

И. В. СЕМЕНОВА

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

*Учебное пособие  
для студентов  
высших учебных заведений*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2009

УДК 574.4/.5(075.8)

ББК 20.1я73

С302

Рецензенты:

профессор, доктор технических наук, президент Академии промышленной экологии *М.Х.-Г. Ибрагимов*;

доктор технических наук, зав. лабораторией Московского энергетического института (Технического университета) *В.В. Куличихин*

**Семенова И. В.**

С302 Промышленная экология : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. В. Семенова. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 528 с.

ISBN 978-5-7695-4903-8

В пособии изложены вопросы организации производственных процессов, построения технологических систем, определены критерии оценки эффективности и экологической безопасности технологических процессов; сформулированы основные принципы создания новых и реконструкции существующих производств; представлены научные основы комплексной переработки сырья, создания безотходных и малоотходных производств, организации замкнутых материальных и энергетических циклов. С позиций новейших научных достижений рассмотрены методы очистки и утилизации отходов производства, технологические процессы и пути решения экологических проблем на примере производственных процессов, внедренных на отечественных заводах в последние годы.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 574.4/.5(075.8)

ББК 20.1я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Семенова И. В., 2009

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2009

ISBN 978-5-7695-4903-8

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2009

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                   |   |
|-------------------|---|
| Предисловие ..... | 3 |
| Введение .....    | 6 |

## Часть I

### Общие вопросы. Природные системы. Производственные процессы

|  |    |
|--|----|
| Глава 1. Современное общество и окружающая среда .....   | 9  |
| 1.1. Рост народонаселения .....  | 9  |
| 1.2. Загрязнение окружающей среды .....  | 10 |
| 1.3. Концепция устойчивого развития .....  | 13 |
| 1.4. Социально-этические проблемы охраны окружающей среды .....                                | 14 |
| 1.5. Международное сотрудничество и природоохранное<br>законодательство .....                  | 17 |
| Глава 2. Природные системы .....   | 23 |
| 2.1. Природные экологические системы .....   | 23 |
| 2.2. Природно-технические экологические системы .....  | 25 |
| 2.3. Условия функционирования природно-технических экологических<br>систем .....               | 26 |
| Глава 3. Промышленные производства .....   | 32 |
| 3.1. Структура производства .....  | 32 |
| 3.2. Технологические параметры и критерии эффективности процесса ...                           | 35 |
| 3.2.1. Технологические параметры процесса .....  | 35 |
| 3.2.2. Критерии эффективности производственного процесса .....                                 | 36 |
| 3.3. Экологические показатели производства<br>и порядок их нормирования .....                  | 40 |
| 3.4. Технологические системы .....   | 48 |
| 3.4.1. Модели технологических систем .....   | 51 |
| 3.4.2. Анализ технологических систем .....   | 53 |
| 3.4.3. Синтез и построение технологических систем .....  | 55 |
| 3.5. Безотходные производства .....  | 56 |
| 3.6. Принципы создания природоохранных производств .....                                       | 59 |
| 3.6.1. Концепция полного использования сырья .....   | 60 |
| 3.6.2. Разработка новых природоохранных технологий<br>и организация технологических схем ..... | 61 |
| 3.6.3. Создание замкнутых производственных циклов .....  | 64 |
| 3.7. Комплексное использование сырья<br>и вторичных ресурсов .....                             | 65 |

|   |    |
|---|----|
| 3.7.1. Характеристика сырья .....                             | 65 |
| 3.7.2. Методы обогащения сырья .....                          | 66 |
| 3.7.3. Комплексное использование сырья .....                  | 69 |
| 3.8. Вторичные энергетические ресурсы .....                   | 74 |
| 3.9. Энерготехнологические схемы .....                        | 77 |
| 3.10. Безотходные территориально-промышленные комплексы ..... | 79 |

