

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

# ЭКОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждено редакционно-издательским советом  
Академии ГПС МЧС России

Москва 2014

УДК 574 (075.8)  
ББК 20.1я73  
Э 40

**Р е ц е н з е н т ы:**

Начальник учебно-научного комплекса гражданской защиты,  
кандидат военных наук, доцент (ФГБУ ВПО «Академия Государственной  
противопожарной службы МЧС России»);

*Калайдов А. Н.*

Заведующий кафедры физики,  
доктор технических наук, профессор (ФГБУ ВПО «Академия  
Государственной противопожарной службы МЧС России»).

*Слуев В. И.*

Э 40 Экология: учеб. пособие / Сост. О.В. Наместникова, Т.Г. Грушева,  
И. Н. Герасимова. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. – 140 с.

Учебное пособие предназначено для слушателей и курсантов Академии ГПС МЧС России. В учебном пособии приведены отдельные главы общей экологии, которые призваны помочь обучаемым в процессе подготовки к семинарским и практическим занятиям.

УДК 574 (075.8)  
ББК 20.1я73

© Академия Государственной противопожарной  
службы МЧС России, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Наука экология и роль человека в современном мире	6
1.1. Предмет, задачи и методы экологии	6
1.2. Этапы становления экологии	7
1.3. Влияние хозяйственной деятельности человека на среду обитания	11
1.4. Концепция перехода к устойчивому развитию	13
Список литературы	17
Вопросы	17
2. Учение о биосфере	18
2.1. Учение о биосфере (В.И. Вернадский)	18
2.2. Живое вещество биосферы – биомасса	22
2.3. Экологические факторы и их действие на живые организмы	24
2.4. Круговорот веществ и химических элементов в биосфере	24
2.5. Понятие об экосистемах. Состав, структура, разнообразие. Динамика экосистем	29
2.6. Продукция и энергия в экосистемах. Экологические пирамиды	30
2.7. Популяции в экосистемах	33
2.8. Взаимодействия организмов в экосистемах	35
2.9. Основные законы экологии	38
Список литературы	39
Вопросы	39
3. Человек и биосфера	40
3.1. Состояние окружающей среды в России и ее роль в оздоровлении экологической обстановки в мире	40
3.2. Основные компоненты биосферы, их параметры и масштабы	41
3.3. Природные ресурсы и природопользование	44
Список литературы	49
Вопросы	49
4. Загрязнение и охрана атмосферы	50
4.1. Структура и состав атмосферы	50
4.2. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы. Основные загрязняющие вещества и их воздействие	54
4.3. Стандарты качества окружающей среды. Нормирование качества атмосферного воздуха	62
4.4. Самоочищение атмосферного воздуха	71

4.5.	Методы очистки промышленных выбросов	72
	Список литературы	77
	Вопросы	78
5.	Загрязнение и охрана гидросферы	79
5.1.	Основные сведения о гидросфере	79
5.2.	Источники и виды загрязнения воды	83
5.3.	Нормирование качества вод и техногенного воздействия на водные объекты	86
5.4.	Самоочищающая способность водных экосистем	94
5.5.	Методы очистки сточных вод	96
	Список литературы	99
	Вопросы	100
6.	Загрязнение и охрана литосферы	101
6.1.	Строение литосферы и структура земной коры	101
6.2.	Почвы, почвообразование и основные функции почв	105
6.3.	Земельные ресурсы России и деградация почв	108
6.4.	Нормирование загрязняющих веществ в почве	111
6.5.	Самоочищение почв и рекультивация земель	115
	Список литературы	119
	Вопросы	119
7.	Контроль и управление качеством природной среды	120
7.1.	Управление экологической деятельности. ОВОС	120
7.2.	Экологическое право в сфере экологической безопасности	122
7.3.	Государственные органы управления в области охраны окружающей среды	123
7.4.	Мониторинг окружающей среды и методы анализа загрязняющих веществ	127
7.5.	Экологическая экспертиза	131
7.6.	Экологический риск	134
7.7.	Нормирование качества окружающей среды	135
	Список литературы	139
	Вопросы	139

## ВВЕДЕНИЕ

Содержание и структура учебного пособия соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности 280705 «Пожарная безопасность».

Учебное пособие состоит из семи тематических глав, в которых рассмотрены предпосылки и история становления науки «Экология», приводятся основные положения учения о биосфере В.И. Вернадского и закономерности функционирования биосферы. Наравне с природными процессами, происходящими в геосферах, рассматриваются последствия антропогенной деятельности на природную среду.

Вопросы общей экологии, изложенные в пособии, позволяют обобщить (или сформировать) экологическое представление об окружающей человека среде, оценить влияние хозяйственной деятельности на экосистемы и биосферу в целом. Кроме того, в главах уделяется внимание вопросам управления качеством компонентов окружающей среды.

Каждая тема завершается перечнем вопросов для самоконтроля, позволяющим оценить уровень усвоения изученного материала.

Разделы «Наука экология и роль человека в современном мире», «Человек и биосфера» написаны И.Н. Герасимовой; «Учение о биосфере», «Контроль и управление качеством природной среды» – Т.Г. Грушевой, «Загрязнение и охрана атмосферы», «Загрязнение и охрана гидросферы», «Загрязнение и охрана литосферы» – О.В. Наместниковой.

# 1. НАУКА ЭКОЛОГИЯ И РОЛЬ ЧЕЛОВЕКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

## 1.1. Предмет, задачи и методы экологии

Термин «экология» был впервые введен немецким биологом Эрнстом Геккелем в 1866 г., когда он исследовал взаимосвязи всего живого на примере отдельных природных объектов (в частности пруда около своего дома).

Тогда понятие «экология» обозначало отношения живых организмов между собой и окружающей средой.

В настоящее время: **экология** – это наука, изучающая организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, видов, биоценозов (сообществ), экосистем, биогеоценозов и биосферы.

*Содержание современной экологии* – исследование взаимоотношений организмов друг с другом и со средой на популяционно-биоценотическом уровне и изучение биологических макросистем более высокого ранга: биогеоценозов, биосферы, их продуктивности, энергетики, устойчивости.

*Задачи экологии* – изучение законов формирования, взаимодействия экосистем, их динамики и структуры, а также поиск возможностей управления экологическими процессами.

*Предмет исследования экологии* – биологические макросистемы (системы надорганизменного уровня) и их динамика во времени и пространстве, а также отношения компонентов этих систем.

В составе биологических макросистем рассматриваются особи, организмы (в аспекте отношений со средой обитания – изучает *аутэкология*), малые социальные группы (стая, прайд и т.п. – *демэкология*), популяции (экология популяций), виды (*эйдэкология*, или экология видов), сообщества популяций разных видов (*синэкология*), биогеоценозы (экосистемы) и биосфера (*экоферология*, *биосферология*).

Методическую основу современной экологии составляет сочетание:

- системного подхода;
- натурные наблюдения;
- эксперимента;
- моделирования.

Главные задачи современной экологии:

– раскрытие места и роли человека, цивилизации, техносферы в существовании экосферы планеты Земля с позиций экологических законов; нахождение и уточнение естественно-научных критериев, определяю-

щих экологическую совместимость человека и биосферы и количественные пределы развития техносферы;

– экологизация сознания людей: формирование новой идеологии и методологии гуманистического экоцентризма, направленной на переход к экологически ориентированной постиндустриальной цивилизации, экологизацию экономики, производства, политики, образования;

– всеобъемлющая диагностика и стоимостная оценка состояния природы планеты и ее ресурсов; определение порога выносливости биосферы по отношению к антропогенной нагрузке, т.е. к тем помехам и утратам (изъятию биологических ресурсов, загрязнению среды, изменениям климата), являющихся следствием человеческой деятельности, и выяснение степени обратимости этих изменений;

– изучение закономерностей функционирования и оптимизации эколого-экономических систем применительно к различным природно-хозяйственным условиям и различным отраслям производства;

– разработка прогнозов изменений биосферы и состояния окружающей человека среды при разных сценариях экономического и социального развития человечества. Выработка критериев оптимизации – выбора наиболее согласованного с экологическим императивом и экологически ориентированного социально-экономического развития общества;

– формирование такой стратегии поведения человеческого общества, такой экономики и таких технологий, которые приведут масштабы и характер хозяйственной деятельности в соответствие с экологической выносливостью биосферы и остановят глобальный экологический кризис.

## 1.2. Этапы становления экологии

В развитии экологии как науки можно выделить 3 периода, каждый из которых состоит из нескольких этапов.

1. *Период наивной экологии* – до середины 19 в. (1-5 этапы).

*Первый этап* – примитивные знания, накопление фактического материала (знания древних охотников и земледельцев).

*Второй этап* – продолжение накопления фактического материала античными учеными, средневековый застой. (Древняя Греция: Гераклит – 530-470 лет до н.э., Гиппократ – 460-370 лет до н.э. Аристотель (384-322 лет до н.э.) – описание известных видов животных растений, тексты о лекарственных травах, отделение ботаники от зоологии).

*Третий этап* – описание и систематизация колоссального фактического материала после средневекового застоя – начался с великими географическими открытиями XIV и XVI веков и колонизацией новых стран – с эпохой Возрождения. В первой половине XVIII века Карл Линней создал таксономическую систему животных и растений, которой ботаники поль-

зуются и поныне. Жан Батист Ламарк (1744-1829) составил классификацию животных («Философия зоологии»), отражающую происхождение – эволюцию, животных, выбрав в качестве признаков внутреннее строение (отделил беспозвоночных от позвоночных) и строение нервной системы (бесчувственные – инфузории и полипы, чувствующие – все остальные беспозвоночные, и разумные – позвоночные).

*Четвертый этап* ознаменовал начало в становлении экологии. Он связан с крупными ботанико-географическими исследованиями, способствовавшими дальнейшему развитию экологического мышления. В начале XIX в. выделяются в самостоятельные отрасли экология растений и экология животных. Ученые этого времени анализировали закономерности организмов и среды, взаимоотношения между организмами, приспособляемость и приспособленность. Появились работы, в которых авторы понимают среду обитания, как совокупность действующих экологических факторов.

*Пятый этап* – становление эволюционной экологии. Профессор Московского университета Карл Францович Рулье (1814-1858) сформулировал мысль о том, что развитие органического мира обусловлено воздействием изменяющейся внешней среды, поставил проблемы адаптации, миграции, изменчивости, ввел понятие «*стация*». Важнейшей вехой в развитии экологических представлений о природе явился выход знаменитой книги Ч. Дарвина (1809-1882) о происхождении видов путем естественного отбора, жесткой конкуренции.

Немецкий зоолог Эрнст Геккель (1834-1919) в 1866 г. предложил термин для новой науки – «*экология*», который впоследствии получил всеобщее признание.

Таким образом, общим для периода наивной экологии является накопление и описание колоссального фактического материала, и отсутствие системного подхода в его анализе.

2. *Период факториальной экологии* – с середины 19 в. до середины 20 в. (6 этап).

*Шестой этап.* Теория Ч. Дарвина дала большой толчок развитию аутэкологического направления – изучение естественной совокупности видов, непрерывно перестраивающихся применительно к изменению условий среды, со второй половины середины XIX и до середины XX века было господствующим.

Одновременно стали проводиться исследования по надорганизменным биологическим системам. Этому способствовало формирование концепции биоценозов, как многовидовых сообществ. В 1877 г. немецкий гидробиолог К. Мебиус (1825-1908) на основе изучения устричных банок в Северном море разработал учение о биоценозе, как сообществе организмов, которые через среду обитания теснейшим образом связаны друг с



другом. Именно его труд «Устрицы и устричное хозяйство» положил начало биоценологическим – *экосистемным*, исследованиям и в дальнейшем обогатилось методами учета количественных соотношений организмов. Термин «биоценоз» широко используется современными учеными. Учение о растительных сообществах, благодаря С.И. Коржинскому (1861-1900) и И.К. Пачоскому (1864-1942) выделилось в фитосоциологию, или фитоценологию, позднее в геоботанику. В.В. Докучаев (1846-1903) создал учение о природных зонах и учение о почве, как особом биокосном теле (системе). Показал, что почва – это неотъемлемый компонент практически всех экосистем суши нашей планеты.

Особенно широко исследования надорганизменного уровня стали развиваться с начала XX века. Повсеместно стали создаваться разные научные общества и школы: ботаников, фитоценологов, гидробиологов, зоологов, и т.д., выпускались журналы. 1916 г. – Ф. Клементс показал адаптивность биоценозов и адаптивный смысл этого, 1925 г. – А. Тинеманн ввел понятие «*продукция*», 1927 г. – Ч. Элтон выделил своеобразие биоценологических процессов, ввел понятие «*экологическая ниша*», сформулировал правило экологических пирамид. К 30-ым годам XX столетия были созданы разные классификации растительности на основе морфологических, эколого-морфологических и динамических характеристик фитоценозов (К. Раункьер – Дания, Г. Ди Рюе – Швеция, И. Браун-Бланке – Швейцария); изучались структура, продуктивность сообществ, получены представления об экологических индикаторах (В.В. Алехин, Б.А. Келлер, А.П. Шенников).

В учебнике по экологии Ч. Элтона впервые отчетливо выделено направление популяционной экологии. Большой вклад в эту область внесли Е.Н. Синская (экологический и географический полиморфизм видов растений), И.Г. Серебряков (новая классификация жизненных форм растений), Л.Г. Раменский (закон индивидуальности видов и теория экологического континуума экологической), М.С. Гиляров (почва – переходная среда в завоевании членистоногими суши), С.С. Шварц (эволюционная экология – палеоэкология) и др.

В 1926 г. была опубликована книга В.И. Вернадского «Биосфера» в которой впервые показана планетарная роль биосферы, как совокупности всех видов живых организмов. В 30-40-е годы составлены новые по экологии животных (К. Фредерикс – 1930 г., Ф. Болденгеймер – 1938 г.). В это же время вышло много монографий и учебных пособий по географии растений, экологии животных и растений.

3. *Период синэкологических исследований* – с 1936 г. до наших дней.

