  $V_m > 2$ .

## 8.2. Определение концентрации вредных веществ при скоростях ветра, отличных от опасных

В этих случаях концентрация примеси  $C_{mi}$  определяется из равенства

$$C_{mi} = C_m \cdot r, \quad (8.5)$$

где коэффициент  $r \leq 1$ ;  $C_m$  – концентрация примеси в приземном слое атмосферного воздуха,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

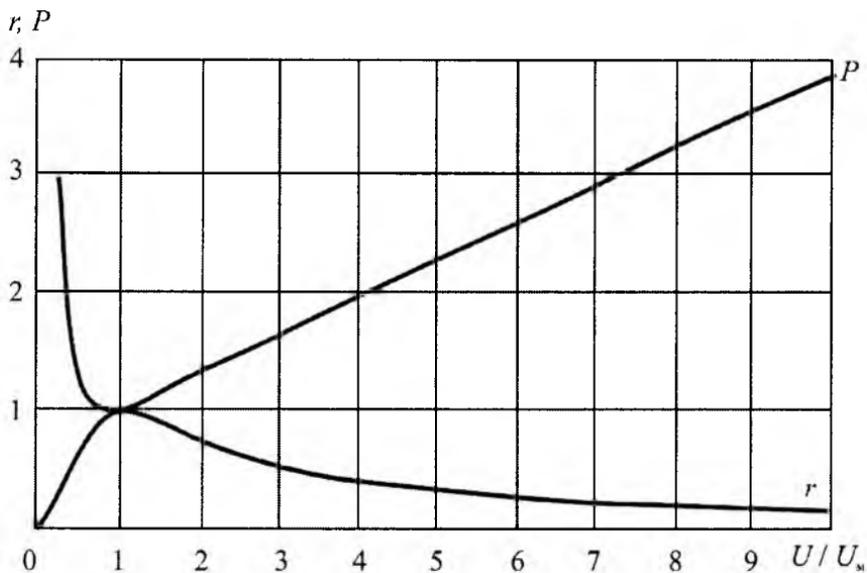
Расстояние от источника до точки на оси факела, где достигается концентрация  $C_{mi}$  (м) при скорости ветра, отличной от опасной –  $X_{mi}$ , вычисляется по уравнению

$$X_{mi} = X_m \cdot P, \quad (8.6)$$

где коэффициент  $P \geq 1$ ;  $X_m$  – расстояние от источника до точки на оси факела выброса, где достигается концентрация загрязнителей  $C_m$ .

Значения коэффициентов  $r$  и  $P$  определяются по соотношению  $U / U_m$ , где  $U$  – скорость ветра в приземном слое атмосферного воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $U_m$  – опасная скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ .

Приближенные значения коэффициентов  $r$  и  $P$  оцениваются по графикам, приведенным на рисунке.



### Задача 1 (расчет опасной скорости ветра)

Определить для своего варианта опасную скорость ветра для источника, расположенного в г. Томске диаметром и другими параметрами, соответствующими данным таблицы.

#### Исходные данные для задачи 1

№ варианта	Параметры						
	Диаметр $D$ , м	Высота $H$ , м	$W_g$ выхода газа, м/с	$T_g$ , °C	$U/U_m$	$C_m$ , мг/м <sup>3</sup>	$X_m$ , м
1	0,5	25	0,5	60	0,25	0,1	300
2	0,6	26	0,6	61	0,50	0,2	290
3	0,7	27	0,7	62	0,75	0,3	280
4	0,8	28	0,8	63	1,0	0,4	270

№ варианта	Параметры						
	Диаметр $D$ , м	Высота $H$ , м	$W_g$ выхода газа, м/с	$T_r$ , °C	$U/U_m$	$C_m$ , мг/м <sup>3</sup>	$X_m$ , м
5	0,9	29	0,9	64	1,5	0,5	260
6	1,0	30	1,0	65	2,0	0,6	250
7	1,1	31	1,1	66	2,5	0,7	240
8	1,2	32	1,2	67	3,0	0,8	230
9	1,3	33	1,3	68	3,5	0,9	220
10	1,4	34	1,4	69	4,0	1,0	210
11	1,5	35	1,5	70	4,5	1,1	200
12	1,4	36	1,6	71	5,0	1,2	190
13	1,3	37	1,7	72	5,5	1,0	180
14	1,2	38	1,8	73	6,0	0,9	170
15	1,1	39	1,9	74	6,5	0,8	160
16	1,0	40	2,0	75	7,0	0,7	150
17	0,9	41	2,1	76	7,5	0,6	140
18	0,8	42	2,2	77	8,0	0,5	130
19	0,7	43	2,3	78	8,5	0,4	120
20	0,6	44	2,4	79	9,0	0,3	110
21	0,5	45	2,5	80	9,5	0,2	100
22	0,6	46	2,6	81	9,0	0,1	90
23	0,7	47	2,7	82	8,0	0,2	80
24	0,8	48	2,8	83	7,0	0,3	70
25	0,9	49	2,9	84	6,0	0,4	60

Решение. 1. Определяем расход газозвушной смеси

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{H} W_g$$

2. По формуле (8.1) рассчитываем  $V_m$ .
3. По формуле (8.2) определяем  $U_m$ .

## Задача 2

По известным параметрам (значения  $U/U_m$ ,  $C_m$  и  $X_m$  по вариантам таблицы) рассчитать  $C_{mi}$  и  $X_{mi}$ .

### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные механизмы, способствующие рассеянию вредных выбросов в атмосфере.
2. Каковы количественные соотношения вторичных веществ, образующихся на выходе за каждые сутки, города с 1 млн населения?
3. Перечислите основные загрязняющие вещества городской атмосферы.
4. Как производится оценка качества воздуха городов?
5. Каково соотношение основных загрязняющих веществ городской атмосферы?
6. Назовите основные причины горизонтального (латерального) и вертикального (радиального) перемещения примесей в городской атмосфере.
7. Дайте классификацию пыли выбросов и назовите особенности поведения выделяемых классов в приземной атмосфере.
8. Перечислите основные негативные последствия загрязнения атмосферного воздуха в урбанизированных районах.
9. Дайте определение термина «опасная скорость ветра».

### Список рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. *Инженерная экология* и экологический менеджмент / М.В. Буторина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева [и др.] ; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадына. – М. : Логос, 2003. – 528 с.

2. *Мананков, А.В.* Экология : учеб. пособие / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2003. – 142 с.

3. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)*: Гигиенические нормативы. – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.

4. *Самарский, А.А.* Численные методы решения задач конвекции-диффузии. Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.

5. *Сапожников, Ю.А.* Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.

6. *Тарасов, В.В.* Мониторинг атмосферного воздуха / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. – 97 с.

7. *Хомич, В.А.* Экология городской среды : учеб. пособие / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

8. *Языков, Е.Г.* Геоэкологический мониторинг / Е.Г. Языков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

#### Дополнительная литература

9. *Анализ объектов окружающей среды.* Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

10. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

11. *Безопасные уровни содержания вредных веществ в окружающей среде.* – М. : ВНИИТБХП, 1990. – 301 с.

12. *Гаев, А.Я.* Экологические основы строительного производства / А.Я. Гаев, В.Е. Нарижная [и др.]. – Свердловск, 1990. – 180 с.

13. *Мананков, А.В.* Научная рациональность в проблеме устойчивого развития / А.В. Мананков // Методология науки.

Вып. III. Становление современной научной рациональности. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – С. 120–126.

14. *Мананков, А.В.* Краткий словарь по геоэкологии и экологической безопасности : учеб. пособие / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 77 с.

15. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.

16. *Потапов, В.В.* Киотский протокол как механизм дискриминации России / В.В. Потапов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2004. – № 3. – С. 73–85.

17. *Руководство Р 2.2.2006-05.* Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М. : Минздрав России, 2005. – 152 с.

18. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 135 с.

19. *Экология и экономика природопользования* / под. ред. проф. Э.В. Гирусова. – М. : Единство, 2002. – 519 с.

20. *Ясаманов, Н.А.* Основы геоэкологии : учеб. пособие / Н.А. Ясаманов. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 352 с.

## 9. САНИТАРНО-ЗАЩИТНАЯ ЗОНА ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ

Атмосфера, формирующаяся под действием сил гравитации, образует наиболее подвижную внешнюю среду биосферы, в которой загрязняющие вещества (ЗВ) максимально быстро распространяются на большие расстояния. По происхождению все ЗВ делятся на два класса: природные, техногенные. Масштабы техногенного атмосферного воздуха увеличиваются в последнее время по экспоненциальному закону и достигли уровня природных. В результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу ежегодно выбрасываются 30 млн т взвешенных частиц, к ним добавляется еще 15 млн т выбросов промышленных предприятий. От нестационарных источников (автотранспорта) масса ЗВ еще больше.

По химическому составу ЗВ делятся на неорганические токсические и канцерогенные вещества, органические токсиканты, включающие полиароматические углеводороды и диоксины.

По физическому состоянию загрязняющие атмосферу вещества представляются: газами, аэрозолями (до 1 мкм диаметром) и пылью (больше 1 мкм диаметром).

Выделяется целый ряд масштабных уровней воздействия ЗВ на здоровье людей и все другие компоненты биосферы: локальный, на котором установлено увеличение генетических заболеваний в три раза у людей, постоянно подвергающихся действию индустриальных ЗВ, региональный и глобальный. Эти уровни во многом определяются временем пребывания в атмосфере и концентрацией ЗВ. Так, в разрезе арктического льда, относящегося по времени к существованию Римской империи, обнаружены высокие концентрации свинца. Империя производила свинец и использовала его для водопроводных труб.

Газовые загрязнители могут пребывать в атмосфере от суток (оксиды азота), недель (диоксид серы) до 100–170 лет (табл. 9.1).

Таблица 9.1

## Концентрация газов в атмосфере

Газ	Основные антропогенные источники	Выбросы (антропогенные/суммарные) в год, млн т	Среднее время пребывания в атмосфере	Средняя концентрация 100 лет назад, млрд <sup>-1</sup>	Примерная концентрация сегодня, млрд <sup>-1</sup>	Прогнозируемая концентрация в 2030 г., млрд <sup>-1</sup>
Моноксид углерода (CO)	Сжигание ископаемого топлива, сжигание биомассы	700/2000	Месяцы	Сев. полушарие, 40 + 80, Южн. полушарие (чистая атмосфера)	100 + 200 Сев. полушарие 40 + 80, Южн. полушарие (чистая атмосфера)	Вероятно возрастет
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	Сжигание ископаемого топлива, сведение лесов	5500/5500	100 лет	290000	350000	400000 + + 550000
Метан (CH <sub>4</sub> )	Рисовые поля, скот, свалки, производство ископаемого топлива	300 + 400/550	10 лет	900	1700	2200 + + 2500

Окончание табл. 9.1

Газ	Основные антропогенные источники	Выбросы (антропогенные/суммарные) в год, млн т	Среднее время пребывания в атмосфере	Средняя концентрация 100 лет назад, млрд <sup>-1</sup>	Примерная концентрация сегодня, млрд <sup>-1</sup>	Прогнозируемая концентрация в 2030 г., млрд <sup>-1</sup>
Газы NO <sub>x</sub>	Сжигание ископаемого топлива, сжигание биомассы	20 + 30/30 + 50	Сутки	0,001 + 7 (от чистой до индустриальной)	0,001 + 50 (от чистой до индустриальной)	0,001 + 50 (от чистой до индустриальной)
Оксид азота (N <sub>2</sub> O)	Азотные удобрения, сведение лесов	6/25	170 лет	285	310	330 + 350
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	Сжигание ископаемого топлива, промышленное производство	100 + 130/ 150 + 200	От суток до недели	0,03 + ? (от чистой до индустриальной)	0,03 + 50 (от чистой до индустриальной)	0,03 + 50 (от чистой до индустриальной)
Хлорфторуглероды	Аэрозоли, хладагенты, пены	1/1	От 60 до 100 лет	0	Около 3 (по атомам хлора)	2,4 + 6 (по атомам хлора)

Из таблицы видно, что при сохранении существующих тенденций в производстве концентрация многих газов существенно возрастает в ближайшие 30 лет, хотя уже теперь эффект самоочистки атмосферного воздуха превышен для основных ЗВ в десятки раз.

Помимо отрицательного воздействия на растительно-животный мир, включая человека, все основные и малые газовые примеси в атмосфере по своему экологическому воздействию делятся на несколько групп:

- 1) парниковые газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , хлорфторуглероды,  $\text{O}_3$ );
- 2) разрушающие озоновый слой (хлорфторуглероды,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ );
- 3) кислотные осадки ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ );
- 4) смоги ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ );
- 5) коррозия строительных и металлических конструкций ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ );
- 6) изменение температуры ( $\text{CO}_2$ , установлена прямая связь концентрации диоксида углерода с ледниковыми периодами четвертичного периода геологической истории биосферы).