## Часть II

### Техногенные выбросы

|   |     |
|---|-----|
| Глава 4. Газовые техногенные выбросы .....  | 81  |
| 4.1. Общая характеристика и масштабы поступления газовых выбросов в атмосферу .....       | 82  |
| 4.2. Закономерности распространения газов в атмосфере .....                               | 85  |
| 4.3. Химические изменения газовых выбросов в атмосфере .....                              | 89  |
| 4.4. Вещества, вызывающие глобальные изменения окружающей среды .....                     | 94  |
| 4.5. Международное сотрудничество в области ограничения глобальных выбросов .....         | 99  |
| 4.6. Методы очистки газовых выбросов от гетерогенных примесей .....                       | 100 |
| 4.6.1. Механические методы очистки .....  | 102 |
| 4.6.2. Метод фильтрации .....   | 106 |
| 4.6.3. Электростатические методы очистки .....  | 107 |
| 4.7. Очистка газовых выбросов от гомогенных примесей .....                                | 108 |
| 4.7.1. Метод абсорбции .....  | 108 |
| 4.7.2. Метод адсорбции .....  | 110 |
| 4.7.3. Метод конденсации .....  | 111 |
| 4.7.4. Реагентные методы очистки .....  | 111 |
| 4.8. Эколого-токсикологическая характеристика основных компонентов газовых выбросов ..... | 114 |
| 4.8.1. Водород .....  | 114 |
| 4.8.2. Соединения углерода .....  | 116 |
| 4.8.3. Соединения серы .....  | 120 |
| 4.8.4. Соединения азота .....   | 124 |
| 4.8.5. Соединения фтора .....   | 126 |
| 4.8.6. Соединения хлора .....   | 130 |
| 4.9. Методы очистки отходящих газов от сероводорода и сероуглерода .....                  | 135 |
| 4.9.1. Методы абсорбции .....   | 136 |
| 4.9.2. Окислительные методы очистки газов от сероводорода .....                           | 137 |
| 4.9.3. Совместная очистка газов от сероводорода и сероуглерода .....                      | 138 |
| Глава 5. Природные и промышленные воды .....  | 140 |
| 5.1. Природные воды .....   | 141 |
| 5.1.1. Состав природных вод .....   | 142 |
| 5.1.2. Макрокомпонентный состав воды .....  | 145 |
| 5.1.3. Микрокомпонентный состав природных вод .....                                       | 146 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.4. Растворенные газы .....   | 148        |
| 5.1.5. Взвеси .....  | 150        |
| 5.1.6. Соединения кремния в природных водах .....  | 152        |
| 5.1.7. Соединения железа в природных водах .....   | 154        |
| 5.1.8. Биологические составляющие воды .....   | 159        |
| 5.1.9. Микробиологические показатели .....   | 162        |
| 5.2. Сточные воды .....  | 163        |
| 5.3. Методы водоподготовки и водоочистки .....   | 165        |
| 5.3.1. Методы коагуляции и флокуляции .....  | 166        |
| 5.3.2. Примеры применения методов коагуляции и флокуляции<br>в технологических процессах ..... | 172        |
| 5.3.3. Методы фильтрации .....   | 177        |
| 5.3.4. Метод адсорбции .....   | 180        |
| 5.3.5. Метод ионного обмена .....  | 183        |
| 5.3.6. Окислительно-восстановительные методы .....   | 190        |
| 5.3.7. Методы очистки, основанные на фазовых превращениях .....                                | 196        |
| 5.3.8. Электрохимические методы очистки .....  | 197        |
| 5.3.9. Биологические методы очистки воды .....   | 204        |
| 5.4. Отложения и коррозия в системах водоснабжения .....                                       | 209        |
| 5.5. Замкнутые водооборотные циклы .....   | 214        |
| 5.5.1. Методы создания замкнутых систем водоснабжения .....                                    | 215        |
| <b>Глава 6. Твердые отходы производства и потребления .....</b>                                | <b>223</b> |
| 6.1. Твердые бытовые отходы .....  | 227        |
| 6.2. Твердые промышленные отходы .....   | 234        |
| 6.3. Радиоактивные отходы .....  | 246        |

### Часть III

#### **Технико-экологическая характеристика отраслей народного хозяйства**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Глава 7. Энергетическая промышленность .....</b>  | <b>252</b> |
| 7.1. Характеристика отрасли .....  | 252        |
| 7.1.1. Топливо-сырьевые ресурсы России .....   | 254        |
| 7.2. Тепловые электростанции .....   | 257        |
| 7.2.1. Твердые отходы ТЭС .....  | 259        |
| 7.2.2. Утилизация твердых отходов ТЭС .....  | 262        |
| 7.2.3. Сточные воды энергетических предприятий .....   | 263        |
| 7.2.4. Газовые выбросы. Очистка дымовых газов от взвешенных<br>частиц .....                  | 269        |
| 7.2.5. Снижение содержания серы в топливе .....  | 270        |
| 7.2.6. Физико-химические способы очистки газов<br>от оксидов серы .....                      | 276        |
| 7.2.7. Образование соединений азота, фтора и мышьяка<br>и очистка от них дымовых газов ..... | 285        |
| 7.3. Атомные электрические станции .....   | 286        |
| 7.3.1. Физико-химические основы процесса получения<br>ядерной энергии .....                  | 287        |
| 7.3.2. Экологические аспекты атомной энергетики .....  | 289        |

|  |            |
|--|------------|
| 7.3.3. Очистка газовых и жидких выбросов АЭС .....   | 291        |
| 7.4. Современные природоохранные технологии<br>в энергетической промышленности .....   | 292        |
| 7.4.1. Противоточный метод водоподготовки по технологии<br>UP.CO.RE фирмы «Dow Chemical» (США) .....   | 293        |
| 7.4.2. Метод коррекционной обработки воды по технологии фирмы<br>«HYDRO-X A/S», Дания .....  | 295        |
| <b>Глава 8. Газонефтедобывающий комплекс .....</b>   | <b>305</b> |
| 8.1. Экологические аспекты газонефтедобывающей отрасли .....   | 307        |
| 8.2. Нефть. Состав, свойства, биогеохимическая и экологи-<br>токсикологическая характеристика .....  | 309        |
| 8.2.1. Состав нефти .....  | 309        |
| 8.2.2. Биохимическое поведение нефти в водной среде .....  | 312        |
| 8.2.3. Источники поступления нефти и ее производных<br>в окружающую среду .....  | 316        |
| 8.2.4. Содержание и распределение нефти в морских<br>экосистемах .....   | 317        |
| 8.2.5. Содержание нефтепродуктов в донных отложениях .....   | 318        |
| 8.2.6. Накопления нефтепродуктов в морских организмах .....  | 319        |
| 8.2.7. Токсикологические и пороговые концентрации нефти .....  | 319        |
| 8.3. Газовые месторождения. Биогеохимическая и экологи-<br>токсикологическая характеристика .....  | 323        |
| 8.3.1. Происхождение и состав природного газа .....  | 323        |
| 8.3.2. Источники поступления газообразных углеводородов<br>в окружающую среду .....  | 325        |
| 8.3.3. Эколого-токсикологическая характеристика природного<br>газа .....   | 327        |
| 8.3.4. Эколого-токсикологическая характеристика газоконденсата<br>и газогидратов .....   | 329        |
| 8.4. Технология освоения и разработки газовых и нефтяных<br>месторождений .....  | 330        |
| 8.4.1. Этапы освоения и эксплуатации газонефтяных<br>месторождений .....   | 330        |
| 8.4.2. Отходы производства .....   | 332        |
| 8.5. Аварийные ситуации .....  | 337        |
| 8.6. Экологические стандарты и нормативы. Международное<br>сотрудничество .....  | 340        |
| 8.7. Ресурсосберегающие технологии. Комплексная переработка<br>сырья Астраханского газоконденсатного месторождения<br>(проект фирмы «Текнип», Франция) ..... | 342        |
| 8.7.1. Общая характеристика процесса .....   | 343        |
| 8.7.2. Процесс получения товарного газа .....  | 346        |
| 8.7.3. Процесс стабилизации конденсата .....   | 351        |
| 8.7.4. Процесс получения серы .....  | 352        |
| <b>Глава 9. Нефтеперерабатывающая промышленность .....</b>   | <b>360</b> |
| 9.1. Характеристика отрасли .....  | 360        |
| 9.2. Технологические процессы переработки нефти .....  | 362        |