*Седьмой этап* отражает новый подход к исследованиям природных систем – в основу его положено изучение процессов материально-

энергетического обмена, формирование общей экологии, как самостоятельной науки.

Г. Гаузе в начале 40-х годов прошлого столетия провозгласил принцип конкурентного исключения, указав на важность трофических связей, как основного пути для потоков энергии через природные системы. Вслед за Гаузе, в 1935 г. английский ботаник А. Тенсли ввел понятие «*экосистемы*», и этот год принято считать годом рождения общей экологии как науки, объектом которой являются не только отдельные виды и популяции видов, но и экосистемы, в которых биоценозы рассматриваются с биотопами, как единое целое.

В общей экологии с этого времени четко выделились два направления – *аутэкология* и *синэкология*.

В 1942 г. американским ученым Р. Линдеманом были изложены основные методы расчета энергетического баланса экологических систем. С этого времени экосистемные исследования являются одними из основных направлений в экологии, а количественные определения функций экосистем и их компонентов (запасы и фракционная структура растительной массы, пулы углерода и др. химических элементов, параметры трофических цепей, и др.) являются одним из основных методов, дающими возможность прогнозировать и моделировать биологические процессы.

*Восьмой этап.* В современной биосфере одним из наиболее значимых факторов, определяющих ее состояние, стала деятельность человека. Возникающие в связи с этим проблемы выходят за рамки экологии как биологической науки, приобретают направленный социальный и политический характер (движения «зеленых», борьба за охрану природы, постановка экологических вопросов в повестки дня политических организаций, и пр.). Решение их должно включать все естественные науки вкупе с хозяйственно-экономическими, социальными, политическими аспектами, что входит в задачи социальной экологии, в которой особое положение занимает экология человека (медико-биологический и социальный подходы).

Крупный российский ученый-теоретик, наш современник Н.Ф. Реймерс (1931-1993) общую экологию представил, как вершину естествознания – *мегаэкологию*, вокруг которой концентрируются другие научные дисциплины, связанные с актуальными проблемами цивилизации и угрозой экологического кризиса. Другой российский ученый – Н.Н. Моисеев (1917-2000), специалист в области системного анализа, моделирования и прогнозирования, математик с мировым именем считает, что дальнейшее развитие цивилизации должно происходить через *коэволюцию* (совместную эволюцию) человеческого общества и биосферы – *к ноосфере*.

Особую и важнейшую роль в становлении и развитии экологии сыграл Владимир Иванович Вернадский (1863-1945) – создатель *учения о био-*

*сфере*, намного опередивший свое время. Открытие биосферы В.И. Вернадским в начале XX столетия принадлежит к величайшим научным открытиям человечества, соизмеримым с теорией видообразования, законом сохранения энергии, общей теорией относительности, открытием наследственного кода у живых организмов и теорией расширяющейся Вселенной. В.И. Вернадский доказал, что жизнь на земле – явление планетарное и космическое, что биосфера – это хорошо отрегулированная за много сотен миллионов лет эволюции общепланетарная вещественно-энергетическая (биогеохимическая) система, обеспечивающая биологический круговорот химических элементов и эволюцию всех живых организмов, включая и человека. Не только составом атмосферы и гидросферы обязаны мы работе биосферы, но и сама земная кора – это продукт биосферы.

### **1.3. Влияние хозяйственной деятельности человека на среду обитания**

Научно-техническая революция XX века, и последовавшее за ней развитие всех отраслей человеческой деятельности, в свою очередь создало условия для поступления в окружающую среду не свойственных ей веществ.

*Вырубка лесов* для расширения сельскохозяйственных угодий, перевыпас скота, добыча полезных ископаемых, развитие химической, нефтехимической, автотранспортной и других отраслей негативно влияют на состояние окружающей среды.

*Климатические изменения.* Деятельность людей может влиять на климат вследствие изменения состава атмосферы и уменьшения площади суши, занятой растительностью. В целом с конца XIX века температура воздуха повышалась в среднем на 0,5 °С. Это явление носит название «парникового эффекта». Интересно, что глобальное потепление связано с ростом средних значений минимальной ночной температуры, в то время как средняя максимальная дневная температура почти не изменилась.

*Разрушение озонового слоя.* Стратосферный озоновый слой расположен над поверхностью Земли на высоте 18-50 км, имеет максимальную концентрацию озона.

В 1985 г. специалисты по исследованию атмосферы из Британской Антарктической Службы сообщили о совершенно неожиданном факте: весеннее содержание озона в атмосфере над станцией Халли-Бей в Антарктиде уменьшилось за период с 1977 по 1984 гг. на 40%.

Содержание озона в атмосфере менее 0.0001%, однако, именно озон полностью поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение солнца с длиной волны  $\lambda < 280$  нм и значительно ослабляет полосу УФ-Б, наносящие серьезные поражения клеткам живых организмов. Падение концентрации

озона на 1% приводит в среднем к увеличению интенсивности жесткого ультрафиолета у поверхности земли на 2%.

«Кислотные дожди» – этот термин впервые был введен в 1872 году английским исследователем Робертом Смитом.

Кислотный дождь образуется в результате реакции между водой и такими загрязняющими веществами, как оксид серы(IV) –  $\text{SO}_2$  – и различными оксидами азота ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ). Эти вещества выбрасываются в атмосферу автомобильным транспортом, в результате деятельности металлургических предприятий и тепловых электростанций.

*Опустынивание земель.* Рост численности населения, а следовательно, и необходимость увеличения производства продуктов питания остро ставит проблему «человек-земля». Потребности в продовольствии можно удовлетворить за счет увеличения площади угодий и повышения их плодородия и благодаря применению средств защиты растений и животных. Сохранение плодородных почв – основа устойчивого существования и развития человечества. Однако в мире наблюдается сокращение площади «продуктивных» земель. Распространение техногенеза на сельскохозяйственные районы в условиях полуаридного и аридного климата резко интенсифицирует опустынивание. В настоящее время опустынивание угрожает 3,6 млрд. га земель, т. е. 70% потенциально продуктивных земель. Проблема опустынивания затрагивает интересы более 80 стран. На подверженных опустыниванию территориях проживает более 600 млн. человек. Ежегодно в мире от опустынивания полностью теряется и выпадает из сельскохозяйственного использования 50 млн. га земель, что наносит мировой экономике ущерб не менее 10 млрд. долларов.

*Деградация лесов.* Глобальные последствия уничтожения лесов связаны с изменением кругооборота воды, теплового баланса и климата Земли, поступлением в атмосферу дополнительного количества «вредных» газов – метана, оксидов углерода, азота, многих органических соединений. В отдельных регионах уничтожение лесов приводит к гибели животного мира, эрозии почв, повышает опасность селей, наводнений, засух, других неблагоприятных природных явлений. Сокращение площади лесов связано с рубками, пожарами, дорожным и иными видами строительства (например, водохранилищ), расширением площади пашни, развитием промышленности, особенно горной. Площадь лесов уменьшается из-за атмосферных загрязнений, в частности кислотных дождей.

Особенно интенсивный техногенный прессинг на природную среду идет в урбанизированных и горно-промышленных районах. Именно на этих территориях отмечается в последние годы быстрый рост опасных природных и техногенно-природных явлений.

## 1.4 Концепция перехода к устойчивому развитию

*Концепция устойчивого развития* явилась логическим переходом от экологизации научных знаний и социально-экономического развития, бурно начавшимся в 1970-е годы. Вопросам ограниченности природных ресурсов, а также загрязнения природной среды, которая является основой жизни, экономической и любой деятельности человека, в 1970-е годы был посвящен ряд научных работ. Реакцией на эту озабоченность было создание международных неправительственных научных организаций по изучению глобальных процессов на Земле, таких как Международная федерация институтов перспективных исследований (ИФИАС), Римский клуб (с его знаменитым докладом «Пределы роста»), Международный институт системного анализа, а в СССР – Всесоюзный институт системных исследований.

Проведение в 1972 году в Стокгольме Конференции ООН по окружающей человека среде и создание Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) ознаменовало включение международного сообщества на государственном уровне в решение экологических проблем, которые стали сдерживать социально-экономическое развитие. Стала развиваться экологическая политика и дипломатия, право окружающей среды, появилась новая институциональная составляющая – министерства и ведомства по окружающей среде.

В 1980-х годах стали говорить об экоразвитии, развитии без разрушения, необходимости устойчивого развития экосистем. Всемирная стратегия охраны природы (ВСОП), принятая в 1980, впервые в международном документе содержала упоминание устойчивого развития. Вторая редакция ВСОП получила название «Забота о планете Земля – Стратегия устойчивой жизни» и была опубликована в октябре 1991. В ней подчеркивается, что развитие должно базироваться на сохранении живой природы, защите структуры, функций и разнообразия природных систем Земли, от которых зависят биологические виды. Для этого необходимо: сохранять системы поддержки жизни (жизнеобеспечения), сохранять биоразнообразие и обеспечить устойчивое использование возобновляемых ресурсов. Появились исследования по экологической безопасности как части национальной и глобальной безопасности.

Теория и практика показали, что экологическая составляющая является неотъемлемой частью человеческого развития. В основе деятельности Международной комиссии по окружающей среде и развитию и её заключительного доклада «Наше общее будущее» была положена новая триединая концепция устойчивого (эколого-социально-экономического) развития. Всемирный саммит ООН по устойчивому развитию (межправительственный, неправительственный и научный форум) в 2002 году подтвердил при-

верженность всего мирового сообщества идеям устойчивого развития для долгосрочного удовлетворения основных человеческих потребностей при сохранении систем жизнеобеспечения планеты Земля. Концепция устойчивого развития во многом перекликается с *концепцией ноосферы*, выдвинутой академиком В. И. Вернадским еще в середине XX века.

В 1987 году в докладе «Наше общее будущее» Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР) уделила основное внимание необходимости «*устойчивого развития*», при котором «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности».

**Устойчивое развитие (УР)** – это процесс изменений, в котором эксплуатация ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. Во многом, речь идет об обеспечении неубывающего во времени – от поколения к поколению – качества жизни людей и природного капитала.

Значительное большинство международных организаций системы ООН включило в свою деятельность существенную экологическую составляющую, ориентированную на переход к устойчивому развитию.

Эксперты Всемирного банка определили устойчивое развитие как процесс управления совокупностью (портфелем) активов, направленный на сохранение и расширение возможностей, имеющихся у людей. Активы в данном определении включают не только традиционно подсчитываемый физический капитал, но также природный и человеческий капитал. Чтобы быть устойчивым, развитие должно обеспечить рост – или по крайней мере неумножение – во времени всех этих. Для рационального управления экономикой страны применяется та же логика, что используется для рационального управления личной собственностью.

Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: *экономической, социальной и экологической*.

*Экономический подход* к концепции устойчивости развития основан на теории максимального потока совокупного дохода Хикса-Линдаля, который может быть произведен при условии, по крайней мере, сохранения совокупного капитала, с помощью которого и производится этот доход. Эта концепция подразумевает оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологических – природо-, энерго-, и материало-сберегающих технологий, включая добычу и переработку сырья, создание экологически приемлемой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов. Однако при решении вопросов о том, какой капитал

должен сохраняться (например, физический или природный, или человеческий капитал) и в какой мере различные виды капитала взаимозамещаемы, а также при стоимостной оценке этих активов, особенно экологических ресурсов, возникают проблемы правильной интерпретации и счета. Появились два вида устойчивости – слабая, когда речь идет о не уменьшаемом во времени природном и произведенном капитале, и сильная – когда должен не уменьшаться природный капитал (причем часть прибыли от продажи невозобновимых ресурсов должна направляться на увеличение ценности возобновимого природного капитала).

*Социальная составляющая* устойчивости развития ориентирована на человека и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, в том числе, на сокращение числа разрушительных конфликтов между людьми. Важным аспектом этого подхода является справедливое распределение благ. Желательно также сохранение культурного капитала и многообразия в глобальных масштабах, а также более полное использование практики устойчивого развития, имеющейся в недоминирующих культурах. Для достижения устойчивости развития, современному обществу придется создать более эффективную систему принятия решений, учитывающую исторический опыт и поощряющую плюрализм. Важно достижение не только внутри-, но и межпоколенной справедливости. В рамках концепции человеческого развития человек является не объектом, а субъектом развития. Опираясь на расширение вариантов выбора человека как главную ценность, концепция устойчивого развития подразумевает, что человек должен участвовать в процессах, которые формируют сферу его жизнедеятельности, содействовать принятию и реализации решений, контролировать их исполнение.

*С экологической точки зрения*, устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. Особое значение имеет жизнеспособность экосистем, от которых зависит глобальная стабильность всей биосферы. Более того, понятие «природных» систем и ареалов обитания можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, города. Основное внимание уделяется сохранению способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям, а не сохранение их в некотором «идеальном» статическом состоянии. Деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению.

Согласование этих различных точек зрения и их перевод на язык конкретных мероприятий, являющихся средствами достижения устойчивого развития – задача огромной сложности, поскольку все три элемента

устойчивого развития должны рассматриваться сбалансировано. Важны также и механизмы взаимодействия этих трех концепций.

Появление концепции УР подорвало фундаментальную основу традиционной экономики – неограниченный экономический рост. В одном из основных документов Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) «Повестке дня на XXI век», в главе 4 (часть 1), посвященной изменениям в характере производства и потребления, прослеживается мысль, что надо идти дальше концепции устойчивого развития, когда говорится, что некоторые экономисты «ставят под сомнение традиционные понятия экономического роста», и предлагаются поиски «схем потребления и производства, которые отвечают существенным потребностям человечества».

В 1996 году в Российской Федерации был принят Указ Президента РФ N 440 от 01.04.1996 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

Переход к устойчивому развитию должен обеспечить на перспективу сбалансированное решение проблем социально – экономического развития и сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала, удовлетворение потребностей настоящего и будущих поколений людей.