Распределение антропогенной нагрузки по регионам России (табл. 9.2) позволяет убедиться, что загрязнение атмосферного воздуха в Сибири в 1,7 раза превышает среднее значение для страны.

Локальные особенности загрязнения атмосферного воздуха, как и региональные, коррелируют с распределением промышленности и населения. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия электроэнергетики (28,5 %) и металлургии (36,8 %); на нефтедобычу приходится 7,9 %, нефтепереработку – 5,1 %; а с производством строительных материалов и деревообработкой связано тоже весьма ощутимое загрязнение – 5,8 %.

Ситуация в Томской области по основным промышленным районам представлена в табл. 9.3.

Таблица 9.2

**Нагрузка атмосферных загрязнений  
на одного городского жителя России по регионам, кг/год**

ЗВ	Сибирь	Урал	Европейская часть	Россия
Оксид углерода	110	159	46	77
Диоксид серы	165	140	55	90
Оксиды азота	34	46	19	26
Углеводороды	123	60	36	60
Твердые вещества (пыль, аэрозоль)	123	140	39	71
Суммарное загрязнение	560	545	195	324

Таблица 9.3

**Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями  
Томской области**

ЗВ	Объемы выбросов в городах, т			
	Томск	Асино	Колпашево	Стрежевой
Твердые вещества	18222	2670	1648	18
Сернистый ангидрид	5217	791	534	40
Оксид углерода	5404	2746	2512	1040
Оксиды азота	5165	424	281	467
Углеводороды	661	70	70	248
Другие органические вещества	1338	177	38	3

В соответствии с объемами выбрасываемых ЗВ определяются границы зон экотоксикологической опасности населенных пунктов. В городе по сравнению с условиями сельской местности атмосферный воздух содержит газообразных примесей в 10–25 раз больше, аэрозолей в 10 раз больше и пыли – также

в 10 раз больше. Это является причиной развития хронической патологии населения, болезней растений (хлороз, некроз тканей листьев, увядание), локального изменения климата, повышенного износа зданий, конструкций, памятников архитектуры и т. п. При этом, несмотря на явное сокращение производства и закрытие предприятий, уровень загрязнения атмосферы остается высоким. Особенно это касается взвешенных частиц, диоксида азота, бенз(а)пирена, формальдегида, фенола, фторида водорода и тяжелых металлов. В более чем в 100 городах страны концентрации ЗВ в воздухе превышают предельно допустимые концентрации в десять раз. Назрела острая необходимость составления экологических карт городов и разработки норм предельно допустимых выбросов и по каждому предприятию, и по промышленным узлам.

Переход предприятий на принципы безотходной технологии с замкнутыми технологическими процессами, с исключением выбросов в атмосферу – дело не совсем близкого будущего. Поэтому сейчас повсеместно используются различные методы очистки выбросов от пыли, газо- и парообразных загрязняющих веществ. Методы очистки выбросов делятся на два класса:

- 1) пассивные методы очистки;
- 2) активные методы очистки.

Пассивные методы очистки основаны на рассеивании вредных веществ в атмосферу через трубы, свечи и аэрационные фонари.

Активные методы очистки от пыли, газов, паров и аэрозолей (рис. 9.2), широко внедряются как за рубежом, так и в нашей стране. Многие предприятия строительной индустрии России в последние годы значительно снизили количество ЗВ в выбросах. Ряд цементных заводов перешел от сухого способа производства к мокрому, от рукавных фильтров и батарейных циклонов – к электрофильтрам. В настоящее время на предприятиях строительной отрасли улавливается более 70 % общего объема загрязнителей.



Рис. 9.2. Классификация методов очистки от стационарных выбросов ЗВ

Рассеивание ЗВ в атмосфере, по сути, является вынужденным временным мероприятием. Оно вызвано или отсутствием методов очистки, например, специфических веществ, или тем, что существующие очистные сооружения, аппараты не обеспечивают полную очистку выбросов. Возможны аварийные ситуации как на самом производстве, так и на очистных сооружениях. При авариях экологические нормы также не должны нарушаться.

Известно, что концентрация вещества в выбросах стационарных источников определяется высотой трубы по формуле

$$C_m = 1 / H^2, \quad (9.1)$$

где  $C_m$  – максимальная концентрация вредных веществ в выбросах, мг/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота трубы, м.

Из формулы следует, что увеличение высоты трубы вызывает квадратичное возрастание рассеивания. Так, при  $H = 20$  м,  $C_m = 1/400$ , а при  $H = 200$  м  $C_m = 1/40000$ .

Следовательно, увеличение высоты трубы в 10 раз позволяет достигнуть такого эффекта рассеивания, что его можно условно считать равным 98–99 % очистки выбросов.

Однако следует учитывать экономические возможности (стоимость трубы возрастает примерно в кубической зависимости от ее высоты) и отрицательные экологические эффекты. Последние связаны с тем, что с увеличением высоты трубы возрастает тяга воздуха в топку (расход кислорода) и общее количество выбрасываемых ЗВ в атмосферу. Дымовая труба высотой 100 м позволяет рассеивать вредные вещества в радиусе до 20 км, а труба высотой 250 м увеличивает радиус рассеивания до 75 км. Самая высокая труба (более 400 м) действует в Канаде на медеплавильном комбинате в городе Седбери. В России по нормам Госгидромета рекомендуется сооружение дымовых труб высотой не более 150 м. При этом в развитых странах для чистых технологий высота трубы по новым требованиям не должна превышать 20 м.

Разработка основных направлений мероприятий по снижению загрязнения воздушного бассейна осуществляется на основе действующих нормативов ПДК446 загрязняющих веществ и санитарно-защитных зон промышленных предприятий.

### **9.1. Понятие санитарно-защитной зоны, промышленной зоны, ее размеры, классификация**

Согласно требованиям Р 2.2.2006-05 в целях снижения вредного воздействия выбрасываемых в атмосферу пыли и газов на окружающую среду и здоровье людей, промышленные предприятия, загрязняющие воздух, надо располагать вдали от жи-

лых массивов, с подветренной стороны и отделять санитарно-защитными зонами (СЗЗ) от жилой территории.

Ширина СЗЗ – это расстояние от края промышленной площадки до внешней границы, где концентрация загрязнителей снижена до значений ПДК, (рис. 9.2).

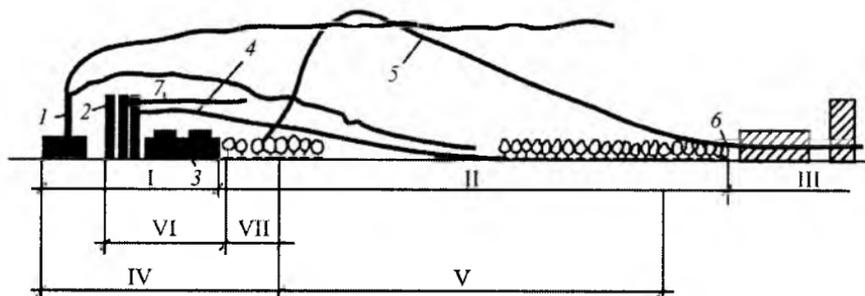


Рис. 9.2. Санитарно-защитная зона вокруг промышленного предприятия:

I – промышленная площадка; II – санитарно-защитная зона; III – жилой массив; IV – зона переброса факела загрязненного воздуха из высоких источников; V – зона наибольшего расстояния от выбросов через высокие трубы; VI – зона загрязнения от низких затененных источников; VII – наиболее благоприятный участок для застройки; 1 – высокие выбросы (трубы); 2 – открыто работающее технологическое оборудование; 3 – низкие затененные выбросы; 4 – максимальные концентрации вредных веществ от низких выбросов; 5 – максимальные концентрации вредных веществ от высоких выбросов; 6 – ПДК для населенных мест; 7 – ПДК для промплощадки, которую рекомендуется принимать как 0,3 ПДК и др.

Внешняя граница СЗЗ устанавливается в соответствии с классом вредности предприятия и (или) расстояния, где концентрация вредных веществ от высоких выбросов (кривая 5 рис. 9.2) снизится от уровня ПДК для населенных мест. Следовательно, санитарно-защитная зона – это территория вокруг промышленной площадки предприятия, где происходит разбавление вредных газов, аэрозолей и пыли до допустимого уровня (норм ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе насе-

ленных пунктов). Установление СЗЗ предприятий и производств в настоящее время является актуальным и обязательным мероприятием по охране воздушной атмосферы.

Если концентрация ЗВ за пределами СЗЗ выше ПДК, а по объективным причинам ее невозможно снизить до уровня ПДК, то устанавливают временно согласованные выбросы (ВСВ). При этом определяют сроки поэтапного снижения ЗВ в воздухе до уровня ПДВ. ПДВ – это количество вредных веществ, допускаемое при выбросе в атмосферу в единицу времени при условии, что концентрации на внешней границе СЗЗ не превышают ПДК. При необходимости и должном обосновании СЗЗ может быть увеличена, но не более чем в три раза.

В пределах СЗЗ высаживаются деревья и кустарники, создаются лесопарки. В них располагаются административно-служебные здания, склады, гаражи, пожарные депо, прачечные, бани, поликлиники, торговые помещения. Зеленые насаждения очищают и освежают воздух. Установлено, что на 1 м<sup>2</sup> поверхности листьев задерживается 1,5–3,0 г пыли, а 1 га зеленых насаждений поглощает из воздуха до 8 кг/ч диоксида углерода.

### **Классификация предприятий строительной промышленности**

В зависимости от вредности, объема выбрасываемых веществ и степени их возможной очистки долгие годы действовала классификация санитарно-защитных зон промышленных предприятий строительной отрасли на пять классов с различными размерами СЗЗ от 1000 до 50 м. Отнесение предприятия к определенному классу напрямую зависело от объемов выпускаемой продукции. Поэтому предприятия по производству цемента относились к трем классам.

Новая, значительно более простая классификация была принята в 2003 г., когда в ведущих странах уже перешли на экологически безопасное производство и за ненадобностью отказались от понятия «санитарно-защитная зона».

По Руководству Р 2.2.2006-05 в строительной промышленности предприятия делятся на четыре класса:

**Класс 1 – санитарно-защитная зона 1000 м**

1. Производство цемента (портланд-шлакопортланд-пуццолан-цемента и др.), а также местных цементов (глинитцемента, роман-цемента, гипсошлакового и др.).

2. Производство магнезита, доломита и шамота с обжигом в шахтных, вращающихся и др. печах.

3. Производство асбеста и изделий из него.

4. Лесохимические комплексы.

**Класс II – санитарно-защитная зона 500 м**

1. Производство асфальтобетона на стационарных заводах.

2. Производство гипса (алебастра).

3. Производство извести (известковые заводы с шахтными и вращающимися печами).

**Класс III – санитарно-защитная зона 300 м**

1. Производство стеклянной ваты и шлаковой шерсти.

2. Производство художественного литья и хрусталя.

3. Производство щебня, гравия и песка, обогащение кварцевого песка.

4. Производство толя и рубероида.

5. Производство ферритов.

6. Производство строительных полимерных материалов.

7. Производство кирпича (красного, силикатного), керамических и огнеупорных изделий.

8. Пересыпка сыпучих материалов красновым способом.

9. Домостроительный комбинат.

10. Производство железобетонных изделий (ЖБК, ЖБИ).

11. Производство искусственных заполнителей (керамзита и др.).

12. Производство искусственных камней.

13. Элеваторы цементов и других пылящих строительных материалов.

14. Производство строительных материалов из отходов ТЭЦ.
15. Производство бетона и бетонных изделий.
16. Производство фарфоровых и фаянсовых изделий.
17. Камнелитейные.
18. Карьеры гравия, песка, глины.
19. Предприятия по обработке естественных камней.
20. Предприятия по добыче камня не взрывным способом.
21. Производство гипсовых изделий.
22. Производство фибролита, камышита, солоμίта, дифферента и др.
23. Производство строительных деталей (с шумовым воздействием на население).
24. Битумные установки.

#### **Класс IV – санитарно-защитная зона 100 м**

1. Производство глиняных изделий.
2. Стеклодувное, зеркальное производство, шлифовка и травка стекол.
3. Механическая обработка мрамора.
4. Бетонно-растворный узел.