|   |            |
|---|------------|
| 9.3. Перегонка нефти .....  | 366        |
| 9.4. Физико-химические основы высокотемпературной переработки нефти .....   | 373        |
| 9.4.1. Термический крекинг нефти .....  | 374        |
| 9.4.2. Каталитический крекинг .....   | 375        |
| 9.4.3. Каталитический реформинг .....   | 376        |
| 9.5. Гидроочистка .....   | 378        |
| 9.6. Пиролиз .....  | 378        |
| 9.7. Специфические компоненты сточных вод нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности .....  | 380        |
| 9.8. Отходы производства .....  | 382        |
| 9.9. Нормы и контроль за сбросом сточных вод .....  | 385        |
| 9.10. Технология проведения очистки и утилизации отходов нефтеперерабатывающих заводов .....  | 386        |
| 9.10.1. Технология проведения процесса обезжиривания .....  | 387        |
| 9.10.2. Физико-химическая очистка масляных вод .....  | 388        |
| 9.10.3. Биологическая очистка жидких отходов нефтепереработки .....   | 389        |
| 9.10.4. Переработка промышленных шламов .....   | 391        |
| <b>Глава 10. Нефтехимическая промышленность .....</b>   | <b>394</b> |
| 10.1. Характеристика отрасли .....  | 394        |
| 10.2. Отходы нефтехимических производств .....  | 395        |
| 10.2.1. Токсичные примеси в сточных водах нефтехимических производств .....   | 395        |
| 10.2.2. Специальные виды обработки сточных вод .....  | 396        |
| 10.3. Сточные воды в производстве этилбензола .....   | 397        |
| 10.4. Производство стирола. Жидкие отходы .....   | 399        |
| 10.5. Высокомолекулярные соединения .....   | 402        |
| 10.5.1. Производство полиэтилена .....  | 403        |
| 10.5.2. Производство полипропилена. Характеристика отходов .....  | 404        |
| 10.5.3. Производство полистирола. Характеристика отходов .....  | 406        |
| 10.6. Современные природоохранные технологии. Производство высококачественного моторного топлива по технологии фирмы «ABB Lummus Global», Дания ..... | 408        |
| 10.6.1. Процесс гидроочистки .....  | 410        |
| 10.6.2. Производство высокочистого водорода из природного газа .....  | 413        |
| <b>Глава 11. Химическая промышленность .....</b>  | <b>420</b> |
| 11.1. Характеристика отрасли .....  | 420        |
| 11.2. Экологические аспекты химической промышленности .....   | 424        |
| 11.3. Производство серной кислоты .....   | 427        |
| 11.3.1. Твердые отходы .....  | 429        |
| 11.3.2. Жидкие отходы .....   | 432        |
| 11.3.3. Газовые выбросы .....   | 432        |
| 11.4. Азотная промышленность .....  | 436        |
| 11.4.1. Производство аммиака .....  | 436        |
| 11.4.2. Отходы при производстве азотной кислоты .....   | 438        |
| 11.5. Производство удобрений .....  | 450        |

|  |     |
|--|-----|
| 11.5.1. Фосфорные удобрения. Характеристика отходов .....  | 451 |
| 11.5.2. Калийные удобрения. Характеристика отходов .....   | 463 |
| 11.6. Производство кальцинированной соды,<br>щелочи и хлора .....  | 467 |
| 11.6.1. Производство кальцинированной соды .....   | 467 |
| 11.6.2. Производство щелочи и хлора. Характеристика отходов .....  | 468 |
| 11.6.3. Абгазный хлористый водород и методы его очистки .....  | 474 |
| 11.7. Современные ресурсосберегающие технологии .....  | 478 |
| 11.7.1. Безотходная технология производства<br>металлического кальция .....  | 478 |
| 11.7.2. Технология комплексной переработки газообразных<br>и жидких серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих<br>предприятий по технологии «Haldor Topsoe», Дания ..... | 483 |
| Список литературы .....  | 496 |
| Приложение .....   | 500 |
| Список сокращений .....  | 503 |
| Основные обозначения .....   | 505 |
| Предметный указатель .....   | 507 |



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в настоящее время настолько важны, что практически в любой сфере производственной деятельности имеется потребность в специалистах этого профиля.