Роль России в решении планетарных экологических проблем определяется обладанием большими по площади территориями, практически не затронутыми хозяйственной деятельностью и являющимися резервом устойчивости всей биосферы в целом. В соответствии с этим приоритеты России в международном сотрудничестве по обеспечению устойчивого развития сводятся к следующему:

- организация международного партнерства по решению проблем перехода к устойчивому развитию;
- активное участие в международных научных программах по проблемам устойчивого развития и в разработке мер, способствующих нормализации антропогенного воздействия на биосферу;
- создание эффективных механизмов обеспечения межгосударственного экологического паритета при решении вопросов о трансграничном переносе вредных веществ;
- стимулирование поступления в Россию экологически ориентированных зарубежных инвестиций;
- обеспечение экологических интересов страны во внешнеэкономической деятельности.

Необходимо продолжить усилия по основным направлениям международной деятельности России в области охраны окружающей среды, в том числе по:



- сохранению биоразнообразия;
- защите озонового слоя от истощения;
- предотвращению антропогенного изменения климата;
- охране лесов и лесовосстановлению;
- борьбе с опустыниванием;
- развитию и совершенствованию системы особо охраняемых природных территорий;
- обеспечению безопасного уничтожения химического и ядерного оружия;
- решению проблем Мирового океана и межгосударственных региональных экологических проблем (сокращение трансграничного загрязнения, нормализация окружающей среды в бассейнах Балтийского, Черного, Азовского, Каспийского морей и Арктическом регионе).
- к числу важнейших научных проблем, решение которых возможно лишь в рамках международного сотрудничества ученых, относится определение характеристик экологической устойчивости планеты в целом и основных подсистем биосферы.

### Список литературы



1. Коробкин В.И. Экология: учебник для вузов / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – Изд. 15-е, дополнен. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 602 с.
2. Зеркалов Д. В. Экологическая безопасность. [Электронный ресурс] Монография. – К.: Основа, 2012. URL: <http://www.zerkalov.org/files/3kurs.doc>
3. Клюев Н.Н. Россия на экологической карте мира // Энергия. 2002. № 7. С. 2-10. <http://geo.1september.ru/2001/47/2.htm>
4. Указ Президента РФ от 01.04.1996 № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

### Вопросы



1. Дайте определение понятию «Экология».
2. Перечислите этапы становления экологии как научной дисциплины.
3. Назовите основные последствия хозяйственной деятельности человека.
4. Дайте определению устойчивому развитию.
5. Укажите роль России в решении экологических проблем.

## 2. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

### 2.1. Учение о биосфере (В.И. Вернадский)

Большой вклад в развитие *учения о биосфере* внес Владимир Иванович Вернадский (рис. 2.1).

Вернадский Владимир Иванович великий русский ученый, академик, основатель биогеохимии и учения о биосфере.



Рис. 2.1. В.И. Вернадский  
(1863-1945)

Идеи В. И. Вернадского сыграли выдающуюся роль в становлении современной научной картины мира и оказали сильное влияние на формирование современного экологического сознания.

В 1923 г. В. И. Вернадский сформулировал теорию *о ведущей роли живых организмов* в геохимических процессах. В 1926 г. в книге «Биосфера» выдвинул новую концепцию биосферы и роли живого вещества в космическом и земном круговороте веществ.

Преобразование природы в результате человеческой деятельности Вернадский представлял как мощный общепланетарный процесс («Научная мысль как геологическое явление», 1936) и как возможность перерастания биосферы в ноосферу – сферу разума.

Согласно В.И. Вернадскому под биосферой понимается все пространство (оболочка Земли), где существует или когда-либо существовала жизнь, то есть где встречаются живые организмы или продукты их жизнедеятельности (рис.2.2).

В. И. Вернадский раскрыл роль живых организмов в процессах планетарного масштаба. Он показал, что в природе нет более мощной геологической (средообразующей) силы, чем живые организмы и продукты их жизнедеятельности.

Учение В. И. Вернадского о биосфере произвело переворот во взглядах на глобальные природные явления, в том числе геологические процессы, причины явлений, их эволюцию. До трудов В. И. Вернадского эти процессы прежде всего связывались с действием физико-химических сил, объединяемых термином «*выветривание*». В. И. Вернадский показал первостепенную преобразующую роль живых организмов и обусловливаемых ими механизмов образования и разрушения геологических структур, круговорота веществ, изменения твердой (*литосферы*), водной (*гидросферы*) и воздушной (*атмосферы*) оболочек Земли.

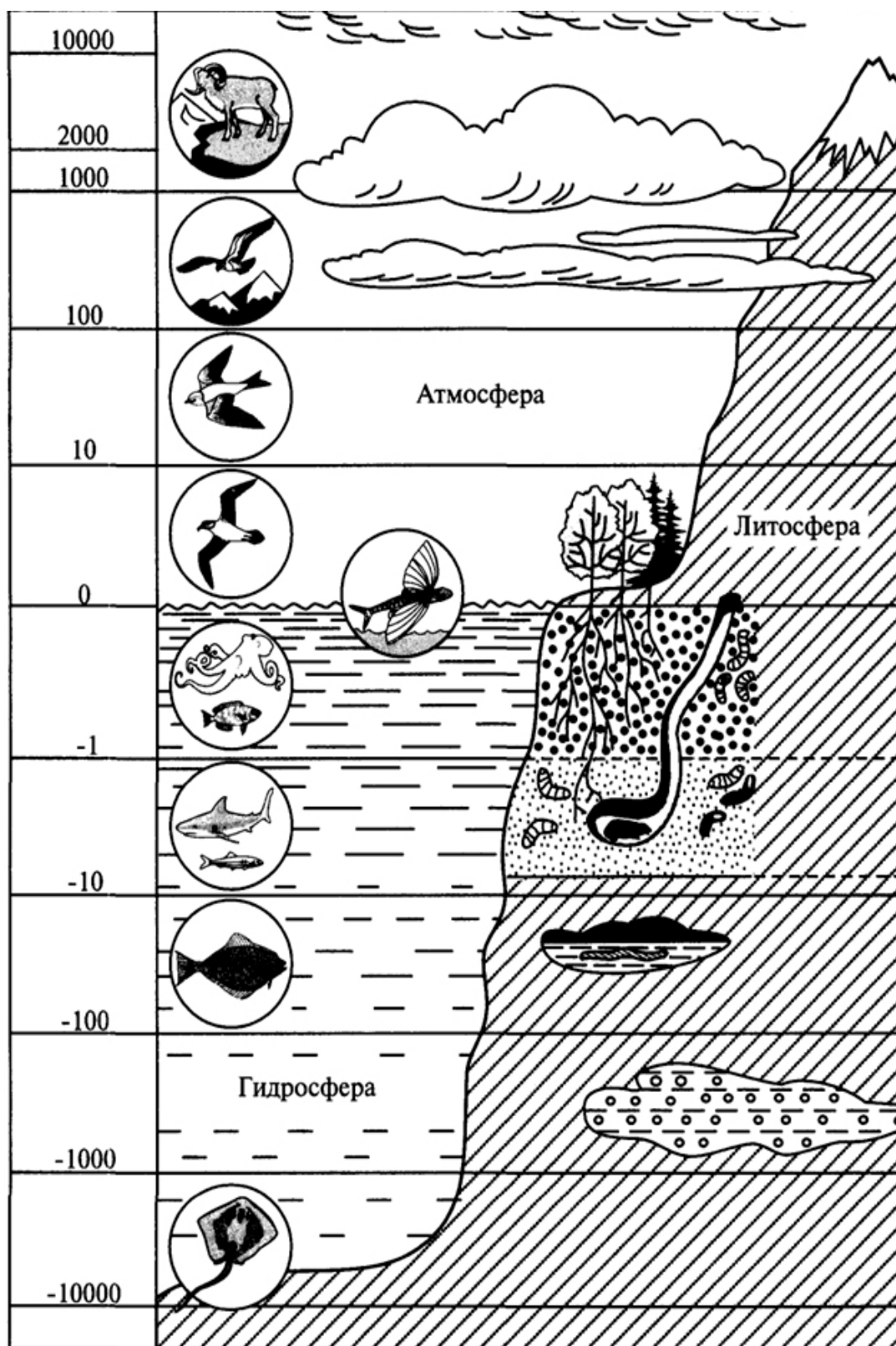


Рис.2.2. Распределение организмов в биосфере  
(цифровая шкала в метрах)  
(по Л.И. Цветковой)

Ту часть биосферы, где живые организмы встречаются в настоящее время, обычно называют современной биосферой, или необиосферой, а древние биосферы относят к палеобиосферам, или белым биосферам. В качестве примеров последних можно назвать безжизненные скопления органических веществ (залежи каменных углей, нефти, горючих сланцев и т. п.) или запасы других соединений, образовавшихся при участии живых организмов (известь, мел, соединения кремния, рудные образования и т. п.).

*Свойства биосферы.* Биосфере присущ ряд свойств, обеспечивающих ее функционирование:

1. Биосфера – *централизованная система*. Центральным звеном ее выступают живые организмы (живое вещество).

2. Биосфера – *открытая система*. Ее существование невозможно без поступления энергии извне. Она испытывает воздействие космических сил, прежде всего солнечной активности. Все больше накапливается данных, свидетельствующих, что резкое увеличение численности отдельных видов или популяций («волны жизни») – результат изменения солнечной активности.

3. Биосфера – *саморегулирующаяся система*, для которой, как отмечал В. И. Вернадский, характерна организованность. В настоящее время это свойство называют *гомеостазом*, понимая под ним способность возвращаться в исходное состояние, гасить возникающие возмущения включением ряда механизмов.

4. Биосфера – *система, характеризующаяся большим разнообразием*. Разнообразие – важнейшее свойство всех экосистем. Биосфера как глобальная экосистема характеризуется максимальным среди других систем разнообразием.

Разнообразие биосферы за счет элементарных экосистем по вертикали обуславливается ярусностью или экогоризонтами растительного покрова и связанных с ними животных организмов, а в горизонтальном направлении неравномерностью распределения организмов и их группировок и связанных с ними факторов (увлажнение, микрорельеф, обеспеченность элементами питания и т. п.).

Важное свойство биосферы – наличие в ней механизмов, обеспечивающих круговорот веществ и связанную с ним неисчерпаемость отдельных химических элементов и их соединений. Только благодаря круговоротам и наличию неисчерпаемого источника солнечной энергии обеспечивается непрерывность процессов в биосфере и ее потенциальное бессмертие.

*Биогеохимические принципы Вернадского* – три основных положения, в формулировке В.И. Вернадского звучащие следующим образом.

*Первый принцип.* «Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению».

Фактически, этот принцип связан со способностью живого вещества неограниченно размножаться в оптимальных условиях.

*Второй принцип.* «Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы». Иллюстрацией этого принципа могут служить данные В.А. Ковды 1956 г., который проанализировал более 1300 образцов золы современных высших растений и показал, что зольность растений возрастает от представителей древних таксонов к более молодым. Иными словами, в ходе эволюции растения в биогеохимический круговорот активно вовлекают новые минеральные вещества.

*Третий принцип.* «В течение всего геологического времени, с криптозооя, заселение планеты должно было быть максимально возможное для всего живого вещества, которое тогда существовало». Этот принцип связан «со «всеюдностью» или «давлением» жизни. Этот фактор обеспечивает безостановочный захват живым веществом любой территории, где возможно нормальное функционирование живых организмов.

Согласно В.И. Вернадскому вещество биосферы образует:

**Биогенное вещество** – вещество, создаваемое и перерабатываемое живым организмом. На протяжении органической эволюции живые организмы тысячекратно пропустили через свои органы, ткани, клетки, кровь большую часть атмосферы, весь объём мирового океана, огромную массу минеральных веществ. Эту геологическую роль живого вещества можно представить себе по месторождениям угля, нефти, карбонатных пород и т. д.

**Косное вещество** – продукты, образующиеся без участия живых организмов.

**Биокосное вещество** – вещество, которое создается одновременно живыми организмами и косными процессами, представляя динамически равновесные системы тех и других. Таковы почва, ил, кора выветривания и т. д. Организмы в них играют ведущую роль.

**Живое вещество** – вся совокупность тел живых организмов, населяющих Землю, физико-химически едина, вне зависимости от их систематической принадлежности. Масса живого вещества сравнительно мала и оценивается величиной  $2,4-3,6 \cdot 10^{12}$  т (в сухом весе) и составляет менее одной миллионной части всей биосферы ( $3 \cdot 10^{18}$  т), которая, в свою очередь, представляет собой менее одной тысячной массы Земли. Но это одна «из самых могущественных геохимических сил нашей планеты», поскольку живые организмы не просто населяют земную кору, а преобразуют облик Земли. Живые организмы населяют земную поверхность очень неравномерно. Их распространение зависит от географической широты.

## 2.2. Живое вещество биосферы – биомасса

Термин «*живое вещество*» введен в литературу В. И. Вернадским. Под ним он понимал совокупность всех живых организмов, выраженную через массу, энергию и химический состав.

Живое вещество – основа биосферы, хотя и составляет крайне незначительную ее часть. Если его выделить в чистом виде и распределить равномерно по поверхности Земли, то это будет слой около 2 см.

Причина высокой химической активности и геологической роли живого вещества связана с тем, что живые организмы, благодаря биологическим катализаторам (ферментам), совершают, по выражению академика Л. С. Берга, с физико-химической точки зрения что-то невероятное. Например, они способны фиксировать в своем теле молекулярный азот атмосферы при обычных для природной среды значениях температуры и давления. В промышленных условиях связывание атмосферного азота до аммиака требует температуры порядка 500 °С и давления 300-500 атмосфер.

В живых организмах на порядок или несколько порядков увеличиваются скорости химических реакций в процессе обмена веществ. В. И. Вернадский в связи с этим живое вещество назвал чрезвычайно активизированной материей.