## **9.2. Распространение загрязняющих веществ атмосферным воздухом**

### **9.2.1. Показатели качества воздуха**

Основными показателями качества атмосферного воздуха являются:

– критические нагрузки – потоки массы в единицу времени в объект окружающей среды (табл. 9.4);

– критические уровни концентрации ЗВ – максимальные значения концентраций (выпадений) ЗВ в атмосферном воздухе, которые не приводят к вредным воздействиям структуры и функций экосистем в долговременном плане;

– предельно допустимая концентрация вредных примесей – санитарно-гигиенический норматив, при котором не обнаруживается никакого прямого или косвенного вредного воздействия на здоровье людей. Для ПДК принимаются кратковременные оценки максимально разовые, относимые к 20–30 минутному интервалу времени, и среднесуточные.

– индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) – средние или (максимальные) концентрации веществ, нормированные на величину ПДК или значение средней (максимальной) концентрации для города или большого региона.

Таблица 9.4

**Критерии загрязнения атмосферного воздуха основными ЗВ**

Показатели мкг/м <sup>3</sup>	Экологич. бедствия	Чрезвычайные экологические ситуации	Норма	Время воздействия
Критические уровни для наземной растительности				
SO <sub>2</sub>	> 200	100–200	< 20	Среднегодовой
NO <sub>2</sub>	> 300	200–300	< 30	Среднегодовой
HF	> 20	10–20	< 23	Долговремен. воздействие
O <sub>3</sub>	> 1500	1000–1500	< 150	Макс. за ч
O <sub>3</sub>	> 600	400–6000	< 60	Средн. в течение 3 ч
O <sub>3</sub>	> 500	300–500	< 50	Средн. с 9 до 16
Критические нагрузки для водных и лесных систем				
Соединения S, г/м <sup>2</sup> год	> 5,0	3,0–5,0	< 0,32	Север. и средние районы
Соединения N, г/м <sup>2</sup> год	> 4,0	2,0–4,0	< 0,28	То же
Ионы N, г/м <sup>2</sup> год	> 300	200–300	< 20,0	То же

Различают ИЗА двух основных групп:

1) единичные индексы загрязнения атмосферы одной примесью;

2) комплексные индексы загрязнения, вычисляемые для нескольких веществ.

К единичным индексам загрязнения относятся:

1. Коэффициент  $a$  – концентрация (максимальная или средняя) примеси в единицах ПДК:

$$a = C_i / \text{ПДК}_i, \quad (9.2)$$

2. Повторяемость максимальных разовых концентраций примеси в воздухе  $g$  заданного уровня по посту либо по группе постов в городе за 1 год:

$$g = (m / n) 100 \%, \quad (9.3)$$

где  $n$  – число наблюдений,  $m$  – число случаев превышения разовых концентраций.

3. ИЗА  $I$  отдельной примесью, учитывающий класс опасности вещества через нормирование на опасность  $\text{SO}_2$ :

$$I = (Q_r / \text{ПДК}_{\text{с.с}})^{K_i}, \quad (9.4)$$

где  $Q_r$  – среднегодовая концентрация примеси;  $K_i$  – константа для различных классов опасности по приведению к  $\text{SO}_2$ .

Для токсикантов различных классов опасности  $K_i$  принимается:

Класс опасности	I	II	III	IV
$K_i$	1,7	1,3	1,0	0,9

Значения ИЗА используют для характеристики вклада отдельных примесей в общий уровень загрязнения атмосферы в заданный период времени на определенной территории:

– комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА) – это количественная характеристика загрязнения атмосферы, создаваемого  $n$  веществами в атмосфере города:

$$I_n = \Sigma \cdot I_i, \quad (9.5)$$

где  $I_i$  – единичный индекс загрязнения  $i$ -м веществом.

### Нормирование выбросов

Нормирование вредных промышленных выбросов осуществляется с целью обеспечения контроля за чистотой воздушного бассейна. В соответствии с нормативными документами установлены предельно допустимые выбросы и временно согласованные выбросы.

Мощность выбросов  $M$  равняется ПДВ, если максимальная от источника  $C_m$  удовлетворяет условию:

$$\text{ПДК} \geq C_m + C_\phi, \quad (9.6)$$

где  $C_\phi$  – фоновая концентрация.

Еще одна особенность использования выражения (9.6) заключается в том, что величины  $C_m$  и  $C_\phi$  принимаются для неблагоприятных метеоусловий.

## 9.3. Метеорологические условия и распространение загрязняющих веществ

### 9.3.1. Общая циркуляция атмосферы

Перенос веществ на большие расстояния, например, из Северного полушария в Южное происходит с воздушными потоками – ветрами. Существуют ветры, господствующие на протяжении большей части года. Они обусловлены общей (глобальной) циркуляцией атмосферы, функционирующей под действием двух факторов:

- 1) разогрев воздуха солнечной радиацией;
- 2) кориолисово ускорение, возникающее за счет вращения Земли.

Метеорология к настоящему времени утверждает, и вполне обоснованно, что атмосфера Северного полушария загрязнена в среднем сильнее, чем Южного относительно короткоживущими примесями (время жизни менее 1 года). Вместе с тем отмеченные глобальные факторы почти не сказываются на перераспределении между полушариями веществ с большим временем пребывания в атмосфере, например,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и др. (см. табл. 9.1).

### **9.3.2. Распространение загрязняющих веществ с локальными воздушными потоками**

Природные и техногенные загрязнители, попадая в атмосферу, включаются в процессы перемешивания с газовой средой и рассеивания в ней. Здесь действуют факторы и свойства текущих сред, включая возможность переносить вещество во всех направлениях, в том числе и против основного потока. Такое свойство движений, если они упорядочены, связано с **конвекцией** (температурной или плотностной). При больших интенсивностях в случае потери дальнего порядка начинается ускоренное перемешивание, характерное для **турбулентного** течения.

В целом известно три механизма уменьшения концентрации примесей в атмосфере:

- 1) рассеяние в результате конвективного или турбулентного перемешивания;
- 2) деградация (трансформация) под действием биохимических и химических процессов;
- 3) иммобилизация – потеря подвижности ЗВ в результате процессов адсорбции или биохимических процессов поглощения.

### **9.3.3. Механизмы рассеяния**

В атмосфере как типичной текучей среде задействованы три механизма рассеяния:

- 1) молекулярная диффузия (на малых расстояниях);

2) конвективная диффузия как функция разности температуры или плотности;

3) турбулентная диффузия.

Молекулярная диффузия в «чистом виде» для переноса вещества от источника до внешней границы СЗЗ обычно не учитывается.

Ламинарные конвективные потоки в атмосфере, по мнению некоторых метеорологов, также не играют существенной роли в масштабе высоты атмосферы. Другие исследователи с этим механизмом связывают развитие островов (куполов) тепла над территориями городов, которые поднимаются до 500–1000 м и отличаются от окружающего фона на 5–6 градусов (рис. 9.3).

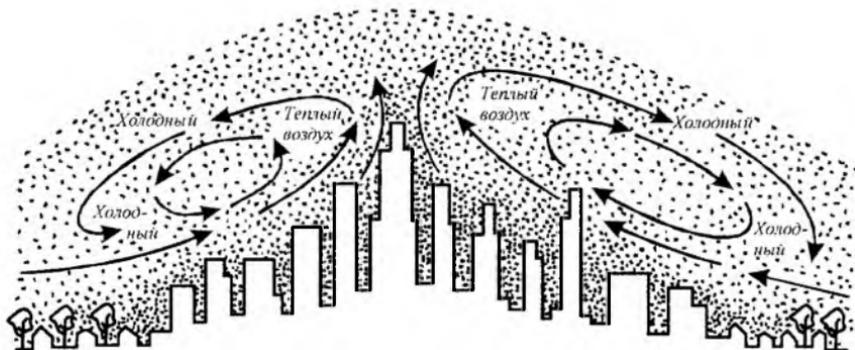


Рис. 9.3. Механизм формирования «куполов тепла» над городом

В целом переход от ламинарного течения к турбулентному определяет величина критического числа Рейнольдса ( $Re$ ). Оно зависит от высоты атмосферы в первой степени. Поэтому уже при весьма слабом ветре число  $Re$  велико и доминирует турбулентное движение и турбулентная диффузия ЗВ.

### 9.3.4. Скорость ветра как лимитирующий фактор СЗЗ

В отличие от консервативных глобальных ветров, аэродинамическая обстановка в окрестностях источника загрязнения обладает существенно более высокой динамичностью. Разработана условная шкала Бофорта для оценки силы ветра в баллах по его действию на наземные предметы и по волнению моря (табл. 9.5).

Таблица 9.5

Скорость ветра и баллы Бофорта

Характер ветра	Баллы Бофорта	Скорость ветра	Атмосфера г. Томска
Штиль	0	0–0,5 (безветрие)	–
Тихий	1	0,6–1,7	–
Легкий	2	1,8–3,3	–
Слабый	3	3,4–5,2	–
Умеренный	4	5,3–7,4	–
Свежий	5	7,5–9,8	–
Сильный	6	9,9–12,4	–
Крепкий	7	12,5–15,2	–
Очень крепкий	8	15,3–18,2	Ветры со скоростью 15 м/с дуют около 20 дней. Имеют преимущественно южное и смежное (юго-восточное и юго-западное) направление. Повторяются в феврале-марте и ноябре-декабре. Средняя продолжительность 7,3 ч (от 5 до 58 ч)
Шторм	9	18,3–21,5	
Сильный шторм	10	21,6–25,1 (буря)	
Жесткий шторм	11	25,2–29,0	
Ураган	12	< 29,0	

Для рассеивания ЗВ наибольшую опасность представляют *штиль* (нулевой) и первые скорости ветра, при которых проис-

ходит максимальное накопление примесей, загрязнение воздуха, ухудшение видимости. Сильные ветры хорошо проветривают территорию, но создают природные динамические нагрузки на здания, высотные сооружения, вызывают ветровую (эоловую) эрозию (разрушение), дефляцию (выдувание рыхлого грунта, почв) вплоть до экологических катастроф, ограничивают или приостанавливают работу на открытом воздухе.

### Роза ветров

Неустойчивость направлений ветра в течение года характеризуется величиной повторяемости ветра данного направления. Повторяемость – доля (%) ветров, обладающих определенным *баллом* или *скоростью*. Графически оба показателя получают отображение в розе ветров (рис. 9.4). Построение розы ветров является необходимой процедурой при разработке раздела «Оценка воздействия на окружающую среду» (ОВОС) каждого технико-экономического проекта вновь строящегося или реконструируемого предприятия.

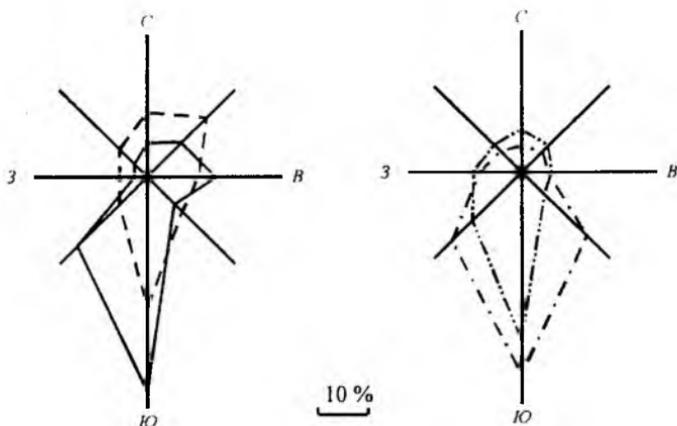


Рис. 9.4. Повторяемость (%) направлений ветра в г. Томске:  
 — январь; - - - - июль; - · - · - апрель; · - - - октябрь

При строительстве новых предприятий и реконструкции города необходимо тщательно учитывать совместную повторяемость скорости и направления ветра. Состояние воздушного пространства в целом определяется и *скоростью*, и *направлением* ветра. Так, при умеренных скоростях ветра (до 5 м/с), длительное время дующего со стороны промышленного предприятия (для Томска это ветер южного сектора), концентрация вредных примесей в атмосфере, как правило, существенно превышает допустимые нормы (ПДК для населенных пунктов). Поэтому для уменьшения аэрогенного загрязнения целесообразнее размещать селитебные зоны в южной части территории города.

#### 9.4. Устойчивая стратификация атмосферы и температурная инверсия

Годовой ход скорости ветра в тропосфере в большой степени определяется годовым ходом горизонтальных градиентов давления. По характеру движения воздушных масс тропосферу делят на слои:

- 1) приземный слой (высота 50–100 м, турбулентность ограничивается процессами трения о поверхность Земли, зависит от ее состава, рельефа и застройки);
- 2) пограничный слой высотой до 1000–1500 м;
- 3) свободная атмосфера.