Учебная дисциплина «Промышленная экология» в качестве федерального компонента входит в блок общепрофессиональных дисциплин Государственного образовательного стандарта по подготовке инженеров по специальностям «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Инженерная защита окружающей среды» и «Безопасность технологических процессов и производств». Кроме того, «Промышленная экология» входит в состав дисциплин ряда инженерных специальностей.

Промышленная экология — это современное бурно развивающееся направление в науке и технике, целью которой является охрана окружающей среды путем рационального и комплексного использования сырья и энергетических ресурсов. Устойчивое развитие современной цивилизации предполагает создание такой эколого-экономической системы, которая смогла бы удовлетворить потребности общества, но не ставила бы при этом под угрозу существование будущих поколений. Решение этой проблемы возможно путем разработки и принятия ряда инженерных решений, которые позволили бы по аналогии с природным биохимическим кругооборотом организовать безотходный технологический цикл: первичные сырьевые ресурсы — производство — потребление — вторичные сырьевые ресурсы.

Материал учебного пособия изложен на основе современных физико-химических методов изучения технологических процессов, анализа и синтеза построения ресурсосберегающих мало- и безотходных производств.

В качестве основных отраслей экономики рассмотрены энергетическая, газонефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, нефтехимическая и химическая промышленность. Эти отрасли являются важнейшими в российской экономике, они обеспечивают более 80 % валютных поступлений.

Учебное пособие состоит из трех частей.

Часть I посвящена рассмотрению природных систем, иерархии построения производственных процессов. Показано, что предме-

том изучения промышленной экологии является эколого-экономическая система, изучающая взаимосвязь и взаимозависимость промышленного производства и среды обитания живых организмов. Выявлены внутренние связи производств, показаны принципы построения технологических схем, определены критерии технологической и экологической оценки их работы, приведены примеры комплексной переработки сырья и показана возможность организации межпроизводственных территориальных комплексов. Для лучшего понимания данных вопросов требуются знания, полученные студентами при изучении физической химии, биотехнологии и общей химической технологии.

Часть II знакомит читателей с отдельными видами техногенных отходов. Даны описания методов, технологий и аппаратуры для их утилизации и очистки. Усвоение этого материала основано на знаниях физической химии, коллоидной химии, процессов и аппаратов.

Часть III посвящена изложению технико-экологической характеристики отдельных отраслей промышленности. Рассмотрены физико-химические основы современных технологических процессов, характер экологических проблем, предлагаются пути их решения.

Основу учебного пособия составили лекции, которые автор более 40 лет читал в Московском государственном открытом университете, материалы дипломных, научных и методических разработок, выполненные под руководством автора и частично опубликованные в более ранних учебных изданиях. Более 10 лет студенты-дипломники МГОУ при прохождении курса специализации занимаются изучением новых природоохранных технологий, в которых реализованы современные принципы создания мало- и безотходных производств. В большинстве случаев технологии закуплены по лицензии за границей и внедрены на российских заводах в 2000—2007 гг. Студенты выполняют по ним дипломные проекты и работы. Результаты этих работ включены в 7, 8, 10 и 11 главы книги.

Учебное пособие предназначено для студентов технологических и политехнических институтов, университетов и академий, получающих образование по направлению защиты окружающей среды. Будет полезно студентам машиностроительных, энергетических, нефтехимических и других технических специальностей, а также аспирантам, слушателям институтов повышения квалификации, работникам проектных организаций и промышленных предприятий.

Автор выражает благодарность ученым и преподавателям РХТУ им. Д. И. Менделеева, МГУ им. М. В. Ломоносова, МЭИ (ТУ), МГТУ им. Н. Э. Баумана, Всесоюзного научно-исследовательского института рыболовства и океанографии (ВНИРО), Института общей

неорганической химии им. Н. С. Курнакова (ИОНХ) РАН, Московского государственного открытого университета (МГОУ), высказавшим ряд замечаний и пожеланий, которые были учтены при ее доработке.

Книга рассчитана на разнообразные варианты изучения дисциплины «Промышленная экология» для подготовки специалистов различных форм и сроков обучения с учетом региональных особенностей учебных планов.

## ВВЕДЕНИЕ

**Биосфера** — область распространения жизни на Земле, включающая часть литосферы, гидросферу (воды рек, озер и морей), а также нижнюю часть атмосферы, которую называют тропосферой. Все эти части биосферы населены представителями флоры и фауны.

Биосфера представляет собой равновесную систему, в которой процессы обмена веществ и энергии происходят за счет жизнедеятельности живых организмов и хорошо сбалансированы.

Техногенное воздействие нарушает данное равновесие. До определенного момента это воздействие сглаживается природными процессами, происходящими в биосфере. Происходит самоочищение и самовосстановление природной среды.

Однако в последнее время масштабы деятельности человека значительно возросли и достигли глобальных размеров. Биосфера начала разрушаться. Отравляются атмосфера и водоемы, уничтожаются флора и фауна, происходит лавинное антропогенное загрязнение почвенных покровов, истощаются в ряде регионов водные и лесные ресурсы. Атмосфера в еще большей степени загрязняется оксидами серы, азота, углерода, пылевидными частицами. В природные водоемы непрерывно поступают нефть, отходы промышленных предприятий.