*Свойства живого вещества.* К основным уникальным особенностям живого вещества, обуславливающим его крайне высокую средообразующую деятельность, можно отнести следующие:

1. *Способность быстро занимать (осваивать) все свободное пространство.* В. И. Вернадский назвал это всюдностью жизни. Данное свойство дало основание В. И. Вернадскому сделать вывод, что для определенных геологических периодов количество живого вещества было примерно постоянным (константой). Способность быстрого освоения пространства связана как с интенсивным размножением (некоторые простейшие формы организмов могли бы освоить весь земной шар за несколько часов или дней, если бы не было факторов, сдерживающих их потенциальные возможности размножения), так и со способностью организмов интенсивно увеличивать поверхность своего тела или образуемых ими сообществ. Например, площадь листьев растений, произрастающих на 1 га, составляет 8-10 га и более. То же относится к корневым системам.

2. *Движение не только пассивное (под действием силы тяжести, гравитационных сил и т. п.), но и активное.* Например, против течения воды, силы тяжести, движения воздушных потоков и т. п.

3. *Устойчивость при жизни и быстрое разложение после смерти (включение в круговороты), сохраняя при этом высокую физико-химическую активность.*

4. *Высокая приспособительная способность* (адаптация) к различным условиям и в связи с этим освоение не только всех сред жизни (водной, наземно-воздушной, почвенной, организменной), но и крайне трудных по физико-химическим параметрам условий. Например, некоторые организмы выносят температуры, близкие к значениям абсолютного нуля – 273 °С, микроорганизмы встречаются в термальных источниках с температурами до 140 °С, в водах атомных реакторов, в бескислородной среде, в ледовых панцирях и т. п.

5. *Феноменально высокая скорость протекания реакций*. Она на несколько порядков (в сотни, тысячи раз) значительно выше, чем в неживом веществе. Об этом свойстве можно судить по скорости переработки вещества организмами в процессе жизнедеятельности. Например, гусеницы некоторых насекомых потребляют за день количество пищи, которое в 100-200 раз больше веса их тела. Особенно активны организмы-грунтоеды. Дождевые черви (масса их тел примерно в 10 раз больше биомассы всего человечества) за 150-200 лет пропускают через свои организмы весь однометровый слой почвы. Такие же явления имеют место в донных отложениях океана. Слой донных отложений здесь может быть представлен продуктами жизнедеятельности кольчатых червей (полихет) и достигать нескольких метров. Колоссальную роль по преобразованию вещества выполняют организмы, для которых характерен фильтрационный тип питания. Они освобождают водные массы от взвесей, склеивая их в небольшие агрегаты и осаждая на дно.

Впечатляют примеры чисто механической деятельности некоторых организмов, например роющих животных (сурки, суслики и др.), которые в результате переработки больших масс грунта создают своеобразный ландшафт. По представлениям В. И. Вернадского, практически все осадочные породы, а это слой до 3 км, на 95-99 % переработаны живыми организмами. Даже такие колоссальные запасы воды, которые имеются в биосфере, разлагаются в процессе фотосинтеза за 5-6 млн. лет, углекислота же проходит через живые организмы в процессе фотосинтеза каждые 6-7 лет.

6. *Высокая скорость обновления живого вещества*. Подсчитано, что в среднем для биосферы она составляет 8 лет, при этом для суши – 14 лет, а для океана, где преобладают организмы с коротким периодом жизни (например, планктон) – 33 дня. В результате высокой скорости обновления за всю историю существования жизни общая масса живого вещества, прошедшего через биосферу, примерно в 12 раз превышает массу Земли. Только небольшая часть его (доли процента) законсервирована в виде органических остатков (по выражению В. И. Вернадского, «ушла в геологию»), остальная же включилась в процессы круговорота.

Все перечисленные и другие свойства живого вещества обуславливаются концентрацией в нем больших запасов энергии. Согласно В. И. Вернадскому, по энергетической насыщенности с живым веществом может соперничать только лава, образующаяся при извержении вулканов.

*Средообразующие функции живого вещества.* Всю деятельность живых организмов в биосфере можно, с определенной долей условности, свести к нескольким основополагающим функциям, которые позволяют значительно дополнить представление об их преобразующей биосферно-геологической роли. В. И. Вернадский выделял девять функций живого вещества: *газовую, кислородную, окислительную, кальциевую, восстановительную, концентрационную* и др. В настоящее время название этих функций несколько изменено, некоторые из них объединены.

### **2.3. Экологические факторы и их действие на живые организмы**

**Экологические факторы** – свойства среды обитания, оказывающие какое-либо воздействие на организм.

Экологические факторы отличаются значительной изменчивостью во времени и пространстве. Например, температура сильно варьирует на поверхности суши, но почти постоянна на дне океана или в глубине пещер.

Один и тот же фактор среды имеет разное значение в жизни совместно обитающих организмов. Например, солевой режим почвы играет первостепенную роль при минеральном питании растений, но безразличен для большинства наземных животных. Интенсивность освещения и спектральный состав света исключительно важны в жизни *фототрофных* организмов (большинство растений и фотосинтезирующие бактерии), а в жизни *гетеротрофных* организмов (грибы, животные, значительная часть микроорганизмов) свет не оказывает заметного влияния на жизнедеятельность.

Экологические факторы могут выступать как раздражители, вызывающие приспособительные изменения физиологических функций; как ограничители, обуславливающие невозможность существования тех или иных организмов в данных условиях; как модификаторы, определяющие морфо-анатомические и физиологические изменения организмов.

Организмы испытывают воздействие не статичных неизменных факторов, а их режимов – последовательности изменений за определенное время.

### **2.4. Круговорот веществ и химических элементов в биосфере**

В биосфере во времени постоянно протекают два взаимосвязанных процесса преобразования веществ в природе:



– геологический круговорот, или большой, возник с момента появления суши на Земле;

– биологический круговорот, или малый, возник с момента появления живых организмов на Земле.

*Геологический (большой) круговорот* – обмен химическими элементами между океаном и сушей в результате разрушения изверженных горных пород, растворения их в воде, физико-химических превращений и образования минералов при испарении воды от энергии Солнца (рис.2.3).

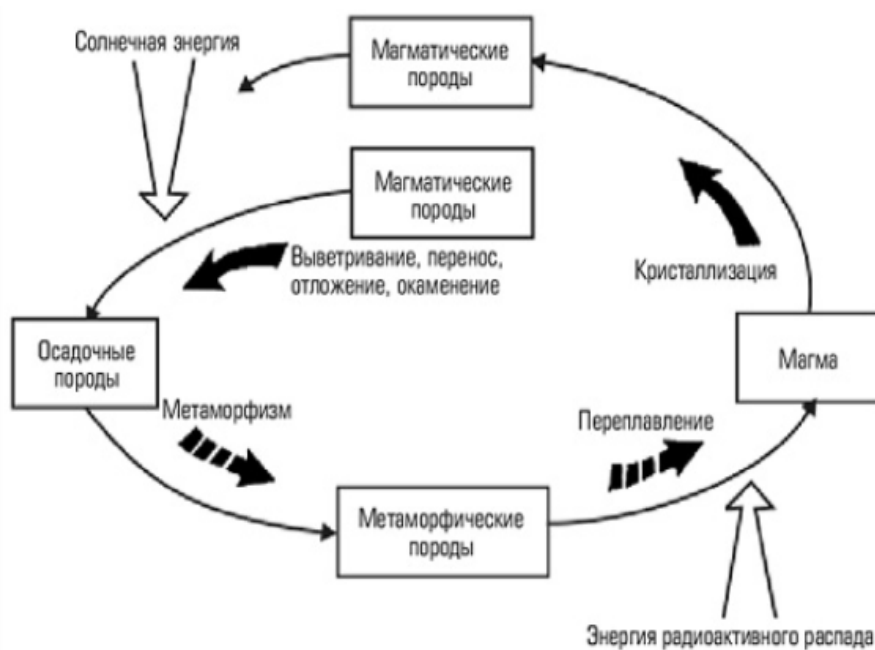


Рис. 2.3. Геологический (большой) круговорот (тонкие стрелки) и изменение разнообразия в земной коре (сплошные широкие стрелки – рост, прерывистые – уменьшение разнообразия) (по В.И. Коробкину, Л.В. Передельскому)

*Биологический (малый) круговорот* – циркуляция веществ между растениями,

животным миром, микроорганизмами и почвой (рис.2.4).

Основой биологического круговорота является фотосинтез: превращение зелеными растениями, особыми микроорганизмами лучистой энергии Солнца в энергию химических связей органических веществ, т. е. синтез органических веществ из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  под воздействием солнечной энергии в зеленых частях растений, хлоропластах.

Растения благодаря фотосинтезу выделяют кислород (в ходе реакции фотолиза воды) и создают органическое вещество, поглощая минеральные вещества из почвы и углекислый газ из воздуха.

Животные кормятся растениями и поглощают кислород, выделяя углекислоту.

Микроорганизмы превращают мертвое органическое вещество в неорганическое, которым пользуются растения.

Таким образом, фотосинтез обусловил появление на Земле:

- кислорода при помощи зеленых организмов;
- озонового слоя;

- условий для биологической эволюции.

В результате фотосинтеза ежегодно образуется:

- около 248 млрд. т кислорода;
- более 232 млрд. т органических веществ;
- усваивается 253 млрд. т углекислого газа.

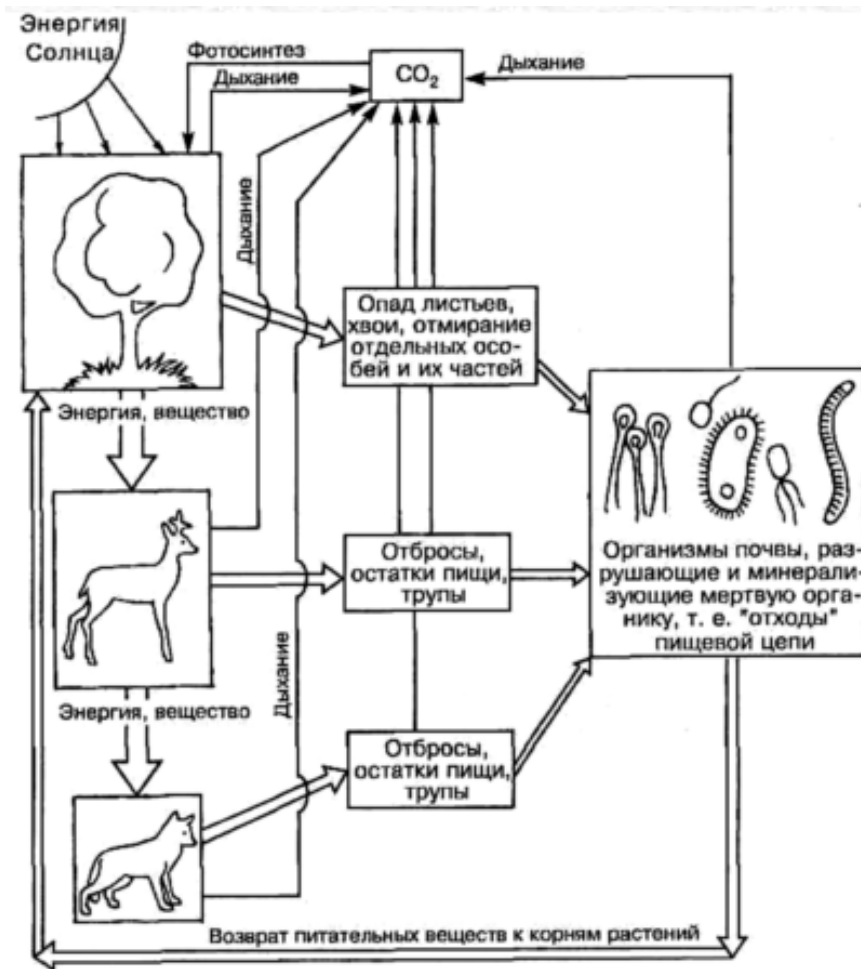


Рис.2.4. Схема круговорота органического вещества и биогенных элементов (по В.И. Коробкину, Л.В. Передельскому)

**Круговорот углерода.** Углерод существует в природе во многих формах, в том числе в составе органических соединений. Неорганическое вещество, лежащее в основе биогенного круговорота этого элемента, – диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). В природе  $\text{CO}_2$  входит

в состав атмосферы, а также находится в растворенном состоянии в гидросфере. Включение углерода в состав органических веществ происходит в процессе фотосинтеза, в результате которого на основе  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  образуются сахара. В дальнейшем другие процессы биосинтеза преобразуют эти углероды в более сложные, а также в протеиды, липиды. Все эти соединения не только формируют ткани фотосинтезирующих организмов, но и служат источником органических веществ для животных и незеленых растений.

В процессе дыхания все организмы окисляют сложные органические вещества; конечный продукт этого процесса,  $\text{CO}_2$ , выводится во внешнюю среду, где вновь может вовлекаться в процесс фотосинтеза.

Углеродсодержащие органические соединения тканей живых организмов после их смерти подвергаются биологическому разложению орга-

низмами-редуцентами, в результате чего углерод в форме углекислоты вновь поступает в круговорот. Этот процесс составляет сущность так называемого почвенного дыхания.

При определенных условиях в почве разложение накапливающихся мертвых остатков идет замедленным темпом – через образование *сапрофагами* гумуса, минерализация которого воздействием грибов и бактерий может идти с различной, в том числе и с низкой, скоростью. В некоторых случаях цепь разложения органического вещества бывает неполной. В частности, деятельность сапрофагов может подавляться недостатком кислорода или повышенной кислотностью. В этом случае органические остатки накапливаются в виде торфа; углерод не высвобождается и круговорот приостанавливается. Аналогичные ситуации возникали и в прошлые геологические эпохи, о чем свидетельствуют отложения каменного угля и нефти.

В гидросфере приостановка круговорота углерода связана с включением  $\text{CO}_2$  в состав  $\text{CaCO}_3$  в виде известняков, мела, кораллов. В этом случае углерод выключается из круговорота на целые геологические эпохи. Лишь поднятие органогенных пород над уровнем моря приводит к возобновлению круговорота через выщелачивание известняков атмосферными осадками. А также биогенным путем – действием лишайников, корней растений.