Наибольший вертикальный градиент скорости ветра наблюдается в нижнем 200-метровом слое (1–1,5 м/с на каждые 100 м высоты).

Самопроизвольное развитие турбулентности в атмосфере связано с *гравитационной устойчивостью* атмосферы. Процессы стратификации атмосферы характеризуются величиной критерия Ричардсона ( $R_i$ )

$$R_i = g (\partial p / p \cdot \partial z) / (\partial u / \partial z)^2, \quad (9.7)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\partial\rho / \partial z$  – градиент плотности по вертикали,  $\text{кг/м}^4$ ;  $\partial u / \partial z$  – градиент скорости  $u$  в направлении  $Z$ ,  $\text{С}^{-1}$ .

Вертикальные пульсации переносят вниз более теплый воздух (против сил всплывания) а вверх – холодный воздух (против сил тяжести). Более обычной является именно такая стратификация (структура) атмосферы, когда по мере набора высоты температура воздуха уменьшается. Она соответствует так называемым *сверхадиабатическим* условиям, когда  $R_i > 0$  или *неустойчивой температурной (плотностной) стратификации*.

**Гравитационная устойчивость атмосферы** достигается тогда, когда более легкие (менее плотные) слои воздуха располагаются над более тяжелыми (плотными). Поскольку между плотностью и температурой имеется прямая связь, выражаемая уравнением Клаузиуса – Клапейрона, то можно ожидать, что *устойчивая стратификация* атмосферы соответствует условиям, когда на всех высотах температура воздуха оказывается выше, чем по *закону адиабатического расширения*.

Это означает, что по каким-то причинам расширяющийся при поднятии вверх воздух теряет температуру медленнее, чем по закону адиабатического расширения. Экологическим следствием является то, что новые возмущения, появляющиеся по каким-то причинам в потоке газа, не развиваются, а наоборот гаснут. Поэтому процесс рассеяния выбросов загрязняющих веществ (из высоких труб стационарных источников, самолетов и т. п.) происходит медленнее, в результате чего дольше сохраняется более концентрированный *шлейф* газа.

Критерий  $R_i$  является показателем возможности образования в атмосфере состояний, которые называются *инверсиями температуры*. Инверсия температуры – это повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения. Различают *приземные инверсии*, начинающиеся непосредственно от поверхности Земли, и инверсии температуры в свободной атмосфере. Первые чаще всего связа-

ны с охлаждением приземного слоя воздуха от холодной земной поверхности и проявляются в виде *смога*, а вторые – с нисходящими движениями воздуха, адиабатически повышающими его температуру. Как было отмечено выше, инверсия температуры соответствует *гравитационной устойчивости атмосферы*. При инверсии температуры величина  $\delta p / \delta z$  принимает отрицательное значение и  $R_i < 0$ . Такой ход плотности и, соответственно, температура называется *нададиабатическим*.

Наконец, при  $R_i = 0$  осуществляется *нейтральная стратификация*, когда плотность при подъеме потока воздуха уменьшается не больше и не меньше, чем на  $\delta p / \delta z$ , т. е. в полном соответствии с *адиабатическим градиентом плотности*.

При *нейтральной стратификации* (безразличном состоянии) атмосфера характеризуется снижением температуры воздуха каждые 100 м высоты на 1 °С (*сухоадиабатический градиент*). Температура любого слоя воздуха определяется только его высотой и, что весьма существенно, она постоянно одинакова с окружающей его атмосферой. В результате не будет перемещения этого объема воздуха ни вверх, ни вниз (безразличное состояние атмосферы). С точки зрения рассеяния загрязняющих веществ, такое состояние не самое худшее, но и особо благоприятным оно не является. Рассеяние примесей происходит с равной вероятностью как по вертикали, так и по горизонтали (рис. 9.5, б). Отсюда следует еще один важный вывод. Утверждения о более теплых или холодных слоях нельзя понимать буквально. Нужно осознать, что в общем случае речь идет о сравнении с температурой, которая была бы при адиабатическом расширении воздуха при его подъеме на данную высоту.

## 9.5. Поведение загрязняющих веществ в атмосфере

Рассеивание факелов и облаков ЗВ в чистом воздухе при сверхадиабатических (гравитационно-неустойчивых) условиях

характеризуется большими коэффициентами турбулентного переноса и, как следствие, быстрым рассеянием ЗВ.

При надиабатическом охлаждении (температурной инверсии) воздух быстро теряет свою подъемную силу, т. к. охлаждается до температур несколько меньше, чем температура окружающей среды. Потому газово-аэрозольные выбросы из труб не поднимаются вверх и сносятся ветром преимущественно в горизонтальном направлении (рис. 9.5).

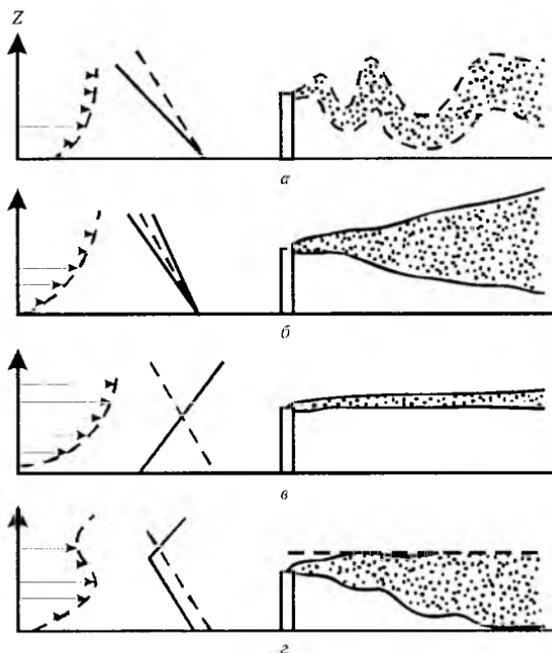


Рис. 9.5. Типичные профиль скорости ветра, температурный профиль и форма струи в плоскости  $XZ$  для различных атмосферных условий: сплошная линия – градиент температуры в окружающем воздухе; пунктир – сухоадиабатический вертикальный градиент температуры; *a* – волнообразная струя, сильная неустойчивость; *б* – конусообразная струя, устойчивость близка к безразличной; *в* – веерообразная струя, поверхностная инверсия; *г* – задымляющая струя, приподнятая инверсия

Распространение выходящих из труб выбросов в атмосфере определяется аэродинамикой самой нижней части атмосферы. Потоки воздуха вблизи Земли могут быть турбулентными и ламинарными.

В солнечный день прогрев природных сред усиливается по сравнению с верхними слоями воздуха, поэтому поднимающиеся потоки теплого воздуха поддерживают атмосферу в состоянии турбулентности (задымленности или фумигации приземного слоя) и нестабильных условий (рис. 9.5, *а*). Во второй половине такого дня инсоляция может стать причиной инверсии и застоя в верхних слоях приземного слоя. Такая инверсия, характеризующаяся высотой своего расположения и протяженностью ослабленного смещения, называется *приподнятой* (рис. 9.5, *г*). Если приподнятая инверсия находится несколько выше устья дымовой трубы, то дым может и не пробить верхний слой атмосферы, и в таком случае выбросы прижимаются к Земле, создавая максимальное загрязнение приземных слоев. Все разнообразие типологических ситуаций, возникающих при рассеянии шлейфов дымовых выбросов в зависимости от вертикальных профилей температуры, скорости ветра и других атмосферных условий, представлены на рис. 9.5.

В ясную ночь земля охлаждается быстрее, и холодный воздух вблизи земли плохо перемешивается с более теплыми верхними слоями, ветер у земли стихает. В период зимнего антициклона, особенно когда дым или туман ослабляют солнечное тепло, такое устойчивое состояние может наблюдаться в течение всего дня (см. рис. 9.5, *б*). Утром приповерхностный слой прогревается быстрее, чем более верхние слои, и вновь появляется турбулентность.

В облачную погоду солнечная радиация минимальна, и температурный градиент становится нейтральным. Температура воздуха с высотой падает за счет охлаждения поднимающегося воздуха при адиабатическом расширении. Турбулентность в воздухе зависит от ветра и рельефа местности (см. рис. 9.5, *б*).

Концентрация загрязнителей во всех случаях максимальна в центре струи и уменьшается к периферии, особенно резко в состоянии инверсии.

## **9.6. Установление размеров санитарно-защитной зоны ( $L_0$ )**

Ширина СЗЗ определяется двумя способами:

- 1) по нормативным показателям;
- 2) расчетным путем.

Первый вариант применяем, когда на внешней границе СЗЗ концентрация всех ЗВ  $C_{\text{общ}} \leq \text{ПДК}_{\text{м.р}}$ , и ширина СЗЗ принимается в соответствии с нормативами (Р 2.2.2006-05).

Второй вариант используют в тех случаях, когда  $C_{\text{общ}} > \text{ПДК}_{\text{м.р}}$  на внешней границе СЗЗ. Здесь ширина СЗЗ устанавливается в соответствии с расчетами.

В обоих вариантах учитываются климатические факторы и неблагоприятные метеорологические условия (НМУ). Учет одного из них – опасной скорости ветра – рассмотрен во II-ой части методических указаний «Экология атмосферного воздуха» (2000 г.)

### **9.6.1. Общие принципы расчета расстояния $L_0$ от центра СЗЗ до ее внешней границы в заданном направлении**

Рассчитывается  $L_{0i}$ , на котором  $C_{\text{общ}} = \text{ПДК}$ .

$L_{0i}$  корректируется в соответствии с вытянутостью розы ветров в рассматриваемом направлении.

### **9.6.2. Методика расчета расстояния от центра СЗЗ до ее внешней границы в заданном направлении**

Для каждого источника определяется максимальная приземная концентрация каждой примеси –  $C_{\text{mi}}$  и расстояние, на котором она образуется ( $X_{\text{mi}}$ ).

Рассчитывается  $C_{\text{общ1}}$  при средневзвешенной опасной скорости ветра  $U_{\text{мс}}$  для высоких организованных источников выбросов:

$$C_{\text{общ1}} = \Sigma C_{\text{mij}} \mid U = U_{\text{мс}} + \Sigma C_{\text{ни}} \mid U = U_{\text{мс}} + C_{\text{фи}}, \quad (9.8)$$

где  $C_{\text{ни}}$  – вклад низких неорганизованных источников.

Если  $C_{\text{общ1}} \leq \text{ПДК}$ , то определяют  $C_{\text{общ2}}$  при скорости ветра равной 1 м/с:

$$C_{\text{общ2}} = \Sigma C_{\text{юij}} \mid U = 1 \text{ м / с} + \Sigma C_{\text{н}} \mid U = 1 \text{ м / с} + C_{\text{фи}}. \quad (9.9)$$

Если  $C_{\text{общ1}} \leq \text{ПДК}$  и  $C_{\text{общ2}} \leq \text{ПДК}$ , то принимают нормируемую ширину  $\text{СЗЗ} = L_0$ .

Если  $C_{\text{общ1}} > \text{ПДК}$ , то расчет ведут по методу координатных сеток, рассчитывая  $C_{\text{общ}}$  ( $u = u_{\text{мс}}$ , м/с) в узлах координатной сетки с центром координат, совпадающим с центром СЗЗ (шаг сетки – для объектов I и II классов вредности – 250 м, для III – 100 м, IV – 25 м, до тех пор пока  $C_{\text{общ}} \leq \text{ПДК}$ ).

Если  $C_{\text{общ1}} < \text{ПДК}$ , а  $C_{\text{общ2}} > \text{ПДК}$ , то расчет ведут по методу координатных сеток, рассчитывая  $C_{\text{общ}}$  ( $u = 1$  м/с) в узлах координатной сетки с центром координат, совпадающим с центром СЗЗ, до тех пор пока  $C_{\text{общ}} \leq \text{ПДК}$ .

Затем рассчитывают окончательный размер СЗЗ  $L$  (м) – расчетное расстояние от центра СЗЗ до ее внешней границы – с учетом вытянутости розы ветров:

$$L = L_0 p_n / p_0, \text{ (м)}, \quad (9.10)$$

где  $p_n / p_0$  – вытянутость среднегодовой розы ветров в рассматриваемом направлении.

### Задача 1

Тепловая электростанция выбрасывает в атмосферу  $M_1 = 15$  т/ч диоксида серы и  $M_2 = 15$  т/ч диоксида азота. Температура газовоздушной смеси  $T_{\text{г}} = 123$  °С.

Высота трубы  $H = 150$  м, диаметр ее устья  $D = 5$  м. Средняя скорость выхода газозвдушной смеси  $W_0 = 10$  м/с. Электростанция расположена в Томской области (коэффициент  $A$ , зависящий от температурной стратификации атмосферы, равен 140). Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца года  $T_b = 20$  °С. Коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности на рассеивание примеси,  $\eta = 1$ .