Все возрастающее разрушительное воздействие антропогенных факторов на окружающую среду привело ее на грань кризиса, поэтому проблема защиты окружающей среды становится важнейшей задачей современного общества.

В связи с этим резко увеличивается роль промышленной экологии. Она призвана на основе оценки степени вреда, приносимого человечеству промышленной урбанизацией, разрабатывать и внедрять новые инженерно-технические средства защиты окружающей среды, развивать основы создания замкнутых малоотходных и безотходных производств.

Проблема охраны окружающей среды носит глобальный характер и поэтому должна решаться применительно как к отдельному предприятию или региону, так и к территории страны в целом, а в отдельных случаях к всему земному шару.

Охрана среды обитания носит комплексный характер, определяемый сложностью системы, составными частями которой являются природа, общество и производство. Оптимальное развитие и

управление этой системой должно учитывать социальные, технические, экономические и правовые аспекты проблемы.

Такой системный принцип лежит в основе построения настоящего учебного пособия.

Современная деятельность человека связана с ростом производства и глобальным использованием запасов Земли. Это приводит к исчерпанию природных ресурсов, возникновению экологического иммунодефицита окружающей среды и подавлению механизмов саморегулирования и самоочищения биосферы. Преодолеть эти противоречия и найти оптимальный механизм взаимного сосуществования и удовлетворения потребностей призвана промышленная экология.

**Промышленная экология** — наука, изучающая взаимозависимость промышленного производства с представителями биосферы, определяющая наиболее рациональные и экономичные методы и средства формирования и управления производством с сохранением механизмов саморегуляции объектов биосферы.

Промышленная экология является комплексной, многоплановой дисциплиной и базируется на знаниях, полученных при изучении фундаментальных химических, общеинженерных, экономических и правовых дисциплин.

**Основная цель курса** — формирование у студентов системы знаний по превентивности, обоснованию и реализации природоохранных и ресурсосберегающих решений во всех сферах производственной деятельности.

**Основная задача курса** — разработка и освоение научной методологии дисциплины «Промышленная экология», включающей следующие основополагающие инженерно-экологические направления:

- разработка и классификация объективных критериев оценки состояния равновесия в системе «человек — окружающая среда — промышленный объект»;

- изучение способов и средств получения экологической информации по конкретным природно-техническим системам;

- создание природоохранных и ресурсосберегающих технологий;

- разработка методов опережающего планирования природоохранных мероприятий при проектировании и строительстве технических объектов;

- разработка способов экономического и морально-этического стимулирования природоохранной деятельности.

В результате изучения дисциплины «Промышленная экология» студенты должны *знать*:

- показатели, определяющие состояние и характер изменения окружающей среды под воздействием техногенных и антропогенных факторов;

- принципы построения природоохранных и ресурсосберегающих промышленных технологий;
- современные конструкции аппаратов и характеристику коррозионно-стойких материалов;
- экономические аспекты охраны природы;
- основы природоохранного законодательства.

Используя эти знания, студенты должны *уметь*:

- оценить характер и степень влияния антропогенных факторов на окружающую среду;
- выбрать и обосновать природоохранные мероприятия при эксплуатации промышленных объектов;
- разработать природоохранные и ресурсосберегающие технологии, обосновать конструкцию аппаратов и выбор конструктивного материала;
- разработать систему экономического и правового регламентирования природоохранной деятельности конкретного технического объекта.

# Часть I

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ. ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

---

### Глава 1

#### СОВРЕМЕННОЕ ОБЩЕСТВО И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Увеличение численности населения Земли, экстенсивное развитие экономики и связанное с этим загрязнение окружающей среды являются основными проблемами нашей цивилизации на современном уровне ее развития. На решение вопросов охраны окружающей среды и обеспечения достойной жизни будущих поколений направлены усилия ученых, общественных и политических деятелей.

#### 1.1. Рост народонаселения

Численность населения Земли быстро растет: в 1700 г. — 600 млн чел., в 1850 г. — 1,2 млрд чел., в 1950 г. — 2,5 млрд чел., в 1993 г. — 5,6 млрд чел., в 2007 г. — 6,7 млрд чел.

В развивающихся странах рост населения опережает данный показатель в развитых странах. Ожидается, что к 2030 г. 84 % населения планеты будет жить в развивающихся странах.

При этом все значительнее разрыв между доходами и уровнем жизни богатой и бедной частями населения. На долю 20 % наиболее богатой части населения планеты приходится 83 % мирового дохода, а на долю остальных 80 % населения — только 17 %. Разрыв между 20 % наиболее богатой и 20 % наиболее бедной групп населения быстро нарастает. Если в 1960 г. он составлял 30 : 1, то в 1990 г. — 60 : 1. В России децильный коэффициент (отношение доходов 10 % наиболее богатых к 10 % беднейшей части населения) до начала перестройки составлял 4 : 1. В настоящее время данный показатель официально определен как 40 : 1, а реально — значительно выше.

Одним из показателей благополучия населения является уровень потребления электроэнергии. Средняя мощность, приходящаяся на душу населения, составляет, кВт/чел.: в США — 12; в России — около 6; в развивающихся странах ~0,6 (в мире ~2,2).

В то же время обеспеченность энергией в разных странах мира крайне неравномерна. Для большинства населения планеты (72 %) удельный уровень потребления энергии ниже среднего значения, из них около 2 млрд чел. вообще лишены электроснабжения. На 25 % населения высокоразвитых стран приходится более 70 % потребляемых в мире энергоресурсов.

Сложившаяся ситуация является стимулом для дальнейшего развития производства, поскольку общество не может развиваться без потребления.