Главным резервуаром биологически связанного углерода являются леса, они содержат до 500 млрд. тонн этого элемента, что составляет 2/3 его запаса в атмосфере. Вмешательство человека в круговорот углерода приводит к возрастанию содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и развитию парникового эффекта.

Скорость круговорота  $\text{CO}_2$ , т.е. время, за которое весь углекислый газ атмосферы проходит через живое вещество, составляет около 300 лет.

**Круговорот азота.** Главный источник азота органических соединений – молекулярный азот в составе атмосферы. Переход его в доступные живым организмам соединения может осуществляться разными путями. Так, электрические разряды при грозах синтезируют из азота и кислорода воздуха оксида азота, которые с дождевыми водами попадают в почву в форме селитры или азотной кислоты. Имеет место и фотохимическая фиксация азота.

Более важной формой усвоения азота является деятельность азотфиксирующих микроорганизмов, синтезирующих сложные протеиды. Отмирая, они обогащают почву органическим азотом, который быстро минерализируются. Таким путем в почву ежегодно поступает около 25 кг азота на 1 га.

Наиболее эффективная фиксация азота осуществляется бактериями, формирующими симбиотические связи с бобовыми растениями. Образующий ими органический азот диффундирует в ризосферу, а также включается в наземные органы растения-хозяина. Таким путем в наземных и подземных органах растений на 1 га накапливается за год 150-400 кг азота.

Существуют азотфиксирующие микроорганизмы, образующие симбиоз и другими растениями. В водной среде и на очень влажной почве непосредственную фиксацию атмосферного азота осуществляют цианобактерии. Во всех этих случаях азот попадает в растения в форме нитратов. Эти соединения через корни и проводящие пути доставляются в листья, где используются для синтеза протеинов; последние служат основой для азотного питания животных.

Экскреты и мертвые организмы составляют базу цепей питания организмов-сапрофагов, разлагающих органические соединения с постепенным превращением органических азотсодержащих веществ в неорганические. Конечным звеном этой редуccionной цепи оказываются аммонифицирующие организмы, образующие аммиак, который затем может войти в цикл нитрификации. Таким образом цикл азота может быть продолжен.

В то же время происходит постоянное возвращение азота в атмосферу действием бактерий-денитрификаторов, которые разлагают нитраты до  $N_2$ . Эти бактерии активны в почвах, богатых азотом и углеродом. Благодаря их деятельности ежегодно с 1 га почвы улетучиваются до 50-60 кг азота.

Азот может выключаться из круговорота путем аккумуляции в глубоководных осадках океана. В известной мере это компенсируется выделением молекулярного  $N_2$  в составе вулканических газов.

**Круговорот фосфора.** Из всех макроэлементов (элементов, необходимых для всего живого в больших количествах) фосфор – один из самых редких в доступных резервуарах на поверхности Земли. В природе фосфор в больших количествах содержится в ряде горных пород. В процессе разрушения этих пород он попадает в наземные экосистемы или выщелачивается осадками и в конце концов оказывается в гидросфере. В обоих случаях этот элемент вступает в пищевые цепи. В большинстве случаев организмы-редуценты минерализуют органические вещества, содержащие фосфор, в неорганические фосфаты, которые вновь могут быть использованы растениями и таким образом снова вовлекаются в круговорот.

В океане часть фосфатов с отмершими органическими остатками попадает в глубинные осадки и накапливается там, выключаясь из круговорота. Процесс естественного круговорота фосфора в современных условиях интенсифицируется применением в сельском хозяйстве фосфорных удобрений, источником которых служат залежи минеральных фосфатов. Это может быть поводом для тревоги, поскольку соли фосфора при таком

использовании быстро выщелачиваются, а масштабы эксплуатации минеральных ресурсов все время растут. Составляя в настоящее время около 2 млн. тонн в год.

**Круговорот серы.** Основной резерв фонд серы находится в отложении и почве, но в отличие от фосфора имеется резервный фонд и в атмосфере. Главная роль в вовлечение серы в биогеохимический круговорот принадлежит микроорганизмами. Одни из них восстановители, другие – окислители.

В горных породах сера встречается в виде сульфидов, в растворах – в форме иона, в газообразной фазе в виде сероводорода или сернистого газа. В некоторых организмах сера накапливается в чистом виде (S) и при их отмирании на дне морей образуются залежи самородной серы.

По содержанию в морской среде сульфат-ион занимает второе место после хлора и является основной доступной формой серы, которая потребляется *автотрофами* и включается в состав белков.

В наземных экосистемах сера поступает в растения из почвы в основном в виде сульфатов. В живых организмах сера содержится в белках, в виде ионов и т.д. После гибели живых организмов часть серы восстанавливается в почве микроорганизмами до  $H_2S$ , другая часть окисляется до сульфатов и вновь включается в круговорот. Образовавшийся сероводорода улетучивается в атмосферу, там окисляется и возвращается в почву с осадками.

Сжигание человеком ископаемого топлива, а также выбросы химической промышленности, приводит к накоплению в атмосфере сернистого газа ( $SO_2$ ), который реагируя с парами воды, выпадает на землю в виде кислотных дождей.

Биогеохимические циклы в значительной степени подвержены влиянию человека. Хозяйственная деятельность нарушает их замкнутость, они становятся ациклическими.

## **2.5. Понятие об экосистемах. Состав, структура, разнообразие.**

### **Динамика экосистем**

**Экосистема** – надорганизменная система, в которой биотический компонент представлен *биоценозом*, а абиотический – *биотопом*.

Главным предметом исследования при экосистемном подходе в экологии становятся процессы трансформации вещества и энергии между биотой и физической средой, т. е. возникающий биогеохимический круговорот веществ в экосистеме в целом.

Распространению идеи экосистемы способствовала гибкость самого понятия, так как к экосистемам можно относить биотические сообщества

любого масштаба с их средой обитания (например, от пруда до Мирового океана).

Экосистемы разделяют на:

- 1) *микроэкосистемы* (подушка лишайника, капля воды из озера, капля крови с клетками и т. д.);
- 2) *мезоэкосистемы* (пруд, озеро, степь и др.);
- 3) *макроэкосистемы* (континент, океан);
- 4) *глобальная экосистема* (биосфера Земли), или экосфера, – интеграция всех экосистем мира.

Таким образом, природные экосистемы – это *открытые системы*: они должны получать и отдавать вещества и энергию.

Взаимодействие между составными частями экосистемы обеспечивают её развитие.

Последовательную смену биоценозов, преемственно возникающую на одной и той же территории (биотопе) под влиянием природных факторов (в том числе и внутренних противоречий самих биоценозов) или воздействия человека называют – *экологической сукцессией*.

Экологическая сукцессия происходит в определенный отрезок времени, в который изменяется видовая структура сообщества и абиотическая среда его существования вплоть до кульминации его развития – возникновения стабилизированной системы. Такую стабилизированную экосистему называют *климаксом* (гр. *klimax* (греч.) – лестница) – относительно стабильное состояние растительности. В этом состоянии система находится тогда, когда в ней на единицу энергии приходится максимальная биомасса и максимальное количество симбиотических связей между организмами.

Однако к этому состоянию система проходит через ряд стадий развития, первые из которых часто называют стадией первых поселенцев. Поэтому, в более узком смысле, *сукцессия* – это последовательность сообществ, сменяющих друг друга в данном районе.

## **2.6. Продукция и энергия в экосистемах. Экологические пирамиды**

Запасы веществ, усваиваемые организмами в природе неограничены. Если бы эти вещества не были бы вовлечены в круговорот, то жизнь на Земле была бы вообще невозможна.

Такой «бесконечный» круговорот биогенных компонентов возможен лишь при наличии функционально различных групп организмов, способных осуществлять и поддерживать поток веществ, извлекаемых ими из окружающей среды.

*Трофическая структура* экосистемы состоит из двух ярусов:

1) верхнего – *автотрофного яруса*, или «зеленого пояса», включающего фотосинтезирующие организмы, создающие сложные органические молекулы из неорганических простых соединений;

2) нижнего – *гетеротрофного яруса*, или «коричневого пояса» почв и осадков, в котором преобладает разложение отмерших органических веществ снова до простых минеральных образований.

В результате сложных пищевых взаимоотношений между различными организмами складываются *трофические (пищевые) связи* или *цепи питания*. Цепь питания обычно состоит из нескольких звеньев:

продуценты – консументы – редуценты

*Экологическая пирамида* – количество растительного вещества, служащего основой для питания, в несколько раз больше общей массы растительноядных животных, а масса каждого из последующих звеньев пищевой цепи меньше предыдущего (рис.2.5-2.6).

**Экологическая пирамида** – графические изображения соотношения между продуцентами, консументами и редуцентами в экосистеме.

Графическую модель пирамиды разработал в 1927 г. американский зоолог Чарльз Элтон. Основанием пирамиды служит *первый трофический уровень* – уровень *продуцентов*, а следующие этажи пирамиды образованы последующими уровнями – *консументами* различных порядков. Высота всех блоков одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

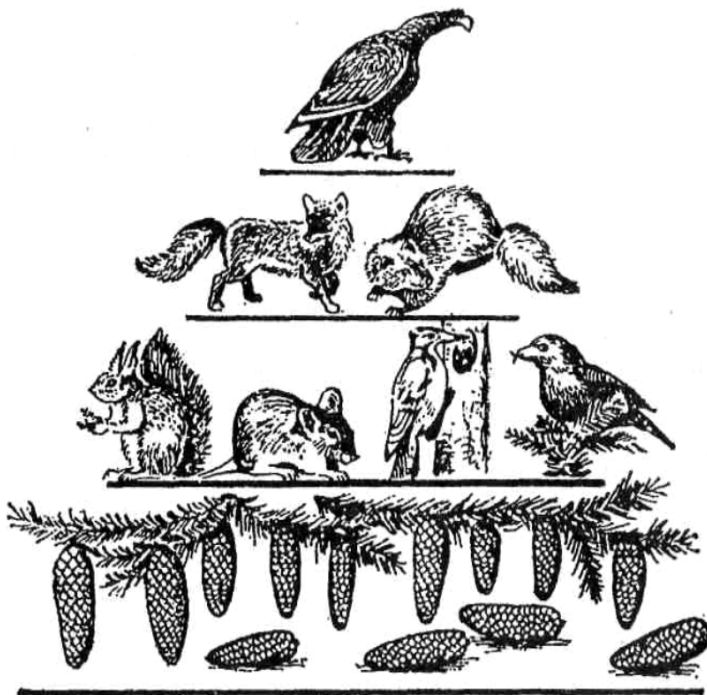


Рис.2.5. Упрощенная схема экологической пирамиды (по В.И. Коробкину, Л.В. Передельскому)

1. *Пирамида чисел (численностей)* отражает численность отдельных организмов на каждом уровне. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо, по крайней мере, несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных

растений. Иногда пирамиды чисел могут быть обращенными, или перевернутыми. Это касается пищевых цепей леса, когда продуцентами служат деревья, а первичными консументами – насекомые. В этом случае уровень первичных консументов численно богаче уровня продуцентов (на одном дереве кормится большое количество насекомых).

2. *Пирамида биомасс* – соотношение масс организмов разных трофических уровней. Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов *первого порядка* больше, нежели консументов *второго порядка* и т.д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой. Так, для образования 1 кг говядины необходимо 70-90 кг свежей травы.

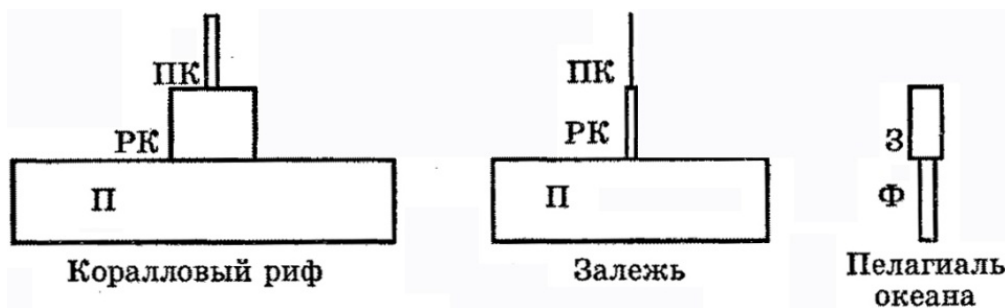


Рис.2.6. Пирамиды биомассы некоторых биоценозов (по В.И. Коробкину):  
 П – продуценты; РК – растительноядные консументы; ПК – плотоядные консументы;  
 Ф – фитопланктон; З – зоопланктон  
 (крайняя справа пирамида биомассы имеет перевернутый вид)

В водных экосистемах можно также получить *обращенную*, или *перевернутую*, пирамиду биомасс, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели консументов, а иногда и *редуцентов*. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона общая масса в данный момент его может быть меньше, нежели у потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).

Пирамиды чисел и биомасс отражают статику системы, т. е. характеризуют количество или биомассу организмов в определенный промежуток времени. Они не дают полной информации о трофической структуре экосистемы, хотя позволяют решать ряд практических задач, особенно связанных с сохранением устойчивости экосистем. Пирамида чисел позволяет, например, рассчитывать допустимую величину улова рыбы или отстрела животных в охотничий период без последствий для нормального их воспроизведения.

3. *Пирамида энергии* отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы пищи через пищевую цепь. На структуру биоценоза в



большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи.

Установлено, что максимальная величина энергии, передающейся на следующий трофический уровень, может в некоторых случаях составлять 30 % от предыдущего, и это в лучшем случае. Во многих биоценозах, пищевых цепях величина передаваемой энергии может составлять всего лишь 1 %.

В 1942 г. американский эколог Р. Линдемэн сформулировал *закон пирамиды энергий (закон 10 процентов)*, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10 % поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии.

Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения, на движение и т. д. Организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90 % всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности.

## 2.7. Популяции в экосистемах

**Популяция** – это минимальная самовоспроизводящаяся группировка особей одного вида, населяющая определенный ареал в течение длительного ряда поколений, образующая собственную генетическую систему, формирующая собственную экологическую нишу и более или менее изолированная от других подобных группировок данного вида.