Рассчитать величины  $C_m$  и  $X_m$  с учетом коэффициента суммации при скоростях ветра  $U_1 = 2$  м/с и  $U_2 = 10$  м/с. Определить размеры санитарно-защитной зоны с учетом среднегодовой розы ветров (табл. 9.6).

Таблица 9.6

Скорость ветра и баллы Бофорта

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость ветра $p_n$ , %	8	7	5	11	14	19	29	7
Вытянутость розы ветров $p_n / p_0$	0,64	0,56	0,40	0,88	1,12	1,52	2,32	0,56

Решение. 1. Расчет величин  $C_m$  и  $X_m$ :

$$M_1 = 15 \text{ т SO}_2/\text{ч} = 4166,7 \text{ ч/с} (15 \cdot 1000 \cdot 1000) / 3600.$$

$$M_2 = 2 \text{ т NO}_2/\text{ч} = 555,6 \text{ ч/с}.$$

Привести массу выбросов ЗВ с учетом эффекта суммации к выбросу  $\text{SO}_2$ :

$$M = M_1 + M_2 (\text{ПДК}_1 / \text{ПДК}_2) = 4166,7 + 555,6 (0,5 / 0,085) = 74345 \text{ г [SO}_2\text{]}/\text{с},$$

где  $\text{ПДК}_{\text{м.р}} \text{SO}_2 = 0,5 \text{ мг/м}^3$ ;  $\text{ПДК}_{\text{м.р}} \text{NO}_2 = 0,085 \text{ мг/м}^3$ .

Расчет  $C_m$  при опасной скорости ветра:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt{V_1 \cdot \Delta T / H}},$$

где  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий дисперсность выбрасываемой примеси:  $F = 1$  для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей и  $F = 2-4$  для крупнодисперсной пыли в зависимости от степени очистки.

Значения безразмерных коэффициентов  $m$  и  $n$ , учитывающие условия выброса газов из устья источника выброса, рассчитываются по формулам

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}},$$

где

$$\begin{aligned} f &= 1000(W_0^2 \cdot D)/(H^2 + \Delta T) = \\ &= 1000(10^2 \cdot 5)/(150^2 \cdot 100) = 0,022. \end{aligned} \quad (9.12)$$

Значение коэффициента  $n$  определяют по зависимости от величины параметра  $V_m = 0,65\sqrt[3]{(V_1 \cdot \Delta T)/H}$ :

а) при  $V_m \geq 2$ ,  $n = 1$ ;

б) при  $0,5 \leq V_m < 2$ ,  $n = 0,532V_m^2 - 2,13V_m + 3,13$ ;

в) при  $V_m < 0,5$ ,  $n = 4,4V_m$ .

По второму варианту значения безразмерных коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются по графикам (рис. 9.6).

Наконец, для приближенных расчетов принимают:

$$m \cdot n = 1.$$

Подставив все значения в формулу (9.11), получим:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{140 \cdot 7435 \cdot 1 \cdot 1,083 \cdot 1 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,35 \cdot 100}} = 1,86 \text{ мг [SO}_2\text{] / м}^3.$$

2. Расчет  $C_m$  для отдельных компонентов выбросов

$$C_{m\text{SO}_2} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T \cdot \eta}} = \frac{140 \cdot 4166,7 \cdot 1 \cdot 1,083 \cdot 1 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,35 \cdot 100}} = 1,04 \text{ мг/л}^3.$$

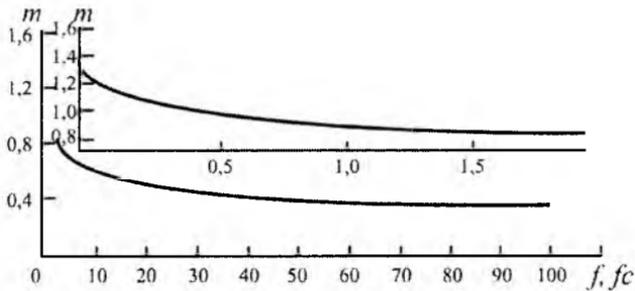


Рис. 9.6. Зависимость безразмерных коэффициентов  $m$  и  $n$  от параметров  $f$  и  $V_m$

## 2. Расчет $X_m$ при опасной скорости ветра:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} dH,$$

где  $d$  – коэффициент, величина которого не зависит от массы выброса.

При  $V_m > 2$  м/с

$$d = 7d = 7\sqrt{V_m} \left(1 + 0,28\sqrt[3]{f}\right), \quad (9.13)$$

где

$$V_m = 0,65\sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T / H} = 0,65(196,35 \cdot 100) / 150 = 3,3 \text{ м.} \quad (9.14)$$

В уравнении (9.14) величина  $V_1$  – объемная скорость выхода газовойвоздушной смеси из устья источника определяется по формуле

$$V_1 = \pi \cdot D^2 \cdot W_0 / 4 = \pi \cdot 10 / 4 = 196,35 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (9.15)$$

Тогда, подставив значение  $V_m$  (9.12) и (9.14) в уравнение (9.13), получаем:

$$d = 7\sqrt{3,3} \left(1 + 0,28\sqrt[3]{0,22}\right) = 14,87,$$

$$X_{m\text{SO}_2} = \frac{5-4}{4} 14,87 \cdot 150 = 2231 \text{ м,}$$

т. е. на расстоянии 2231 м от источника выброса находится точка максимальной приземной концентрации  $\text{SO}_2$  при опасной скорости ветра.

3. Расчет  $C_{mi}$  и  $X_{mi}$  при скорости ветра  $U_1 = 2 \text{ м/с}$ .

Влияние скорости ветра на рассеивание примеси определяется по соотношениям

$$C_{mi} = C_m \cdot r; \quad X_{mi} = p \cdot X_m, \quad (9.16)$$

где  $C_{mi}$  и  $X_{mi}$  – значения максимальной приземной концентрации примеси и расстояние от источника выброса, на котором она достигается, при скорости ветра  $U_1 = 2 \text{ м/с}$ . Значение  $r \leq 1$ , а коэффициент  $p \geq 1$ .

Для определения коэффициентов  $r$  и  $p$  можно воспользоваться графиком на рис. 1 из методического указания (Мананков А.В. Экология воздуха. Часть II. Роль климатических факторов в загрязнении атмосферы. С. 5). Кроме того, можно эти коэффициенты вычислить:

$$U / U_m = 2 / 3,49 = 0,573 < 1, \quad (9.17)$$

где  $U_m$  – опасная скорость ветра. Ее рассчитываем так:

$$\text{при } V_m > 2 \text{ м/с}, \quad U_m = V_m \left(1 + 0,12\sqrt{f}\right), \quad (9.18)$$

или, подставив в уравнение (9.18) значение  $V_m$  из (9.14) и значение  $f$  из уравнения (9.12), получаем:

$$U_m = 3,3 \left(1 + 0,12\sqrt{0,22}\right) = 3,49 \text{ м/с.}$$

Зная, что  $0,25 < U / U_m < 1$  (9.17), вычислим коэффициенты  $r$  и  $p$ .

$$r = 0,67 (U / U_m) + 1,67 + U / U_m)^2 - 1,34 (U / U_m)^3; \quad (9.19)$$

$$r = 0,67 \cdot 0,573 + 1,67 (0,573)^2 - 1,34 (0,573)^3 = 0,68.$$

Коэффициент  $p$ :

$$p = 8,43 (1 - U / U_m)^5 + 1 = 1,12. \quad (9.20)$$

Подставив значения коэффициентов  $r$  и  $p$  из уравнений (9.19) и (9.20) в уравнение (9.16), получаем искомые величины:

$$C_{mu} = 0,68 \cdot C_{\text{мSO}_2} = 0,68 \cdot 1,04 = 0,71 \text{ мг/м}^3; \quad (9.21)$$

$$X_{mu} = 1,12 \cdot X_{\text{мSO}_2} = 1,12 \cdot 2231 = 2499 \text{ м.} \quad (9.22)$$

4. Расчет  $C_{mu}$  и  $X_{mu}$  при скорости ветра  $U_2 = 10 \text{ м/с}$ :

$$U / U_m = 10 / 3,49 = 2,87 < 1. \quad (9.23)$$

При  $U / U_m > 1$

$$R = \frac{U / U_m}{2(U / U_m)^2 - (U / U_m) + 2} = \frac{3 \cdot 2,87}{2(2,87)^2 - 2,87 + 2} = 0,55. \quad (9.24)$$

$$p = 0,32 \cdot U / U_m + 0,68 = 0,32 \cdot 2,87 + 0,68 + 1,60. \quad (9.25)$$

Тогда

$$C_{mi} = 0,55 \cdot 1,04 = 0,57 \text{ мг/м}^3. \quad (9.26)$$

$$X_{mi} = 1,60 \cdot 2231 = 3570 \text{ м.}$$

5. Расчет величины  $C_{\text{общ}}$ .

Вычислим фоновую концентрацию примесей, приведенных к  $\text{SO}_2$ , зная, что  $C_{\text{фSO}_2} = 0,01 \text{ мг/м}^3$ ,  $C_{\text{фNO}_2} = 0,1 \text{ мг/м}^3$ .

$$\begin{aligned} C_{\text{ф}} &= C_{\text{фNO}_2} + C_{\text{фSO}_2} \frac{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} = \\ &= 0,1 + 0,01 \frac{0,5}{0,085} = 0,159 \text{ мг SO}_2/\text{м}^3. \end{aligned} \quad (9.27)$$

Тогда

$$\begin{aligned} C_{\text{общ}} &= 1,86 + 1,59 + 2,02 \text{ мг [SO}_2\text{]/м}^3 > \text{ПДК}_{\text{м.р}} \\ &(\text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,5 \text{ мгSO}_2/\text{м}^3). \end{aligned}$$

6. Расчет расстояния от центра источника до внешней границы санитарно-защитной зоны.

В этом варианте  $L_0 = \text{const}$  для всех направлений.

На расстоянии  $L_0$  величина  $C_{\text{общ}} = C_x = \text{ПДК} - C_{\text{ф}}$ :

$$C_{\text{общ}} = 0,5 - 0,159 = 0,34 \text{ мг [SO}_2\text{]/м}^3. \quad (9.28)$$

$$C_x = S_1 \cdot C_m.$$

$$\text{Отсюда} \quad S_1 = C_x / C_m = 0,341 : 1,86 = 0,183. \quad (9.29)$$

$$S_i = \frac{1,13}{0,13(X/X_m)^2 + 1} \Rightarrow X/X_m = 6,3.$$

$$X = L_0 = 2231 \cdot 6,3 = 14055 \text{ м.}$$

7. Расчет расстояния от центра СЗЗ до ее внешней границы по восьми румбам розы ветров.

$$L_n - L_0 \cdot p_n / p_0, \text{ м.}$$

Тогда  $L_c = 8995$  м,  $L_{c-в} = 7871$  м,  $L_B = 5622$  м,  $L_{ю-в} = 12368$  м,  $L_{ю} = 15742$  м,  $L_{ю-з} = 21364$  м,  $L_3 = 32600$  м,  $L_{c-з} = 7871$  м.

Отсюда максимальный размер СЗЗ в западном румбе при западном ветре равен 32600 м, а максимальный размер при восточном ветре составляет 5622 м.

### Исходные данные для задачи 2

Тепловая электростанция выбрасывает в атмосферу  $M_1 = (10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20)$  т/ч диоксида серы и  $M_2 = (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5)$  т/ч диоксида азота. Температура газовоздушной смеси  $T = 123$  °С. Высота трубы  $H = (120, 130, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175)$  м, диаметр устья  $D = 5$  м. Средняя скорость выхода газовоздушной смеси  $W_0 = 10$  м/с. Электростанция расположена в Томской области ( $A = 140$ ). Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца  $T_B = 20$  °С. Коэффициент  $\eta = 1$ .

Определить величину максимальной приземной концентрации  $C_m$  с учетом суммации и расстояние  $X_m$ , на котором она достигается (табл. 9.7). Те же величины рассчитать при скоростях ветра  $U_1 = 3$  м/с и  $U_2 = 9$  м/с.

Таблица 9.7

### Метеопараметры для территорий г. Томска

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость ветра $p_n$ , %	8	5	8	11	14	29	19	11
Вытянутость розы ветров $p_n / p_0$	0,56	0,40	0,64	0,88	1,12	2,32	1,52	0,88

Определить размеры санитарно-защитной зоны с учетом среднегодовой розы ветров.

Розу ветров и санитарно-защитную зону вычертить в произвольном масштабе.