Потребности людей растут более быстрыми темпами, чем численность населения. Так, если за последнюю четверть XX в. численность населения планеты возросла в 1,6 раза, то объемы основных производств — в 2—5 раз. Расширяется ассортимент, повышается качество, увеличивается количество потребительских товаров. Простое увеличение масштабов производства экономически нерационально и экологически опасно.

## **1.2. Загрязнение окружающей среды**

Промышленное производство во всех странах мира непрерывно развивается. В связи с этим увеличивается количество потребляемых природных ресурсов и объем вредных выбросов, губительно воздействующих на биосферу и человека.

Становление и развитие промышленной экологии относится к 60-м годам XX в. К этому времени академик И. В. Петрянов-Соколов провел всестороннее исследование по развитию промышленности и образованию отходов во многих странах мира, начиная с 1910 г. Согласно сделанным им заключениям, на начальных этапах развития промышленности увеличение роста отходов происходит пропорционально развитию производства. Затем закономерность нарушается, и количество отходов начинает увеличиваться по отношению к росту производства по экспоненциальному закону. Это свидетельствует о том, что на начальных этапах использовалась способность природы к самоочищению, а затем была исчерпана.

Развитие производства невозможно без применения природных ресурсов. Ежегодно человечество расходует миллиарды тонн природных богатств — уголь, руду, нефть, строительные материалы, водные ресурсы.

Нефть и газ остаются главными природными источниками, удовлетворяющими потребности человечества в энергии. В мировых запасах горючих ископаемых нефть составляет 10 %, а уголь — 70 %. В настоящее время эксплуатируют около 10—15 % запасов разведанных угольных месторождений и около 65—70 % — нефтяных.

Высокие темпы добычи нефти и газа превратили их в опасные источники загрязнения окружающей среды. Чем больше масшта-



бы добычи и транспортировки, тем выше вероятность возникновения аварий и экологических катастроф. Об этом свидетельствуют многочисленные аварии с участием нефтеналивных танкеров и разрывы нефтепроводов.

Установлено, что на каждого жителя планеты добывается порядка 20 т/год минерального сырья. При этом менее 10 % сырьевых компонентов превращаются в конечную продукцию, а остальные 90 % переходят в отходы. Расходы на обезвреживание и переработку отходов в настоящее время составляют 8—10 % от стоимости производимой продукции и продолжают возрастать по экспоненциальному закону.

Образующиеся отходы представляют большую опасность для природной экосистемы Земли. Существует несколько проблем, с которыми приходится сталкиваться специалистам при изучении этого вопроса:

- при организации производства образуется большой объем веществ, которые переходят в отходы и выбрасываются в атмосферу Земли. По данным различных источников, ежегодно в атмосферу нашей планеты выбрасывается до 25 млн т пыли; до 70 млн т оксидов азота; около 100 млн т соединений серы; 5,5—14 млрд т диоксида углерода. Кроме того, в воздух попадают и особо токсичные вещества, оказывающие канцерогенное и мутагенное воздействие;

- в настоящее время производятся многообразные соединения, имеющие различные состав и свойства. В отходах производств, как правило, наблюдается низкая концентрация токсичных веществ, что затрудняет разработку унифицированных способов их обезвреживания и утилизации. В промышленных выбросах токсичные вещества присутствуют в легко усвояемой форме и наиболее агрессивно воздействуют на окружающий мир;

- освоено синтезирование новых высокотоксичных веществ, способы переработки которых в природе неизвестны. К ним относятся, например, поверхностно-активные вещества (ПАВ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), ксенобиотики, диоксины, химические отравляющие вещества, гербициды и пестициды. В природных циклах биогенеза не существует процессов, способных их перерабатывать. Поэтому эти вещества накапливаются в природе, а затем попадают в растения, организм человека и животных.

В природных условиях многие из токсичных элементов находятся в малорастворимой форме или защищены от контакта с окружающей средой. В процессе переработки такого сырья токсичные элементы переходят в растворимую легко усвояемую форму и поэтому представляют большую опасность.

**Пример 1.** Тяжелые металлы по общетоксичному действию на живые организмы и масштабам выбросов вышли на одно из первых мест среди

техногенных отходов. Загрязнение ими природной среды вызывает серьезные заболевания у людей.

В природе соединения железа (ПДК\* 0,05 мг/л), меди (ПДК 0,001 мг/л), никеля (ПДК 0,01 мг/л), кобальта (ПДК 0,005 мг/л) находятся в виде сульфидов или оксидов. Эти соединения малорастворимы и в природные воды практически не поступают. В промышленных отходах, например гальванических производств, перечисленные элементы присутствуют в виде растворимых солей и активно взаимодействуют с элементами природной среды.

**Пример 2.** Элемент фтор входит в состав природных минералов — апатитов и фосфатов, которые являются малотоксичными соединениями. При промышленной переработке минералов значительное количество фтора переходит в газовую фазу в виде HF и SiF<sub>4</sub>, которые относят уже к высокотоксичным соединениям.

**Пример 3.** Нефть и газ являются токсичными соединениями (ПДК по растворенной и эмульгированной нефти — 0,05 мг/л). В природе эти вещества залегают на большой глубине, что и предохраняет их от контакта с биосферой. При добыче и транспортировке они извлекаются на поверхность и активно воздействуют на представителей живой природы.