*Популяция* есть форма существования вида и является элементарной единицей эволюционного процесса.

Для понимания механизмов функционирования и решения вопросов использования популяций важное значение имеют сведения об их структуре.

Различают *половую, возрастную, территориальную* и другие виды структуры. В теоретическом и прикладном планах наиболее важны данные о возрастной структуре, под которой понимают соотношение особей (часто объединенных в группы) различных возрастов.

1. *Численность*. Существует нижний предел численности, ниже которого популяция прекращает свое воспроизведение. Такая минимальная численность популяции называется критической. При определении критической численности нужно учитывать не всех особей, а только тех, которые принимают участие в размножении – это эффективная численность популяций.

2. *Плотность популяции* является производной характеристикой. Обычно плотность определяется как среднее число особей на единицу площади или объема занимаемого популяцией пространства. Плотность

можно выражать также как массу (биомассу) членов популяции на единице площади или в единице объема.

Распределение плотности популяции тесно связано с ее пространственной структурой. Существует множество типов пространственной структуры популяций и, соответственно, типов популяционных ареалов: сплошные, разорванные, сетчатые, кольцевые, ленточные и комбинированные.

3. *Рождаемость и смертность.* *Рождаемость* – это число новых особей, появляющихся в популяции за единицу времени. Новой особью (или особью нулевого возраста) может читаться зигота, яйцо, личинка или особь, вышедшая из-под родительской опеки. Различают абсолютную и относительную рождаемость.

*Абсолютная рождаемость* – это абсолютное число новых особей. *Относительная (удельная) рождаемость* – отношение числа новых особей к числу имевшихся особей; относительная рождаемость может рассчитываться или на одну особь, или на 1000 особей.

Численность популяции может увеличиваться не только за счет рождаемости, но и за счет иммиграции особей из других популяций. Существуют зависимые и полузависимые популяции, которые поддерживают и увеличивают свою численность именно за счет иммиграции.

*Смертность* – это понятие, противоположное рождаемости. Различают абсолютную смертность (количество погибших особей за единицу времени) и относительную (удельную) смертность (количество погибших особей за единицу времени в расчете на одну особь или на 1000 особей).

В отличие от рождаемости смертность наблюдается постоянно. Характер смертности описывается таблицами и кривыми выживаемости, которые показывают, какая часть новорожденных особей дожила до определенного возраста.

Численность популяции может уменьшаться не только за счет смертности, но и за счет эмиграции особей.

4. *Относительный прирост популяции.* Этот параметр представляет собой разность между относительной рождаемостью и относительной смертностью. Это важнейшая характеристика популяции (обычно обозначается символом  $r$ ). Относительный прирост популяции может быть положительным, нулевым и отрицательным.

Для изолированной популяции:  $\text{прирост} = \text{рождаемость} - \text{смертность}$ . Для открытой популяции:  $\text{прирост} = (\text{рождаемость} + \text{иммиграция}) - (\text{смертность} + \text{эмиграция})$ .

5. *Абсолютный прирост популяции.* Этот показатель представляет собой это изменение абсолютной численности популяции за бесконечно

малый промежуток времени. Абсолютное изменение численности популяции в единицу времени обозначается выражением  $dN/dt$ .

Если относительный прирост популяции ( $r$ ) – величина постоянная (не зависит от численности популяции), то изменение численности популяции описывается уравнением неограниченного (экспоненциального) роста (рис.2.7). В этом случае численность популяции в данный момент времени зависит, в первую очередь, от величины  $r$ .

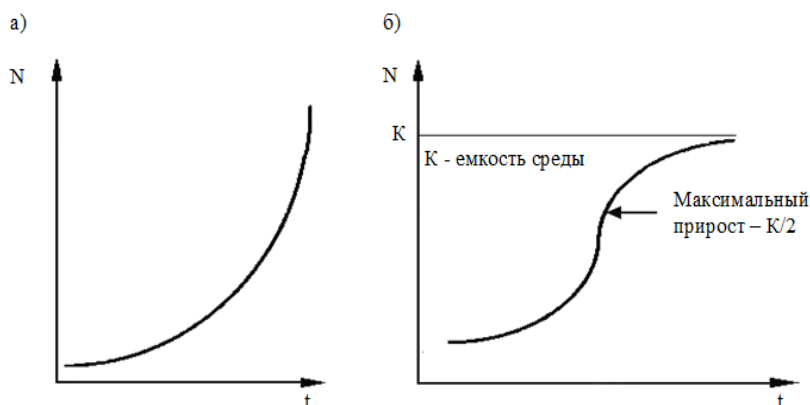


Рис. 2.7. Кривые роста численности популяций: а – экспоненциальная кривая роста при идеальных условиях среды, б – логистическая кривая роста в реальных естественных условиях при емкости среды равной  $K$  (Wilson, Bossert)

Однако в реальных сообществах всегда существуют лимитирующие факторы, ограничивающие численность популяций. Максимально возможная численность популяции в данных условиях называется ёмкость экологической ниши и обозначается символом  $K$ . В этом случае изменение численности популяции описывается логистическим уравнением, которому соответствует кривая ограниченного роста.

Популяции видов, у которых рождаемость и смертность в значительной мере зависят от действия внешних факторов, быстро изменяют свою численность. Периодические изменения численности популяций называются *популяционными волнами*. В некоторых случаях численность изменяется в тысячи и миллионы раз.

## 2.8. Взаимодействия организмов в экосистемах

Одной из наиболее известных является классификация, по которой выделяют следующие основные типы биотических отношений: *конкуренция, хищничество, паразитизм, симбиоз, нахлебничество (комменсализм), квартирантство (синойкия), нейтрализм* и др. (табл. 2.1).

Разные биотические отношения, прежде всего, конкуренция, хищничество, паразитизм лежат в основе сложной биологической системы, функционирующей как единое целое. При этом конкурент или хищник и его жертва, паразит и его хозяин являются мощными факторами воздействия друг на друга. В результате их эволюция благодаря многообразным

коррелятивным отношениям приобретает характер автоматически регулируемого процесса.

Существование каждого вида поддерживается благодаря сбалансированности и гармоничности внутривидовых отношений. Основная экологическая роль межвидовых отношений – хищничества, паразитизма и других вариантов пищевых связей сообщества заключается в том, что, последовательно питаясь, друг другом, живые организмы создают условия для круговорота веществ, без которого невозможна жизнь. Не менее важная роль этих отношений заключается во взаимной регуляции численности видов и формирование различных приспособлений защитного характера.

Таблица 2.1

**Основные типы отношений между организмами**

Тип отношений	Характеристика взаимодействия
<p><b>Конкуренция</b> (-, -)</p>	<p>это взаимоотношения, при которых организмы в борьбе за источники пищи или территорию воздействуют друг на друга отрицательно. Ее частными случаями являются: 1) конкуренция (в узком смысле слова) за тот или иной ограниченный ресурс (<i>соперничество</i>); 2) непосредственная «борьба» между представителями разных видов (<i>агрессия</i>); 3) взаимное аллелопатическое ингибирование (<i>антагонизм</i>).</p> <p>Изучение конкуренции показало, что она наиболее остра при одинаковых или сходных требованиях конкурирующих видов. На этом основаны многочисленные случаи вытеснения одного вида другим, наблюдаемые в природе. Так, рыжий таракан вытесняет черного, узкопалый рак – широкопалого, серая крыса – черную. Еще более жесткими, как отмечал Ч. Дарвин, являются отношения между особями, популяциями одного вида, потому что особи одного вида живут в сходных условиях, нуждаются в одинаковой пище и подвергаются одним и тем же опасностям.</p> <p>В середине 30-х годов русский ученый Г. Ф. Гаузе (1910-1986) выполнил цикл работ по лабораторному воспроизведению явления межвидовой конкуренции. Исследованиями Г. Ф. Гаузе на простейших (опыты с инфузориями) установлено, что при содержании двух видов на ограниченном питании через некоторое время остается только один вид, то есть два вида не могут существовать на одной территории (занимать одну и ту же экологическую нишу), если их экологические потребности идентичны.</p>
<p><b>Хищничество</b> (+, -)</p>	<p>это такая форма межвидовых отношений, при которой один вид живет за счет другого – добывает и поедает свою жертву. Хищничество может быть специализированным, когда тот или иной вид хищного животного питается строго определенной добычей. Например, скопа питается только рыбой. Нередки и многоядные хищники (волк).</p> <p>С середины 60-х годов 20 века на базе современной</p>

	<p>вычислительной техники стали проводиться весьма значительные исследования по изучению хищничества, появились обобщения, в основе которых лежат широкие представления об этом типе биотических отношений. Можно привести следующую функциональную классификацию хищников:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>истинные хищники</i>, убивающие свою жертву сразу после нападения на нее и в большинстве случаев поедающие жертву целиком. Это львы, орлы, божьи коровки, киты и многие другие;</li> <li>– <i>хищники с пастбищным типом питания</i>. Это крупные травоядные млекопитающие – зебры, антилопы, козы, овцы, крупный рогатый скот. Как правило, они используют только часть своей жертвы;</li> <li>– <i>паразиты-хищники</i>, также поедающие только часть жертвы, но нападающие в течение жизни только на одну особь или на очень малое их количество. Это различные ленточные черви, вирусы, ржавчинные грибы, тли;</li> <li>– <i>паразитоиды</i> – насекомые, откладывающие яйца либо в тело других насекомых (на ранних стадиях развития последних), либо на его поверхность. Личинки паразитоидов, вылупившиеся из яиц, развиваются внутри или на теле хозяина, который обычно не достиг взрослого состояния. Паразитоид вызывает неизбежную гибель хозяина, так как по мере своего развития личинка паразитоида целиком съедает его.</li> </ul>
<p><b>Паразитизм</b> (+, –)</p>	<p>взаимоотношения, при которых один вид (<i>паразит</i>) живет за счет другого (<i>хозяина</i>), поселяясь на его поверхности или внутри его тела. Соответственно паразиты подразделяются на <i>эктопаразитов</i> (клещи, вши, блохи, пиявки) и <i>эндопаразитов</i> (многие простейшие, гельминты, др.). Паразит не убивает своего хозяина, питается за его счет длительное время. Часто в одном хозяине живут совместно многие паразиты. Паразитизм может быть постоянным или временным.</p>
<p><b>Симбиоз</b> (от греч. – совместная жизнь, сожительство, (+, +))</p>	<p>в последнее время понимается широко, как различные формы существования разноименных организмов. Различается несколько типов симбиоза: мутуализм, комменсализм, паразитизм и множество переходных форм между ними (В. А. Радкевич).</p>
<p><b>Мутуализм</b> (+, +)</p>	<p>сожительство разных видов, выгодное для обоих партнеров. Классический пример этого типа – сожительство актиний и раков-отшельников. Другой пример – симбиоз муравьев с тлями. Муравьи выступают в роли защитников своих кормильцев – тлей, производителей сахаристых выделений, которыми лакомятся муравьи. В кишечнике всех млекопитающих, включая человека, имеются кишечные бактерии, способствующие перевариванию пищи. Широко распространенным является симбиоз клубеньковых бактерий и бобо-</p>

	ВЫХ.
<b>Протокооперация</b> (+, +)	простой тип симбиотических связей. При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т. е. не является непременным условием выживания видов (популяций).
<b>Сотрудничество</b> (+, +)	оба вида образуют сообщество. Оно не является обязательным, так как каждый вид может существовать отдельно, изолированно, но жизнь в сообществе им обоим приносит пользу.
<b>Комменсализм</b> (+, 0)	взаимоотношения видов, при которых один из партнеров получает пользу, не нанося ущерб другому. При комменсализме выделяют нахлебничество, сотрапезничество, квартиранство.
<b>Нахлебничество</b> (+, 0)	потребление остатков пищи хозяина, например взаимоотношения акул с рыбами-прилипалами.
<b>Сотрапезничество</b> (+, 0)	потребление разных веществ или частей их одного и того же ресурса. Например, взаимоотношения между различными видами почвенных бактерий-сапрофитов, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков, и высшими растениями, которые потребляют образовавшиеся при этом минеральные соли.
<b>Квартиранство</b> (+, 0)	использование одними видами других (их тел или их жилищ) в качестве убежища или жилища.
<b>Аменсализм (-, 0)</b>	тип межвидовых взаимоотношений, при котором в совместной среде один вид подавляет существование другого вида, не испытывая противодействия.
<b>Нейтрализм (0, 0)</b>	оба вида независимы и не оказывают друг на друга никакого влияния.

## 2.9. Основные законы экологии

В основе взаимоотношения в системе организм – среда лежит *закон минимума* (Ю. Либих): возможность существования данного вида в определенном районе и степень его «процветания» зависят от факторов, представленных в наименьшем количестве. Выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребителей, т. е. жизненные возможности лимитируют экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму: дальнейшее их снижение ведет к гибели организма или деструкции экосистемы.

В совокупном воздействии среды выделяются факторы, которые сильнее всего ограничивают успешность жизни организма. Эту закономерность формулирует *закон толерантности* (В. Шелфорд): лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми

определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору.

Смысл закона толерантности очевиден: плохо и «недокормить», и «перекормить», все хорошо в меру. Его применение необходимо при оценке успешности культивирования растений (при внесении удобрений, поливе и т. д.), выращивании сельскохозяйственных животных, оценке возможности акклиматизации диких видов и во многих других случаях.

Закон толерантности В. Шелфорда определяет положение, по которому любой избыток вещества или энергии оказывается загрязняющим среду.

### Список литературы



1. Коробкин В.И. Экология: учебник для вузов / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – Изд. 15-е, дополнен. и перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 602 с.
2. Николайкин Н.И. Экология: учебник для вузов / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. 6-е изд., испр. – М.: Дрофа 2008. – 622 с.
3. Степановских А.С. Биологическая экология. Теория и практика: учебник для студентов вузов, обучающихся по экологическим специальностям / А.С. Степановских. – М.: ЮНИТИДАНА. 2009. – 791 с.
4. Зверев А.Т. Основные законы экологии. – М.: Издательский дом Паганель, 2009. – 171 с.