## Контрольные вопросы и задания

1. Классификация поллютантов по химическому составу.
2. Классификация поллютантов по физическому состоянию.
3. Классификация поллютантов по происхождению.
4. Назовите масштабные уровни воздействия поллютантов.
5. Классификация поллютантов по своему экологическому воздействию.
6. Дайте классификацию смогов.
7. Обоснуйте связь кислотных дождей с теплоэнергетикой.
8. Что такое озоновые дыры, каков механизм их образования?
9. Какие отрасли народного хозяйства являются наиболее вредными для атмосферы?
10. Дайте классификацию активных методов очистки выбросов ЗВ.
11. Напишите формулу, по которой определяется концентрация выбросов от высоты трубы стационарного источника.
12. Дайте определение понятия «санитарно-защитная зона предприятия».
13. Какая норма называется «временно согласованный выброс»?
14. Охарактеризуйте отличие понятий «экологическое бедствие» и «чрезвычайная экологическая ситуация».
15. Дайте характеристику единичных индексов загрязнения.
16. Дайте характеристику комплексных индексов загрязнения.
17. Как образуется «купол тепла» над городом?
18. Что такое надadiaбатическое охлаждение (температурная инверсия) и каковы ее последствия?
19. Нарисуйте розу ветров для г. Томска.
20. Какими способами определяют радиус санитарно-защитной зоны?
21. Какие факторы влияют на распространение загрязнителей при выбросе из дымовых труб?

22. Что такое турбулентная диффузия и что характеризует ее количественно?

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. *Инженерная экология и экологический менеджмент* / М.В. Буторина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева [и др.] ; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадина. – М. : Логос, 2003. – 528 с.

2. *Мананков, А.В. Экология : учеб. пособие* / А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2003. – 142 с.

3. *Экология атмосферного воздуха. Ч. III. Санитарно-защитная зона промышленного предприятия при различных климатических и метеорологических параметрах : метод. указания* / сост. А.В. Мананков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2001. – 28 с.

4. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы.* – М. : Центр СЭН, ГСиЭ Минздрава России, 2009. – 116 с.

5. *Самарский, А.А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии.* Изд. 3-е / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.

6. *Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика* / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М. : Бионом, 2006. – 286 с.

7. *Тарасов, В.В. Мониторинг атмосферного воздуха* / В.В. Тарасов, И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. – 97 с.

8. *Хомич, В.А. Экология городской среды : учеб. пособие* / В.А. Хомич. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.

9. *Язиков, Е.Г. Геоэкологический мониторинг* / Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.

### Дополнительная литература

10. *Анализ объектов окружающей среды*. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.
11. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.
12. *Безопасные уровни* содержания вредных веществ в окружающей среде. – М. : ВНИИТБХП, 1990. – 301 с.
13. *Экологические основы* строительного производства / А.Я. Гаев, В.Е. Нарижная [и др.]. – Свердловск, 1990. – 180 с.
14. *Зайцев, В.А.* Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М., 2000. – 130 с.
15. *Макаров, С.В.* Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза». В 2-х ч. / С.В. Макаров, Д.В. Жаворонков. – М. : Изд-во «Дели», 2000 – 107 с.
16. *Мананков, А.В.* Научная рациональность в проблеме устойчивого развития / А.В. Мананков // *Методология науки*. Вып. III. Становление современной научной рациональности. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – С. 120–126.
17. *Мананков, А.В.* Краткий словарь по геоэкологии и экологической безопасности : учеб. пособие / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 77 с.
18. *Методика расчета* концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.
19. *Перегуд, Е.А.* Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л. : Химия, 1981. – 384 с.
20. *Потапов, В.В.* Киотский протокол как механизм дискриминации России / В.В. Потапов // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. – 2004. – № 3. – С. 73–85.
21. *РД 52.04.52–85.* Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 52 с.

22. *Руководство Р 2.2.2006-05*. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М. : Минздрав России, 2005. – 152 с.

23. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 135 с.

24. *Экология и экономика природопользования* / под. ред. проф. Э.В. Гирусова. – М. : Единство, 2002. – 519 с.

25. *Ясаманов, Н.А.* Основы геоэкологии : учеб. пособие / Н.А. Ясаманов. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 352 с.

## 10. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ СУММАРНОГО ВЫБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ИЗ СТОЛЯРНОГО ЦЕХА

Любое строительство не обходится без деревянных конструкций. Приходят новые материалы, пытающиеся заменить дерево, но со временем обнаруживается, что эти материалы, как любая мода, меняются, а дерево остается, побеждая своей долговечностью и экологической приемлемостью. Вместе с тем, перевозаготовка и деревообработка у нас в стране далеки от совершенства (технологического и экологического). Поэтому в рамках промышленной экологии представляется актуальным освоение экологических нормативов и методик расчетов загрязнений при обработке и отделке древесины.

### 10.1. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ) при механической обработке древесины

В процессе механической обработки древесины образуется стружка, опилки и древесная пыль. С точки зрения загрязнения атмосферного воздуха, интерес представляет только последнее: процентное содержание в отходах пылеватых частиц (к которым обычно относят частицы диаметром менее 200 мкм), которое различается в зависимости от вида древесины, технологических операций и типа станка.

Следует разделять понятия *выделения* и *выброса* в атмосферу ЗВ. Выделение загрязняющих веществ (при механической обработке это в основном пыль) осуществляется в воздух производственного помещения. Величина поступающего в единицу времени в воздух производственного помещения загрязняющего (вредного) вещества называется **выделением**.

При помощи местных отсосов часть из этих ЗВ улавливается и направляется системой аспирации либо на пылегазоулавливающие установки (ПГУ), либо сразу в атмосферу.

Величина поступающего в единицу времени в атмосферный воздух ЗВ называется **выбросом**.

Таким образом, выброс ЗВ меньше или равен величине его выделения, поскольку не всё количество выделяющихся ЗВ поступает в атмосферу.

Величина массового выделения древесной пыли, образующейся при работе различных деревообрабатывающих станков, г/с, определяется по формуле

$$M'_m = qm, \quad (10.1)$$

где  $q$  – удельное выделение древесной пыли при работе единицы оборудования (станка), (см. табл. 7.1);  $m$  – число единиц оборудования, шт.

В свою очередь, массовый выброс ЗВ в атмосферу рассчитывается на основании величины массового выделения с учётом эффективности местных отсосов  $\delta$  и эффективности очистки технологических выбросов имеющимися ПТУ  $\eta$ :

$$M_m = \delta M'_m (1 - \eta), \quad (10.2)$$

где  $\delta$  – эффективность местных отсосов, (0–1). Значение  $\delta$  для деревообрабатывающих производств можно принимать равным 0,9;  $\eta$  – эффективность очистки технологических выбросов, (0–1).

Значения  $q$  для различного деревообрабатывающего оборудования приведено в табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Удельное выделение древесной пыли  
для процессов механической обработки древесины**

Технологическая операция	Модель, марка станка	Удельное выделение древесной пыли $q$ , г/с
Пиление	Станки круглопильные	
	УН	2,1
	Ц6-2	3,0
	Ц2КА12	3,3
	ЦКБ-4	4,4
	ЦПА-40	4,3

Технологическая операция	Модель, марка станка	Удельное выделение древесной пыли $q$ , г/с
Строгание	Станки фуговальные	
	СФ-3, СФ-4	2,3
	СФ-5, СФ-6	5,1
	СФА-4	6,7
	Станки рейсмусовые двусторонние	
	С2Р8, КРЕ-4	31,1
	С2Р16	34,0
Обработка токарная	Станки токарные	
	КПА-20-1	16,2
	Е161М	1,7
Фрезерование	Станки фрезерные	
	Ф4, Ф5, Ф6, ФШ-4	1,4
	ФА-4, ЦФ-2	2,4
Шлифование	Станки шлифовальные	
	ШЛПС-6	5,05
	ШЛПС-7	1,9

## 10.2. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных материалов

При нанесении лакокрасочных материалов (ЛКМ) загрязняющие вещества выделяются в виде красочного аэрозоля (при пневматическом способе) и компонентов летучей части.

Массовое выделение красочного аэрозоля (только при пневматическом способе нанесения), г/с, определяется по формуле

$$M_m^a = g\delta_a \cdot 10^{-2}, \quad (10.3)$$

где  $g$  – массовый расход ЛКМ, используемого для покрытия, г/с;  $\delta_a$  – доля ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля, процентов (табл. 10.2).

Массовое выделение всей совокупности компонентов летучей части при нанесении ЛКМ находят по формуле

$$M_m^{\text{лет}} = g\delta'_p f_p \cdot 10^{-4}, \quad (10.4)$$

где  $g\delta'_p$  – доля растворителя в ЛКМ, выделяющегося при данном способе нанесения покрытия, % (табл. 10.2);  $f_p$  – доля летучей части (растворителя) в ЛКМ, процентов (табл. 10.3).

Таблица 10.2

**Выделение ЗВ при нанесении лакокрасочных покрытий**

Способ нанесения ЛКМ	Доля ЛКМ, потенциального в виде аэрозоля $\delta_a$ , %	Доля летучей части ЛКМ, выделяющейся при нанесении покрытия $\delta'_p$ , %
Электростатический	0,3	50
Горячее распыление	20	22
Пневматический	30	25
Безвоздушный	2,5	23
Гидроэлектростатический	1,0	25
Пневмоэлектростатический	3,5	20
Окувание	–	28
Струйный облив	–	35
Электроосаждение	–	10

Массовое выделение  $i$ -го компонента летучей части ЛКМ определяется с помощью табл. 10.3 по формуле

$$M_{im} = M_m^{\text{лет}} h_i \cdot 10^{-2}, \quad (10.5)$$

где  $h_i$  – содержание компонента в летучей части ЛКМ, %.

Коэффициент эффективности местных отсосов принять равным 1,0.

Результаты расчётов следует представить в виде итоговой таблицы (табл. 10.4).

Таблица 10.3

## Состав лакокрасочных материалов

Марка ЛКМ	Доля летучей части $f_p$ , %	Наименование компонентов	Содержание компонентов в летучей части ЛКМ $h_i$ , %
НЦ-1125	60	Ацетон	7
		Спирт н-бутиловый	10
		Спирт этиловый	15
		Толуол	50
		Бутилацетат	10
		Этилцеллозольв	8
НЦ-132П	80	Ацетон	8
		Бутилацетат	8
		Спирт н-бутиловый	15
		Спирт этиловый	20
		Этилцеллозольв	8
		Толуол	41
НЦ-211	65	Спирт н-бутиловый	10
		Спирт этиловый	15
		Бутилацетат	10
		Толуол	50
		Этилцеллозольв	8
		Ацетон	7

Таблица 10.4

## Итоговая таблица

Наименование загрязняющего вещества	Величина массового выброса, г/с

## Задача

В деревообрабатывающем цехе изготавливают филеночные двери из сосны. Для этого смонтирована общая система аспирации, имеющая единственный источник загрязнения атмосферы.

*Исходные данные.* 1. Задействовано следующее технологическое оборудование в *столярном участке*:

Круглопильный станок ЦКБ-4;  
Фуговальный станок СФ-5;  
Рейсмусовый станок С2Р16;  
Фрезерный станок, Ф4;  
Шлифовальный станок ШЛПС-6.

2. Операции с дверями в *окрасочном участке*.

Задействована окрасочная кабина для *пневматического* нанесения нитролака.

Расход ЛКМ (например, нитролака НЦ-211) составляет 250 кг в месяц.

Тогда в смену (8 ч) при 22-х рабочих днях в месяц расход нитролака составит:

$$250 : 22 = 11,4 \text{ кг.}$$

Отсюда массовый расход составит:

$$11400 / (8 \cdot 3600) = 0,4 \text{ г/с.}$$

Оцените величину массового выброса в атмосферу ЗВ из этого источника, учитывая, что пылегазоочистные устройства не работают или отсутствуют.

*Решение.* Рассчитаем величину выбросов ЗВ по участкам.

**Столярный участок.** С учетом задействованного технологического оборудования и известных удельных выделений пыли  $q$  (см. табл. 10.1), при условии одновременной работы станков, величина выделения древесной пыли на участке будет представлена итоговой суммой (табл. 10.5).