Антропогенные выбросы являются одним из наиболее существенных факторов, влияющих на здоровье людей. По оценкам специалистов, состояние здоровья людей на 20—40 % зависит от состояния окружающей среды. Исследованиями установлено, что в промышленных городах со значительно загрязненной атмосферой заболеваемость в 1,5—3 раза выше по сравнению со среднестатистическими показателями. Загрязнение окружающей среды в значительной степени обуславливает снижение демографических показателей и состояния здоровья граждан в нашей стране.

Современное состояние природной среды в России представляет собой угрозу безопасности нынешнего и будущих поколений. Значительная часть территории России, на которой проживают десятки миллионов человек, в результате продолжающегося до настоящего времени загрязнения превращена в зону экологического бедствия: увеличиваются масштабы техногенных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы; растет опасность экологических катастроф; происходит постепенная деградация природных экосистем, поддерживающих глобальное экологическое равновесие.

Это положение требует разработки принципиально нового механизма взаимодействия человека в процессе его трудовой деятельности и природы.

---

\* ПДК — предельно допустимая концентрация. Здесь и далее приведены значения ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Учеными и политиками многих стран была разработана и предложена концепция нового пути развития общества, которая получила название «концепция устойчивого развития».

### 1.3. Концепция устойчивого развития

Представления о взаимодействии природы и человека со временем постоянно менялись. Существовали прямо противоположные точки зрения.

На определенных этапах развития превалировала доктрина о том, что человек, вооруженный знаниями и техникой, может господствовать над природой и изменять ее. Считалось, что техника и природа антагонистичны и гармония между ними невозможна.

Между тем появление на Земле человека и формирование человеческого общества — это закономерные явления в процессе эволюции нашей планеты. Столь же закономерно и появление техники как продукта ума и деятельности человека, поэтому в настоящее время общепризнанным является тезис о том, что техника и природа могут развиваться согласованно и гармонично. Такое развитие возможно в результате нахождения научно-обоснованного компромисса между объектами природы и социальной и трудовой деятельностью человека на базе научно-обоснованных данных, на изучении и понимании законов существования и развития человеческого общества.

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия) состоялась Конференция ООН по окружающей среде, на которой были проанализированы негативные глобальные изменения в окружающей среде, намечены тенденции развития человеческой цивилизации.

Основной вывод, который был сделан на конференции ООН, может быть сформулирован так:

*«в настоящее время доминируют процессы экономического роста, которые порождают беспрецедентный уровень благополучия и мощи богатого меньшинства. Одновременно они ведут к рискам и дисбалансам, в одинаковой степени угрожающим и богатым, и бедным. Такая модель развития не является устойчивой для богатых и не может быть повторена бедными. Следование по этому пути может привести нашу цивилизацию к краху».*

Необходимо достичь разумной сбалансированности социально-экономического развития человечества и сохранения окружающей среды путем как технологического прогресса, так и рационализации потребления.

Главами всех государств была одобрена Декларация, в основу которой положен ряд принципов:

1) ориентация процесса развития только на традиционные экономические показатели далее неприемлема. Для достижения

устойчивого развития защита окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него (*принцип 4*);

2) все государства и все народы должны сотрудничать в решении важнейшей задачи искоренения бедности — необходимого условия для обеспечения устойчивого развития — в целях уменьшения разрывов в уровнях жизни и более эффективного удовлетворения потребностей большинства населения мира (*принцип 5*);

3) право на развитие должно быть реализовано так, чтобы справедливо удовлетворить потребности развития как нынешнего, так и будущих поколений (*принцип 3*).

Основной вывод, который вытекает из этих принципов:

*«устойчивое развитие страны невозможно без широкого внедрения ресурсосберегающих технологий и реализации концепции инновационного производства».*

К основной Декларации были разработаны дополнительные соглашения, определяющие научное и научно-практическое сотрудничество. Специалисты сформулировали задачи, которые предстоит решить для достижения этой цели.

Важнейшими из них являются следующие:

- разработка и внедрение перспективных технологий в области воспроизводства сырьевой базы и производства промышленной продукции;
- рациональное использование сырьевого потенциала и получение экологически чистой продукции;
- минимизация негативных воздействий на окружающую среду;
- отказ от затратного потребления первичных природных ресурсов.

Для реализации перечисленных задач необходима целенаправленная и сознательная работа людей, поэтому конечной целью перехода на модель устойчивого развития должно быть формирование нового состояния общества, в котором основным признаком национального богатства станут духовно-нравственные ценности и знания людей, живущих в гармонии с окружающей природой.

## **1.4. Социально-этические проблемы охраны окружающей среды**

Рост промышленного производства и увеличение антропогенного воздействия на природу стимулировали формирование и развитие природоохранного движения. С конца 60-х годов XX в. это движение получило широкую народную поддержку. Во многих странах мира (Германии, Швеции, Нидерландах и др.) возникли партии «зеленых» — защитников окружающей среды. Члены партии

участвуют в обсуждении экологических проектов, имеют своих представителей в парламентах, организуют референдумы.

Исследование общественного мнения во многих странах мира свидетельствует о широком интересе к экологическим проблемам (исчезновение отдельных видов растений и животных, уничтожение девственных лесов, увеличение площади пустынь, снижение качества подземных вод и др.). В США приоритетными экологическими задачами являются уничтожение или захоронение ядерных и промышленных отходов, защита морской среды. В Канаде наиболее опасными считают загрязнение природных вод и кислотные дожди, выбросы от тепловых и атомных электростанций.