### Вопросы



1. В чем сущность учения о биосфере?
2. Назовите состав и свойства биосферы.
3. Перечислите вещества биосферы.
4. Живое вещество биосферы, его свойства и функции.
5. Дайте определение экосистемы. Состав, структура и динамика экосистем.
6. Назовите виды взаимодействия организмов в экосистемах, дайте их краткую характеристику.

### 3. ЧЕЛОВЕК И БИОСФЕРА

#### 3.1. Состояние окружающей среды в России и ее роль в оздоровлении экологической обстановки в мире

Экологическая роль территории России в планетарной геосистеме во многом определяется величиной ее территории (12% земной суши). Планетарно-экологическое значение имеют российские леса. 70% диких лесов планеты находятся на ее территории и очищают воздух, потребляемый всем человечеством. Актив России – 21,4% лесопокрытой площади мира – представлен переувлажненными землями и болотами (табл. 3.1). Как один из крупнейших на Земле массивов практически неосвоенных «диких» земель, они являются стратегическим резервом биосферы, геохимическим барьером для глобального загрязнения.

Таблица 3.1

Экологически значимые характеристики отдельных стран  
(в % к общемировой величине) (по Н. Н. Клюеву)

Показатель	Россия	Германия	Франция	Великобритания	США
Территория	12	0,26	0,42	0,18	7
Лесопокрытая площадь	21	0,25	0,35	0,05	7
Площадь «диких» земель	15	0	0	0	0,7
Длина морского побережья	8	0,4	0,57	2,1	3,3
Площадь охраняемых территорий	4	0,94	0,57	0,53	13,5
Возобновимые ресурсы речных вод	9,2	0,23	0,42	0,29	6,1
Площадь пашни	9,2	0,82	1,32	0,45	12,9
Площадь пастбищ	2,3	0,15	0,32	0,32	7,1

На российской территории сосредоточено большое количество биологических видов (в % от общего количества в мире): насекомых – 8; рыб – 14,5; птиц – 8, пресмыкающихся и земноводных – 1; млекопитающих – 8. Среди «восьмерки экологически доминирующих стран» (выделяемой по аналогии с «семеркой» экономически высокоразвитых государств), которые во многом определяют экологическое будущее планеты, Россия выделяется сравнительно высокими показателями биологического разнообразия и степени его сохранности.

В хозяйстве России используется лишь 2% имеющихся ресурсов речного стока (%) (в мире – 8, США – 19, Германии – 48). В России более экологичная, чем в мире в целом, структура топливного баланса. В мировом потреблении топлива природный газ составляет 22,5%, а в РФ – более 50 %.

Россия – крупнейший экологический донор планеты. По оценкам экспертов ООН, комплексный показатель вклада России в сохранение



устойчивости биосферы равен 10% общепланетарного баланса, тогда как США и Канады по 5%, Бразилии 7%.

### 3.2. Основные компоненты биосферы, их параметры и масштабы

В буквальном переводе термин «*биосфера*» обозначает сферу жизни и в таком смысле он впервые был введен в науку в 1875 г. австрийским геологом и палеонтологом Эдуардом Зюссом (1831-1914). Однако задолго до этого под другими названиями, в частности «пространство жизни», «картина природы», «живая оболочка Земли» и т.п., его содержание рассматривалось многими другими естествоиспытателями.

Первоначально под всеми этими терминами подразумевалась только совокупность живых организмов, обитающих на нашей планете, хотя иногда и указывалась их связь с географическими, геологическими и космическими процессами, но при этом скорее обращалось внимание на зависимость живой природы от сил и веществ неорганической природы.

Первым из биологов, который ясно указал на огромную роль живых организмов в образовании земной коры, был Ж.Б. Ламарк (1744-1829). Он подчеркивал, что все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых организмов.

Биосфера (в современном понимании) – своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

*Биосфера* – это глобальная экосистема, особая оболочка Земли, сфера распространения жизни. Биосфера, область активной жизни, охватывающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы. В биосфере живые организмы (живое вещество) и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя *целостную динамическую систему*.

*Биосфера* – внешняя оболочка Земли, в которую входят часть атмосферы до высоты 25-30 км (до озонового слоя), вся гидросфера и верхняя часть литосферы примерно до глубины 6-8 км. Особенностью этих частей является то, что они населены живыми организмами, составляющими живое вещество планеты.

1. *Атмосфера* (гр. *atmos* – пар) Земли представляет собой совместно вращающуюся газовую оболочку, обладающую электрическим полем.

**Атмосфера** – газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Общая масса атмосферы –  $5,1-5,3 \cdot 10^{15}$  т, объем –  $1,3 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>. На высоте от 10 до 50 км, с максимумом концентрации на высоте 20-25 км, расположен слой озона, защищающий Землю от чрезмерного ультрафиолетового облучения, губительного для организмов.

Атмосфера физически, химически и механически воздействует на литосферу, регулируя распределение тепла и влаги. Погода и климат на Земле зависят от распределения тепла, давления и содержания водяного пара в атмосфере. Водяной пар поглощает солнечную радиацию, увеличивает плотность воздуха и является источником всех осадков. Атмосфера поддерживает различные формы жизни на Земле.

В формировании природной среды Земли велика роль *тропосферы* (нижний слой атмосферы до высоты 8-10 км в полярных, 10-12 км в умеренных и 16-18 км в тропических широтах) и в меньшей степени *стратосферы*, области холодного разреженного сухого воздуха толщиной примерно 20 км. Сквозь стратосферу непрерывно падает метеоритная пыль, в нее выбрасывается вулканическая пыль, а в прошлом – продукты ядерных взрывов в атмосфере.

В тропосфере происходят глобальные вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс, во многом определяющие круговорот воды, теплообмен, трансграничный перенос пылевых частиц и загрязнений.

Атмосферные процессы тесно связаны с процессами, происходящими в литосфере и водной оболочке.

К атмосферным явлениям относят: осадки, облака, туман, грозу, гололед, пыльную (песчаную) бурю, шквал, метель, изморозь, росу, иней, обледенение, полярное сияние и др.

2. *Гидросфера* – совокупность всех объектов, содержащих воду: океаны, моря, реки, озера, водохранилища, подземные воды, ледники и снежный покров. В гидросфере жизнь наблюдается до глубин Мирового океана (около 11 км). Масса гидросферы – примерно  $1,46 \cdot 10^{18}$  т, объем  $-1,45 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>.

Гидросфера – водная оболочка Земли. Ее подразделяют на поверхностную и подземную.

Поверхностная гидросфера – водная оболочка поверхностной части Земли. В ее состав входят воды океанов, морей, озер рек, водохранилищ, болот, ледников, снежных покровов и др.

Все эти воды постоянно или временно располагаются на земной поверхности и носят название поверхностных.

*Поверхностная гидросфера* не образует сплошного слоя и прерывисто покрывает земную поверхность на 70,8%.

*Подземная гидросфера* – включает воды, находящиеся в верхней части земной коры. Их называют подземными.

Сверху подземная гидросфера ограничена поверхностью земли, нижнюю ее границу проследить невозможно, так как гидросфера очень глубоко проникает в толщу земной коры.

По отношению к объему земного шара общий объем гидросферы не превышает 0,13%. Основную часть гидросферы (96,53%) составляет Мировой океан, на долю подземных вод приходится 23,4 млн км<sup>3</sup>, или 1,69% от общего объема гидросферы, остальное – воды рек, озер и ледников.

Около 98% всех водных ресурсов Земли составляют соленые воды океанов, морей и др. Общий объем пресных вод на Земле равен 28,25 млн. км<sup>3</sup>, или около 2% общего объема гидросферы. Основная часть пресных вод сосредоточена в ледниках, воды которых пока используются очень мало. На долю остальной части пресных вод, пригодных для водоснабжения, приходится 4,2 млн км<sup>3</sup> воды, или всего лишь 0,3% объема гидросферы.

Гидросфера играет огромную роль в формировании природной среды нашей планеты. Весьма активно она влияет и на атмосферные процессы (нагревание и охлаждение воздушных масс, насыщение их влагой, и т. д.).

3. *Литосфера* (гр. *lithos* – камень) верхняя часть оболочки Земли. Наиболее населен живыми организмами верхний почвенный слой. Но и на глубине около 4500 м в нефтеносных водах найдены микроорганизмы.

Площадь поверхности суши Земли составляет – 148, 9 млн. км<sup>2</sup> (29,2 % от площади поверхности Земли), масса –  $5 \cdot 10^{19}$  т, объем –  $10,2 \cdot 10^{19}$  км<sup>3</sup>. Наша планета имеет неоднородное строение и состоит из концентрических оболочек (геосфер) – внутренних и внешних. К внутренним относятся ядро, мантия, а к внешним – литосфера (земная кора), гидросфера, атмосфера и сложная оболочка Земли – биосфера.

Литосфера – каменная оболочка Земли, включающая земную кору мощностью (толщиной) от 6 (под океанами) до 80 км (горные системы).

Земная кора сложена горными породами. Доля различных горных пород в земной коре неодинакова – более 70% приходится на базальты, граниты и другие магматические породы, около 17% – на преобразованные давлением и высокой температурой породы и лишь чуть больше 12% – на осадочные.

Земная кора – важнейший ресурс для человечества. Она содержит горючие полезные ископаемые (уголь, нефть, горючие сланцы и др.), рудные (железо, алюминий, медь, олово и др.) и нерудные (фосфориты, апатиты и др.) полезные ископаемые.

Атмосфера, гидросфера и литосфера тесно взаимодействуют между собой. Практически все поверхностные экзогенные геологические процессы обусловлены этим взаимодействием и проходят, как правило, в биосфере.

Взаимодействие абиотической части биосферы – воздуха, воды и горных пород и органического вещества – *биоты* обусловило формирование почв и осадочных пород. Последние, несут на себе следы деятельности древних биосфер, существовавших в прошлые геологические эпохи.

Биосфера, являясь глобальной экосистемой (*экоферой*), как и любая экосистема, состоит из абиотической и биотической части.

*Абиотическая часть* представлена: 1) почвой и подстилающими ее породами до глубины, где в них еще есть живые организмы, вступающие в обмен с веществом этих пород и физической средой порового пространства; 2) атмосферным воздухом до высот, на которых возможны еще проявления жизни; 3) водной средой океанов, рек, озер и т. п. (см. рис.2.2).

*Биотическая часть* состоит из живых организмов всех таксонов, осуществляющих важнейшую функцию биосферы, без которой не может существовать сама жизнь: биогенный ток атомов. Живые организмы осуществляют этот ток атомов благодаря своему дыханию, питанию и размножению, обеспечивая обмен веществом между всеми частями биосферы.

Живое вещество образует ничтожно тонкий слой в общей массе геосфер Земли. Вес биомассы (на сухой вес) –  $1,8-2,4 \cdot 10^{12}$  т (в основном растения), что составляет – 0,0001% от массы биосферы или 0,0000013% земной коры. Но эта ничтожная масса живого вещества встречается практически повсюду – в настоящее время живые существа отсутствуют лишь в области обширных оледенений и в кратерах действующих вулканов.

Границы биосферы простираются от высот атмосферы, где царят холод и низкое давление, до глубин океана, где давление достигает 12 тыс. атм.

### **3.3. Природные ресурсы и природопользование**

Основными компонентами окружающей среды являются естественные экологические системы: земля, ее недра, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, животный мир, природные заповедники и национальные парки – все, что принято называть окружающей средой.

**Природные ресурсы** – это тела и силы природы, которые на данном этапе развития производительных сил общества могут быть использованы в качестве предметов потребления или средств производства, и общественная полезность которых изменяется (прямо или косвенно) под воздействием деятельности человека.

Главные виды природных ресурсов – солнечная энергия, внутривоздушное тепло, водные ресурсы, земельные, минеральные, лесные, рыбные, растительные, ресурсы животного мира и др.

Природные ресурсы являются важной частью национального богатства страны и источником создания материальных благ и услуг. Процесс воспроизводства по существу представляет собой непрерывный процесс взаимодействия общества и природы, в котором общество подчиняет себе силы природы и природные ресурсы для удовлетворения потребностей.

Природные ресурсы во многом определяют не только социально-экономический потенциал страны и региона и эффективность общественного производства, но и здоровье, и продолжительность жизни населения.

Природные ресурсы являются объектом исследования в двух аспектах: как важнейшая часть социально-экономического потенциала, реализуемого в процессе создания валового внутреннего продукта, часть национального богатства страны; как основа природной окружающей среды, подлежащей охране, восстановлению и воспроизводству.

Основными компонентами природных ресурсов являются:

*Водные ресурсы* – водные запасы, используемые как источник водоснабжения для производственных и бытовых нужд, гидроэнергии, а также как транспортные магистрали и т.д.

*Земельные ресурсы* – ресурсы, используемые или предназначенные к использованию в сельском хозяйстве, под строения в населенных пунктах, под железные и шоссейные дороги, а также другие сооружения, под заповедники, парки, скверы и т.п., занятые полезными ископаемыми и др. земельные ресурсы, до последнего времени считавшиеся невоспроизводимым элементом природных ресурсов.

*Лесные ресурсы* – сырьевые (используемые для получения древесины), а также леса различного назначения – оздоровительные (санитарно-курортные), поле – и лесозащитные, водоохранные и др.

*Минеральные ресурсы* – все естественные составляющие литосферы, используемые или предназначенные к использованию в производстве продуктов и услуг как минеральное сырье в естественном виде или после подготовки, обогащения и переработки (железо, марганец, хром, свинец и др.) или источники энергии.

*Энергетические ресурсы* – совокупность всех видов энергии: солнца и космоса, атомно-энергетической, топливно-энергетической (в форме запасов полезных ископаемых), термальной, гидроэнергии, ветроэнергии и т.д.