## Выделение пыли в столярном участке

Наименование станка	Массовое выделение пыли, г/с
ЦКБ-4	4,4
СФ-4	2,3
С2Р16	34,0
Ф4	1,4
ШЛПС-6	5,05
Общая оценка	47,2

Исходя из формулы (10.2), принимаем эффективность местного отсоса  $\delta = 0,9$  и отсутствие ПГУ ( $\eta = 0$ ), рассчитаем величину массового выброса древесной пыли

$$M_m = 0,9 \cdot 47,2 (1 - 0) = 42,5 \text{ г/с.}$$

**Окрасочный участок.** С учетом эффективности местного отсоса  $\delta = 1,0$  величина массового выделения (выброса) красочного аэрозоля по формуле (10.3):

$$M_m^a = 0,4 \cdot 30 \cdot 0,01 = 0,12 \text{ г/с.}$$

Далее по формуле (10.4) рассчитаем величину выделения (выброса) летучей части ЛКМ:

$$M_m^{\text{лет}} = 0,4 \cdot 25 \cdot 65 \cdot 0,0001 = 0,065 \text{ г/с.}$$

Зная марку ЛКМ, с помощью табл. 10.3 и уравнения (10.5) можно рассчитать покомпонентный массовый выброс ЗВ (табл. 10.6).

Итоговая величина массового выброса складывается из трех переменных: пыли древесной, доли ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля при покраске, и долей летучей части ЛКМ (табл. 10.7).

Таблица 10.6

**Выброс ЗВ летучей части ЛКМ по компонентам**

Наименование компонента нитролака НЦ-211	Величина массового выделения (выброса), г/с
Спиртн-бутиловый	$0,065 \cdot 10 \cdot 0,01 = 0,0065$
Спирт этиловый	$0,065 \cdot 15 \cdot 0,01 = 0,0095$
Бутилацетат	$0,065 \cdot 10 \cdot 0,01 = 0,0065$
Толуол	$0,065 \cdot 50 \cdot 0,01 = 0,0330$
Этилцеллозольв	$0,065 \cdot 8 \cdot 0,01 = 0,0052$
Ацетон	$0,065 \cdot 7 \cdot 0,01 = 0,0046$

Таблица 10.7

**Общая оценка величины массового выброса ЗВ  
по двум участкам цеха**

Наименование ЗВ	Величина массового выброса, г/с
Пыль древесная	42,5
Красочный аэрозоль	0,12
Спирт н-бутиловый	0,0065
Спирт этиловый	0,0095
Бутилацетат	0,0065
Толуол	0,033
Этилцеллозольв	0,0052
Ацетон	0,0046

В табл. 10.8 представлены исходные данные для расчета общей величины выделения (выброса) древесной пыли, аэрозолей и летучей части ЛКМ в цехе по 10 вариантам.

**Общая оценка величины массового выброса ЗВ по 10 вариантам  
при пневматическом способе покраски**

Вариант	Деревообрабатывающие станки	Марка ЛКМ
1	УН, СФ-3, С2Р8, КПА-20-1, Ф4, ШЛПС-6	НЦ-1125
2	Ц6-2, СФ-4, КРЕ-4, Е161М, Ф5, ШЛПС-7	НЦ-132П
3	Ц2КА12, СФ-5, С2Р16, Е161М, Ф6, ШЛПС-6	НЦ-121
4	ЦКБ-4, СФ-6, С2Р8, КПА-20-1, ФШ-4, ШЛПС-7	НЦ-1125
5	ЦПА-40, СФА-4, КРЕ-4, Е161М, ФА-4, ШЛПС-6	НЦ-132П
6	УН, СФА-4, КРЕ-4, Е161М, ЦФ-2, ШЛПС-7	НЦ-121
7	ЦПА-40, СФ-3, С2Р16, КПА-20-1, Ф4, ШЛПС-6	НЦ-1125
8	Ц6-2, СФ-5, С2Р8, Е161М, Ф5, ШЛПС-7	НЦ-121
9	ЦКБ-4, СФ-4, КРЕ-4, КПА-20-1, ФА-4, ШЛПС-6	НЦ-132П
0	Ц6-2, СФ-6, С2Р16, Е161М, Ф6, ШЛПС-7	НЦ-1125

**Типовые задачи по курсу «Промышленная экология»**

**Задача 1**

При пассивных методах очистки отходящих пылегазовых выбросов используют дымовые трубы. При этом степень рассеивания выбросов находится в обратно квадратичной зависимости от высоты трубы:

$$C_m = 1/H^2,$$

где  $C_m$  – максимальная концентрация вредных веществ в выбросах, мг/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота трубы, м.

Так, при  $H = 20$  м,  $C_m = 1/400$ , а при  $H = 200$  м значение  $C_m = 1/40000$ . Следовательно, увеличение высоты трубы в 10 раз позволяет достигнуть такого эффекта рассеивания, что его можно условно считать равным 98–99 % очистки выбросов. Росгидрометом РФ не рекомендуется сооружение труб высотой более 150 м.

Рассчитать степень рассеивания вредных веществ в выбросах по данным в табл. 10.9.

## Исходные данные

Номер варианта	Высота трубы
1	5
2	15
3	25
4	35
5	55
6	70
7	90
8	120
9	145
0	145

## Задача 2

1. По исходным данным определить класс предприятия, размер санитарно-защитной зоны.

2. Пользуясь Руководством Р 2.2.2006-05, установить наличие в выбросах вредных веществ, обладающих эффектом суммации действия, и по формуле суммации действия

$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n \leq 1$$

определить кратность превышения ПДК вредных веществ на границе санитарно-защитной зоны: по среднесуточным и максимально разовым фактическим концентрациям.

3. Для трех наиболее загрязняющих воздух вредных веществ определить фактический и максимально допустимый выброс, фактическую и необходимую для соблюдения санитарных норм ПДК, эффективность их рассеивания или очистки.

4. Составить план мероприятий по охране воздушного бассейна для данного предприятия. План должен включать следующие разделы:

а) характеристика и оценка загрязнения атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны и жилой застройки (селитебной зоны);

б) описание действия на организм человека и окружающую среду одного из вредных веществ смеси, наиболее интенсивно загрязняющего воздушный бассейн;

в) обоснование величины максимально допустимого выброса для трех наиболее загрязняющих воздух вредных веществ и размера санитарно-защитной зоны;

г) обоснование применения конкретных типов очистных аппаратов для каждого вредного вещества в соответствии с необходимой для него эффективностью очистки;

д) обоснование ассортимента деревьев и кустарников для высадки в санитарно-защитной зоне предприятия.

### Исходные данные (общие)

Завод по производству портландцемента проектируется в Томском районе ( $A = 140$ ). Предприятие будет выпускать цемент разных марок и, следовательно, выбрасывать в атмосферный воздух через трубу горячие отходящие газы, пыль и аэрозоли. Средняя скорость выхода газовой смеси  $W_0$ . Температура отходящих пыле-газо-аэрозольных выбросов –  $t$  (табл. 10.10). Средняя расчетная температура атмосферного воздуха для января  $T_{в} = -24$  °С.

Таблица 10.10

### Исходные данные (по вариантам)

Вариант	Проектная мощность, т/г	Высота трубы, м	$W_0$ , м <sup>3</sup> /с	$t$ , °С
1	5000	15	600	60
2	10000	20	800	70
3	100000	40	900	80
4	150000	50	950	85
5	200000	70	1000	80

Вариант	Проектная мощность, т/г	Высота трубы, м	$W_0$ , м <sup>3</sup> /с	$t$ , °С
6	175000	60	900	70
7	140000	50	700	60
8	20000	20	600	80
9	50000	30	700	70
0	160000	50	900	60

Качественные и количественные характеристики выбросов (по вариантам) приведены в табл. 10.11.

Таблица 10.11

**Концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу на границе санитарно-защитной зоны**

Вариант	Вещество	Максимальная разовая			Среднесуточная		
		Фактическая	ПДК по СанПин	Кратность	Фактическая	ПДК	Кратность превышения
1	Ацетальдегид	0,1			0,08		
	Винилацетат	0,6			0,25		
	Сероуглерод	0,09			0,04		
	Акролеин	0,3			0,03		
	Сернистый газ	0,8			0,04		
	Диоксид азота	0,14			0,09		
2	Оксид углерода	10,0			5,0		
	Сернистый газ	1,1			0,49		
	Сажа	0,6			0,1		
	Диоксид азота	1,9			0,19		
	Формальдегид	0,04			0,01		
	Пыль нетоксичная	1,1			0,76		

Продолжение табл. 10.11

Вариант	Вещество	Максимальная разовая			Среднесуточная		
		Фактическая	ПДК по СанПин	Кратность	Фактическая	ПДК	Кратность превышения
3	Сернистый газ	3,0			0,75		
	Оксид углерода	6,0			4,75		
	Сажа	0,65			0,09		
	Марганец	0,04			0,02		
	Сероуглерод	0,07			0,02		
	Ванадия пятиокись	0,01			0,05		
4	Дихлорэтан	5,0			2,3		
	Сернистый газ	1,5			0,15		
	Оксид углерода	5,0			2,35		
	Фториды (газы)	0,16			0,09		
	Пыль нетоксичная	4,0			0,64		
	Сажа	0,3			0,05		
5	Оксид углерода	6,0			2,0		
	Пыль нетоксичная	1,0			0,6		
	Сернистый газ	1,1			0,26		
	Сернистая кислота	1,0			0,51		
	Изопропилбензол	0,06			0,02		
	Пропиловый спирт	0,81			0,50		
6	Оксид углерода	5,50			0,50		
	Сернистый газ	0,75			2,40		
	Диоксид азота	0,21			0,11		
	Метанол	2,20			0,09		
	Формальдегид	0,08			0,90		
	Фенол	0,03			0,03		
7	Сернистый газ	1,1			0,50		
	Оксид углерода	7,0			3,70		
	Диоксид азота	0,3			0,10		
	Мышьяк	0,08			0,05		
	Свинец сернистый	0,03			0,01		
	Пыль нетоксичная	2,00			0,25		

Вариант	Вещество	Максимальная разовая			Среднесуточная		
		Фактическая	ПДК по СанПин	Кратность	Фактическая	ПДК	Кратность превышения
8	Сернистый газ	0,8			0,23		
	Сероводород	0,07			0,03		
	Оксид углерода	5,0			1,95		
	Пыль нетоксичная	2,8			1,00		
	Сажа	0,3			0,05		
	Диоксид азота	0,2			0,10		
9	Сернистый газ	1,2			0,52		
	Оксид углерода	6,0			2,75		
	Соляная кислота	4,0			0,20		
	Диоксид азота	0,08			0,06		
	Серная кислота	0,5			0,38		
	Пыль нетоксичная	4,0			2,85		
10	Сернистый газ	0,4			0,02		
	Сероводород	0,2			0,10		
	Акролеин	0,08			0,04		
	Изопропилбензол	0,04			0,04		
	Сажа	4,0			1,73		
	Свинец сернистый	0,05			0,02		

### Задача 3

#### Распространение загрязнителей в атмосферном воздухе

Система мониторинга в рамках экологической экспертизы позволяет проводить анализ эффектов воздействия различных техногенных факторов на окружающую среду. Результаты анализа необходимы для определения различных видов ущерба, выявления критических факторов воздействия и предельно до-

пустимой нагрузки на биоту, включая человека, и другие компоненты экосистем.

Произошел залповый выброс загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии стройиндустрии (табл. 10.12). Рассчитать среднее смещение границы загрязнения атмосферы загрязняющим веществом за 1–10 суток при 20 °С за счет механизма молекулярной диффузии.

Рассеяние загрязнителей в газовой фазе (атмосфере) и жидкой фазе (водной среде) при отсутствии перемешивания фаз (ветра, течений и т. п.) происходит за счет молекулярной диффузии. В таких задачах используется уравнение Эйнштейна и Смолуховского. С его помощью можно приближенно рассчитать среднее смещение ( $\Delta x$ ) загрязняющих веществ:

$$\Delta x = \sqrt{2Dt},$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $t$  – время, с.

*Таблица 10.12*

**Исходные данные для расчета смещения границы  
загрязнения атмосферы**

Вариант	Загрязнитель	$D, \text{см}^2/\text{с}$	$t, \text{сут}$
1	Rn	0,120	10
2	J <sub>2</sub>	0,081	1
3	SO <sub>2</sub>	0,122	5
4	NH <sub>3</sub>	0,227	10
5	CO <sub>2</sub>	0,138	10
6	COCl <sub>2</sub>	0,095	10
7	Бензин	0,091	3
8	Ацетон	0,109	1
9	HCN	0,173	10
0	Cl <sub>2</sub>	0,124	10

## Задача 4

### Расчет интегральных экологических показателей техногенных воздействий

В настоящее время в практике мониторинговых наблюдений используются преимущественно две группы нормативных показателей:

1) *санитарно-гигиенические* (частные прямые критерии – ПДК с учетом токсичности и эффекта суммации действия, ПДВ и т. п.);

2) *экологические*, применяемые для более общей (комплексной) оценки состояния природных и природно-техногенных экосистем, их способности к самоочистке и процессу обмена веществ и энергии.