Успехи в природоохранной деятельности достигнуты в Японии, где смогли сформировать новое отношение населения к проблемам экологии. Высокий валовой выход продуктов производства в этой стране получают при относительно малом потреблении природных ресурсов. Промышленность Японии характеризуется самыми низкими в мире показателями техногенных выбросов на единицу производимой продукции. Это стало возможным благодаря изменению менталитета населения после Второй мировой войны, формированию нового общественного мнения и отказу от милитаристских и колониальных устремлений в пользу научно-технического и экономического прогресса.

В России природоохранное движение только набирает силу. Большинство кандидатов в депутаты в органы государственной власти включают в свои программы экологические вопросы. В Государственной Думе организован Комитет по вопросам экологии и рационального использования природных ресурсов.

При Министерстве природных ресурсов (МПР) РФ создана Государственная служба охраны окружающей среды, которая является центром выработки и проведения в жизнь единой государственной политики в природоохранной сфере.

В МПР РФ работает ситуационный центр — уникальная структура, в которую из всех регионов России стекается информация о состоянии природных ресурсов и окружающей среды, о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Принят в опытную эксплуатацию центр по сбору и обработке информации о радиационной обстановке вокруг опасных радиационных объектов.

Широкую поддержку общественности получило предложение Президента Российской Федерации о создании Экологической доктрины. Усилиями общественности в России были проведены «Дни защиты от экологической опасности».

Важным моментом является система взаимодействия гражданских институтов, работающих в области охраны окружающей среды, и государства.

Практическое решение многих экологических вопросов может быть достигнуто совместными усилиями:

- межгосударственных и правительственных организаций;
- хозяйствующих субъектов и населения;
- общественных экологических организаций.

Институты гражданского общества влияют на все направления действий государства по обеспечению экологической безопасности. Есть немало примеров прямого влияния общественных институтов на принятие региональных экологических законов. Велика роль общественности в области экологического мониторинга и контроля.

К сожалению, отдельные промышленные предприятия в течение длительного времени нарушают природоохранное законодательство, а их руководители не несут за это никакой ответственности. В этих условиях особое значение приобретает общественный контроль. Известны примеры, когда общественные иски против отдельных постановлений и распоряжений региональных органов и Правительства Российской Федерации получали положительное решение в Верховном суде Российской Федерации.

Важную роль играет знание истинного состояния окружающей среды и влияние последствий техногенных выбросов на экосистему и человека. Особое значение техническая информация имеет для специалистов. В настоящее время разработаны технологические схемы и процессы, обеспечивающие необходимый уровень экологической безопасности большинства промышленных производств, однако многим специалистам они не известны. Предстоит большая работа по пропаганде экологических знаний.

Отношение людей к экологии определяется культурой и этикой их поведения. В 1985 г. Комитет по охране окружающей среды Международной федерации инженерных организаций принял Кодекс экологической этики поведения инженеров. Он состоит из следующих семи заповедей:

1) в полной мере содействовать получению наивысших технических результатов, которые будут способствовать процветанию человечества;

2) добиваться конечной цели работы при возможно меньшем потреблении сырья, энергии и минимальном выходе отходов;

3) при разработке и принятии технических решений учитывать последствия их влияния на здоровье людей и на социальную справедливость;

4) изучать окружающую среду, на которую будет оказано техническое воздействие при возведении и эксплуатации объекта, и выбирать оптимальное с экологической точки зрения решение;

5) включать в разработки мероприятия по улучшению состояния окружающей среды;

6) отклонять любые предложения, наносящие вред окружающей среде;

7) помнить, что принципы взаимозависимости экосистем и сохранения ресурсов являются основой дальнейшего существования. Они — та граница, которая не может быть нарушена.

### **1.5. Международное сотрудничество и природоохранное законодательство**

Экологические проблемы настолько важны и масштабны, что требуют межгосударственных решений. Вопросы экологической безопасности затронуты во многих международных актах.

Россия всегда принимала активное участие в решении международных экологических вопросов. Одним из первых международных актов в СССР был ратифицирован договор об Антарктиде (1959 г.), который предусматривал использование Антарктиды только в мирных целях охраны и сохранения живых ресурсов. К более поздним международным актам, принятым с участием СССР, относятся, например, Универсальный кодекс экологически корректного поведения, принятый на общественном симпозиуме в Бангкоке (Таиланд) в 1960 г. и Всемирная стратегия охраны природы (1980). Всемирная хартия природы (1982), подготовленная в рамках международного союза охраны природы и природных ресурсов, наметила систему долгосрочных экологически безопасных действий, необходимых для устойчивого развития стран мира.

Наиболее значимым документом последних лет является Декларация Конференции ООН по охране окружающей среды и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Принятию декларации предшествовала большая подготовительная работа. В 1972 г. была создана специальная структура при ООН — Комиссия по окружающей среде (ЮНЕП), в которой принимал участие также Международный союз научных обществ (ИКСУ).

Высокая оценка на конференции была дана роли науки в решении экологических вопросов. В ходе конференции неоднократно отмечалось, что без опоры на науку и укрепления связи правительственных структур, промышленности и общественности с наукой невозможно решить задачи развития и сохранения окружающей среды.

Охрана природы относится к тем проблемам, решение которых в наибольшей степени зависит от объединения усилий всех стран мира. В настоящее время осуществляется научно-техническое сотрудничество в этой области многих стран. Вопросами охраны природы занимаются специализированные органы ООН, например Европейская экономическая комиссия, ЮНЕСКО, ЮНЕП и др.