Критерии оценки экологических опасностей геодинамических деформаций и изменений геологической среды иллюстрируются в табл. 10.13. Исходные данные для оценки состояния геологической среды территории, проектируемой под строительство, представлены в табл. 10.14.

Таблица 10.13

#### Критерии оценки экологических опасностей геологической среды

№ п/п	Показатели	Нормативные параметры*		
		Относительно удовлетворительная ситуация	Зона чрезвычайной ситуации (ст. 58)***	Зона экологического бедствия (ст. 59)***
1	Техногенно индуцированная сейсмичность и деформация горных пород (более 0, 00001**)	2–3	20–40	Более 40–50
2	Механические нарушения горного массива при возведении фундаментов зданий и других видах недропользования. Аномальные деформации горных пород, в отн. ед.	< 0,000001	0,00001	0,0001

№ п/п	Показатели	Нормативные параметры*		
		Относительно удовлетворительная ситуация	Зона чрезвычайной ситуации (ст. 58)***	Зона экологического бедствия (ст. 59)***
3	Просадки земной поверхности, оползни, сели, карсты, обусловленные техногенными нагрузками, % территории	< 5	20–30	> 30

\* Действующие нормативные градации критериев оценки состояния экосистем достаточно условны, так как они разработаны по результатам эмпирических обобщений (глубокого научного обоснования для них не существует). Они ориентированы главным образом для предварительной оценки изменений рельефа и геологической среды на стадии предпроектных проработок.

\*\* Для любых твердых тел существует порог механического разрушения – 0,0001 отн. ед. Исходя из этого, в качестве предельного (критического) уровня геодинамического воздействия для всех типов горных пород принята величина деформации в 0,00001 отн. ед. Именно она применяется при оценке аномальных техногенных деформаций. По результатам анализа пространственно-временного изменения геодинамического состояния геологической среды установлено, что в природно-техногенных геосистемах предельный (критический) уровень деформации в 0,00001 отн. ед. достигается в течение 15–30 лет. Примечательно, что эти сроки соизмеримы с минимальными сроками эксплуатации особо ответственных строительных объектов и сооружений. Нарушение их функционирования может привести (и в настоящее время это происходит все чаще) к критическим экологическим последствиям. Уровень деформации в 0,0001 отн. ед. вызывает самые серьезные геодинамические нарушения в геологической среде и необратимые изменения природных ландшафтов, которые соответствуют зонам экологического бедствия.

\*\*\* В федеральном законе «Об охране окружающей среды» выделены две (из многих) зоны высокого экологического риска, для которых разработаны нормативные экологические критерии. Отнесение исследуемой территории к зоне чрезвычайной экологической ситуации или зоне экологического бедствия осуществляется по одному или нескольким показателям, отражающим более высокую степень экологического неблагополучия.

Таблица 10.14

## Исходные фактические данные

Вариант	1 показатель	2 показатель	3 показатель
1	10	0,00001	4
2	20	0,00001	5

Вариант	1 показатель	2 показатель	3 показатель
3	30	0,00001	25
4	40	0,00001	30
5	50	0,0001	40
6	60	0,0001	35
7	70	0,0001	31
8	40	0,0001	34
9	30	0,00001	28
0	1	0,000001	3

По результатам сравнения исходных фактических показателей своего варианта с нормативными (табл. 10.13) дайте оценку экологического состояния объекта и составьте план мероприятий по уменьшению влияния исследуемых показателей на геодинамическое состояние территории. При разработке мероприятий исходим из того, что именно техногенные факторы усиливают и убыстряют развитие экзогенных геодинамических процессов, доводя их активизацию до катастрофических уровней.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что общего и чем отличаются выделения и выброс в атмосферу ЗВ?
2. Назовите основные технологические операции при механической обработке древесины.
3. Какая технологическая операция с деревом отличается самым высоким выделением древесной пыли?
4. Из чего складывается общая оценка выделения (выброса) ЗВ в атмосферу при деревообработке?
5. В чем заключается суть санитарно-гигиенических критериев, используемых в качестве показателей воздействия техногенных факторов?

6. Что понимается под экологическими критериями?
7. Назовите основные показатели экологических критериев.
8. Чем отличается зона чрезвычайной ситуации от зоны экологического бедствия?

## **Список рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. *Калыгин, В.Г.* Промышленная экология : учеб. пособие / В.Г. Калыгин. – М. : Академия, 2004. – 432 с.
2. *Родионов, А.И.* Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М. : Химия, Колос, 2005. – 392 с.

### **Дополнительная литература**

3. *Анализ объектов окружающей среды.* Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.
4. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.
5. *Безопасные уровни* содержания вредных веществ в окружающей среде. – М. : ВНИИТБХП, 1990. – 301 с.
6. *Временные методические указания* по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности. – Петрозаводск, 1992. – 53 с.
7. *Экологические основы* строительного производства / А.Я. Гаев, В.Е. Нарижная [и др.]. – Свердловск, 1990. – 180 с.
8. *Зайцев, В.А.* Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М., 2000. – 130 с.
9. *Макаров, С.В.* Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза». В 2-х ч. / С.В. Макаров, Д.В. Жаворонков. – М. : Изд-во «Дели», 2000 – 107 с.

10. *Методика расчета* выделений и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при нанесении лакокрасочных материалов. – СПб. : НИИ «Атмосфера», 1997. – 120 с.

11. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – 135 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени сформированы основные структуры модели *геоэкологического образования*, которая базируется на принципах концепции устойчивого развития – Sustainable Development, принятой международным сообществом в 1992 г. Каждая сфера человеческой деятельности теперь получает экологическое измерение. Парадокс ситуации на сегодняшний день в том, что пределы природы, окружающей нас, практически уже давно позади, а общество оказывается неподготовленным к должному восприятию этого факта.

Перспективы геоэкологического образования сегодня связаны, на наш взгляд, с устранением ряда разногласий в методических подходах в смежных областях знаний и повышении роли геоэкологии в создании новых отношений человека с биосферой. Настоящее учебное пособие будет полезно в осознании экологического императива и распространении идей приоритета биосферного подхода в хозяйственной деятельности, рациональном использовании природных сырьевых ресурсов и поддержании среды жизни в здоровом и благополучном состоянии для нас и потомков.

Проблемы загрязнения жизненной среды являются, конечно, важными, но далеко не исчерпывающими, хотя в развитых странах противозагрязнительной технике уделялось очень серьезное внимание почти 20 лет (после отчета Римского Клуба и до принятия концепции устойчивого развития). Настало время задуматься о построении нового типа отношений с окружающей средой, уйти от отраслевой экономики и потребительского отношения в направлении комплексного безотходного и экологически приемлемого производства и положить начало партнерскому и паритетному типу отношений. На создание отношений с природой данного типа у нас очень ограниченное время, что еще раз подчеркивает актуальность геоэкологического образования.

Геоэкологическое образование позволяет овладеть основами современной мировоззренческой парадигмы, поскольку сама геоэкология теперь становится все более междисциплинарным научным направлением. Интегрируя в себя научные концепции и парадигмы, характерные для состоявшихся классических наук, она расширяет возможности системного анализа и в результате выходит на уровень мировоззренческой или общенаучной парадигмы.

С позиции идей системного анализа каждая экосистема, вплоть до биосферы, является сложной системой, в которой реальные зависимости между элементами едва ли могут быть описаны линейными функциями. Процессы, протекающие в сложных системах, недетерминированы, большей частью стохастичны. Сложные системы характеризуются наличием большого количества цепей обратных связей – положительных и отрицательных – между причинно обусловленными элементами систем. Раскрытие этих связей и создание имитационных математических моделей с учетом действующих нормативов – основная цель геоэкологического образования.

Количество учитываемых факторов постоянно увеличивалось, и содержание науки усложнялось. Акад. В.И. Вернадский первый прозорливо высказал научную гипотезу о связи органического мира с геологической историей литосферы. И только теперь пришло время реализации этой гипотезы. Процесс начат с обоснования понятия «геологической среды» и ее «экологических функций». Знание или предсказание будущего невозможно без изучения геологической истории биосферы. Современная геоэкология включает в себя не один, т. е. современный исторический срез на уровне одной-двух человеческих жизней, а полную геологическую историю биосферы, пережившую еще до появления млекопитающих и *Homo Sapiens* целый ряд глобальных экологических кризисов. Эти кризисы зафиксированы в палеонтологии, палеогеографии и исторической геологии в виде массовых вымираний руководящих родов и видов, на смену которым зарожда-

ются новые, более сложные формы. Нынешний кризис принципиально отличается от предыдущих глобальных кризисов тем, что он вызван не природными факторами, а человеком.

С позиции системного анализа тоже вполне справедливо представление о том, что каждое данное состояние какого-либо элемента системы определяется всей историей ее существования, всем множеством взаимных связей других элементов, влиявших, влияющих и способных влиять в будущем на состояние этого элемента.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная литература

1. *Градостроительный кодекс* Российской Федерации. – М. : Омега-Л., 2005. – 96 с.
2. *Калыгин, В.Г.* Промышленная экология : учеб. пособие / В.Г. Калыгин. – М. : Академия, 2004. – 432 с.
3. *Мониторинг* и экологическая экспертиза : программа, методические указания и контрольные задания для студентов / сост. А.В. Мананков. – Томск : ТГАСУ, 2006. – 38 с.
4. *Родионов, А.И.* Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М. : Химия, Колос, 2005. – 392 с.
5. *СанПиН 2.1.4.1110-02.* Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 2002.
6. *СНиП 11-02-96.* Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1996.
7. *СП 11-102-97.* Инженерно-экологические изыскания для строительства. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997.
8. *СНиП 11-01-2003.* Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительном предприятии. Постановление Госстроя России от 09.03. 2004 № 43.
9. *Федеральный закон* Российской Федерации «Об охране окружающей среды» от 10.01. 2002 № 7-ФЗ.

### Дополнительная литература

10. *Анализ объектов* окружающей среды. Инструментальные методы / под ред. Р. Сониасси. – М. : Мир, 1993. – 80 с.

11. *Афанасьев, Ю.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1 / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

12. *Безопасные уровни* содержания вредных веществ в окружающей среде. – М. : ВНИИТБХП, 1990. – 301 с.

13. *Экологические основы* строительного производства / А.Я. Гаев, В.Е. Нарижная [и др.]. – Свердловск, 1990. – 180 с.

14. *Зайцев, В.А.* Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М., 2000. – 130 с.

15. *Критерии оценки* экологической обстановки территорий / под ред. Н.Г. Рыбальского. – М. : МПР России, 1992. – 76 с.

16. *Макаров, С.В.* Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза». В 2-х ч. / С.В. Макаров, Д.В. Жаворонков. – М. : Изд-во «Дели», 2000 – 107 с.

17. *Методические указания* по оценке степени загрязнения почвы химическими веществами. – М., 1987. – 23 с.

18. *Приказ Минприроды РФ* «Об утверждении единой формы заключения государственной экологической экспертизы» от 28.09.1995 № 392.

19. *Растоскуев, В.В.* Информационные технологии экологической безопасности. [Электронный ресурс] / В.В. Растоскуев. – Условие доступа : <http://www.ecosafe.nw.ru/win/ENV/Readme.htm>

20. *Растоскуев, В.В.* Экспертная система для обработки данных контроля загрязнений атмосферы / В.В. Растоскуев. – СПб., 1997. – 261 с.

21. *Сборник методик* по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л. : Гидрометеиздат. 1986. – 135с.

22. *Закон Томской области* «Об экологической экспертизе в Томской области» от 24.07.1997 № 506.

23. *Закон Томской Области* «Об экологическом аудите в Томской области» от 27.08.1997 № 574.

24. *Руководство* по экологической экспертизе предпроектной и проектной документации. Утв. нач. Главгосэкоэкспертизы Минприроды России 10.12.1993. – М., 1993. – 64 с.

25. *Экологическое право* / под ред. И.И. Гучкова. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 415 с.

26. *Постановление Правительства РФ* «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» от 24.11.93 № 1229.

27. *Федеральный закон Российской Федерации* «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174 –ФЗ (с изменениями от 31.12.2005 № 199–ФЗ).

*УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ*

*АНАТОЛИЙ ВСИЛЬЕВИЧ МАНАНКОВ*

**ГЕОЭКОЛОГИЯ.  
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Учебное пособие

Редактор Е.А. Кулешова  
Технический редактор Н.В. Удлер

Подписано в печать 21.05.2010.  
Формат 60×90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Уч.-изд. л. 10,74. Усл. печ. 11,86. Тираж 360 экз. Заказ № 196.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.