*Биологические ресурсы* – это все живые средообразующие компоненты биосферы с заключенным в них генетическим материалом. Они являются источниками получения людьми материальных и духовных благ. К ним относятся промысловые объекты (запасы рыбы в природных и искусственных водоемах), культурные растения, домашние животные, живописные ландшафты, микроорганизмы, т.е. сюда относятся растительные ресурсы, ресурсы животного мира (запасы пушного зверя в естественных условиях; запасы, воспроизводимые в искусственных условиях) и др.

Природные ресурсы используются как *средства труда* (земля, водные пути, вода для орошения); *источники энергии* (горючие ископаемые, гидро- и ветровая энергия, атомное топливо, биотопливо и т.д.); *сырье и*

*материалы* (полезные ископаемые, древесина, биоресурсы, запасы технической воды); *непосредственные предметы потребления* (кислород воздуха, лекарственные растения, продукты питания – питьевая вода, дикорастущие растения, грибы, продукты охоты и рыболовства), *объекты рекреации, средозащитные объекты*. В связи с двойственным характером понятия «природные ресурсы», отражающим их природное происхождение, с одной стороны, и хозяйственную, экономическую значимость – с другой, разработаны и широко применяются в специальной и географической литературе несколько классификаций.

При учете запасов природных ресурсов и объемов их возможного хозяйственного изъятия пользуются представлениями об исчерпаемости запасов. Все природные ресурсы по исчерпаемости делятся на две группы: *исчерпаемые* и *неисчерпаемые*.

*Исчерпаемые ресурсы*. Они образуются в земной коре или ландшафтной сфере, но объемы и скорости их формирования измеряются по геологической шкале времени. В то же время потребности в таких ресурсах со стороны производства или для организации благоприятных условий обитания человеческого общества значительно превышают объемы и скорости естественного восполнения. В результате неизбежно наступает истощение запасов природного ресурса. В группу исчерпаемых включены ресурсы с неодинаковыми скоростями и объемами формирования. Это позволяет провести их дополнительную дифференциацию. На основе интенсивности и скорости естественного образования ресурсы делят на подгруппы:

- *невозобновляемые*, к которым относят: а) все виды минеральных ресурсов или полезные ископаемые. Они как известно, постоянно образуются в недрах земной коры в результате непрерывно протекающего процесса рудообразования, но масштабы их накопления столь незначительны, а скорости образования измеряются многими десятками и сотнями миллионов лет (например, возраст каменных углей насчитывает более 350 млн. лет), что практически их учитывать в хозяйственных расчетах нельзя. Освоение минерального сырья происходит по исторической шкале времени и характеризуется всевозрастающими объемами изъятия. В этой связи все минеральные ресурсы рассматриваются в качестве не только исчерпаемых, но и невозобновляемых. б) Земельные ресурсы в их естественном природном виде – это материальный базис, на котором происходит жизнедеятельность человеческого общества. Морфологическое устройство поверхности (т. е. рельеф) существенно влияет на хозяйственную деятельность, на возможность освоения территории. Однажды нарушенные земли (например, карьерами) при крупном промышленном или гражданском строительстве в своем естественном виде уже не восстанавливаются.

- *возобновляемые ресурсы*, к которым принадлежат: а) ресурсы растительного и б) животного мира. И те и другие восстанавливаются довольно быстро, и объемы естественного возобновления хорошо и точно рассчитываются. Поэтому при организации хозяйственного использования накопленных запасов древесины в лесах, травостоя на лугах или пастбищах, промысла диких животных в пределах, не превышающих ежегодное возобновление, можно полностью избежать истощения ресурсов.

- *относительно (не полностью) возобновляемые*. Некоторые ресурсы хотя и восстанавливаются в исторические отрезки времени, но возобновляемые объемы их значительно меньше объемов хозяйственного потребления. Именно поэтому такие виды ресурсов оказываются весьма уязвимыми и требуют особенно тщательного контроля со стороны человека. К относительно возобновляемым ресурсам относятся и очень дефицитные природные богатства: а) продуктивные пахотно-пригодные почвы; б) леса с древостоями спелого возраста; в) водные ресурсы в региональном аспекте. Продуктивных пахотно-пригодных почв сравнительно немного (по разным оценкам их площадь не превышает 1,5-2,5 млрд. га). Наиболее продуктивные почвы, относящиеся к первому классу плодородия, занимают, по оценкам ФАО (*англ. Food and Agricultural Organization* – Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) всего 400 млн. га. Продуктивные почвы образуются крайне медленно – на формирование 1 мм слоя, например, черноземных почв, требуется более 100 лет. В то же время процессами ускоренной эрозии, стимулированными нерациональным землепользованием, за один год может быть разрушено несколько сантиметров верхнего, наиболее ценного пахотного слоя. Антропогенное разрушение почв происходит в последние десятилетия настолько интенсивно, что дает основание отнести почвенные ресурсы к категории «относительно возобновляемых».

Хорошо известен факт практической неисчерпаемости водных ресурсов в планетарном масштабе. Однако на поверхности суши запасы пресных вод сосредоточены неравномерно, и на обширных территориях ощущается дефицит вод, пригодных для употребления в системах водопользования. Особенно сильно страдают от недостатка воды аридные и субаридные районы, где нерациональное водопотребление (например, водозабор в объемах, превышающих объем естественного восполнения свободных вод) сопровождается быстрым и зачастую катастрофическим истощением водозапаса, поэтому необходим точный учет количества допустимого изъятия водного ресурса по регионам.

*Неисчерпаемые ресурсы*. Среди тел и явлений природы ресурсного значения имеются и такие, которые практически неисчерпаемы, к ним относятся климатические и водные ресурсы.

- *климатические ресурсы.* Наиболее жесткие требования к климату предъявляют сельское хозяйство, рекреационное и лесное хозяйство, промышленное и гражданское строительство и др. Обычно под климатическими ресурсами понимают запасы тепла и влаги, которыми располагает конкретная местность или регион. Общие запасы тепла, поступающие за год на  $1 \text{ м}^2$  поверхности планеты, равны  $3,16 \cdot 10 \text{ Дж}$  (радиационный бюджет в среднем для планеты). По сезонам года тепло распределяется также неравномерно, хотя в среднем для Земли температура воздуха равна примерно  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Суша в целом неплохо обеспечена и атмосферной влагой: на ее поверхность ежегодно выпадает в среднем около 119 тыс.  $\text{км}^3$  осадков. Но распределяются они еще более неравномерно, чем тепло, и в пространственном и во временном отношении. На суше известны районы, получающие ежегодно более 12000 мм осадков, а есть обширные местности, где за год выпадает менее 50-100 мм. В среднем многолетнем выражении и запасы тепла и объемы выпадающей атмосферной влаги довольно постоянны, хотя от года к году могут наблюдаться существенные колебания в обеспечении территории теплом и влагой. Так как эти ресурсы формируются в определенных звеньях теплового и водного круговоротов, постоянно действующих над планетой в целом и над ее отдельными регионами, запасы тепла и влаги могут рассматриваться как неиссякаемые в определенных количественных пределах, точно установленных для каждого района.

- *водные ресурсы планеты.* Земля обладает колоссальным объемом воды – около 1,5 млрд  $\text{км}^3$ . Однако 98% этого объема составляют соленые воды Мирового океана, и только 28 млн.  $\text{км}^3$  – пресные воды. Поскольку уже известны технологии опреснения соленых морских вод, воды Мирового океана и соленых озер можно рассматривать как потенциальные водные ресурсы, использование которых в будущем вполне возможно. Ежегодно возобновляемые запасы пресных вод невелики – по разным оценкам они колеблются от 41 до 45 тыс.  $\text{км}^3$  (ресурсы полного речного стока). Мировое хозяйство расходует для своих нужд около 4,0-4,5 тыс.  $\text{км}^3$ , что равно примерно 10% общего водозапаса, и, следовательно, при условии соблюдения принципов рационального водопользования эти ресурсы можно рассматривать как неисчерпаемые. Однако при нарушении этих принципов ситуация может резко обостриться, и даже в планетарном масштабе может ощущаться дефицит чистых пресных вод.

Таким образом, исчерпаемые ресурсы – это такие ресурсы, объем которых с определенной степенью точности может быть установлен и ограничен, запасы которых по мере эксплуатации уменьшились до такой степени, что дальнейшая их эксплуатация грозит полным их исчезновением.



К возобновляемым природным ресурсам относятся такие, которые могут быть восстановлены либо самими силами природы (естественным путем), либо с помощью целенаправленной человеческой деятельности, но только в том случае, если сохраняются для этого условия и скорость восстановления. К невозобновляемым природным ресурсам относится та часть природных ресурсов, которая не может возродиться или восстановиться в обозримом будущем.

### Список литературы



1. Коробкин В.И. Экология : учебник для вузов / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – Изд. 15-е, дополнен. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 602 с.
2. Тюрикова Г. Н. Социальная экология: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Г. Н. Тюрикова, Г. Г. Ладнова, Ю. Б. Тюрикова. – М.: Академия, 2011. – 207 с.
3. Ключев Н.Н. Россия на экологической карте мира // Энергия. 2002. № 7. С. 2-10. <http://geo.1september.ru/2001/47/2.htm>
4. Николайкин Н.И. Экология: учебник для вузов / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. 6-е изд., испр. – М.: Дрофа 2008. – 622 с.
5. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в действующей редакции) «Об охране окружающей среды» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
6. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (в действующей редакции) ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
7. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1 (в действующей редакции) «О недрах» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
8. Федеральный закон от 24.07.2002 № 101-ФЗ (в действующей редакции) «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

### Вопросы



НЫМ?

1. Какова роль России в охране окружающей среды?
2. Дайте определение понятию природные ресурсы.
3. Классификация природных ресурсов.
4. Какое природопользование называют рациональ-

## 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА АТМОСФЕРЫ

### 4.1. Структура и состав атмосферы

Атмосферой Земли (греч. *atmos* – пар, дыхание и *sphaira* – шар) называется газовая оболочка, окружающая Землю. Масса атмосферы составляет около  $5,1-5,3 \cdot 10^{18}$  кг. Среднее давление атмосферы у поверхности Земли (на уровне моря) равно 101,3 кПа или 760 мм рт. ст. С высотой давление убывает по закону, близкому к экспоненциальному. Таким образом, на высотах в несколько десятков километров плотность атмосферы очень мала.

Атмосфера Земли состоит примерно на 78% из азота, на 21% из кислорода. Третий по распространенности в атмосфере газ – аргон, составляет менее 1%. Содержатся в атмосфере также малые примеси углекислого газа, водяные пары и незначительное количество неона, гелия, криптона, водорода и др. Состав атмосферы Земли приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Химический состав сухого атмосферного воздуха  
(без учета водяного пара) у поверхности Земли (по Г. В. Сурковой)

№ п/п	Газ	Содержание по объему, %	Относительная молекулярная масса	Плотность по отношению к плотности сухого воздуха
1	Азот	78,084	28,0134	0,967
2	Кислород	20,946	31,9988	1,105
3	Аргон	0,934	39,948	1,379
4	Углекислый газ	0,033	44,00995	1,529
5	Неон	$1,818 \cdot 10^{-3}$	20,183	0,095
6	Гелий	$5,239 \cdot 10^{-4}$	4,0026	0,138
7	Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$	83,800	2,868
8	Водород	$5 \cdot 10^{-5}$	2,01594	0,070
9	Ксенон	$8,7 \cdot 10^{-6}$	131,300	4,524
10	Озон	$10^{-6}-10^{-5}$	47,9982	1,624
11	Сухой воздух	-	28,9645	1,000

Согласно современным научным представлениям, *первичная атмосфера* Земли (около 4,5 млрд лет назад) состояла из легких газов (водорода и гелия), захваченных из межпланетного пространства. Вулканическая активность привела к появлению в атмосфере углекислого газа, аммиака и паров воды. Так образовалась *вторичная атмосфера*. Утечка легких газов в межпланетное пространство и химические реакции, происходящие под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца, грозовых разрядов, высокой температуры в бескислородной среде, привели к образованию

*третичной атмосферы*. Ее отличало гораздо меньшее содержание водорода и гораздо большее – азота и углекислого газа.

Образование большого количества атмосферного *азота* обусловлено, в основном, окислением аммиачно-водородной атмосферы молекулярным кислородом, начиная примерно с 3 млрд лет назад, в результате фотосинтеза появившихся растений. Часть атмосферного азота обусловлена денитрификацией нитратов и других азотосодержащих соединений. Содержание азота в атмосфере поддерживается постоянным за счет его поглощения растениями в результате фотосинтеза и окисления цианобактериями (*греч. kyanos – сине-зеленый*), а также клубеньковыми бактериями, находящимися в симбиозе с бобовыми растениями.

Состав земной атмосферы начал радикально изменяться с появлением живых организмов. Растения поглощают углекислый газ и выделяют *кислород*, а животные используют кислород в процессе дыхания. Содержание кислорода в атмосфере, близкое к современному, сложилось около 70 млн лет назад, в кайнозойскую эру.

Содержание в атмосфере *углекислого газа* зависит от вулканической активности и химических процессов, происходящих внутри Земли. Однако еще в большей степени оно определяется интенсивностью биосинтеза и разложения органического вещества в биосфере.

Наличие в атмосфере *благородных газов* (гелия, аргона, криптона, ксенона) также связано с вулканическими извержениями и, кроме того, с распадом находящихся в Земле радиоактивных элементов.

Для человека и животных жизненно необходимым является наличие в земной атмосфере кислорода. Однако по мере увеличения высоты над уровнем моря уменьшаются как общее атмосферное давление (рис.4.1), так и парциальное давление кислорода. В легких человека содержится около 3 литров альвеолярного воздуха. Парциальное давление кислорода в этом воздухе при нормальном атмосферном давлении составляет 110 мм рт. ст., в то время как парциальные давления углекислого газа и паров воды соответственно составляют 40 мм рт. ст. и 47 мм рт. ст. С увеличением высоты давление кислорода падает, а суммарное давление углекислого газа и водяных паров в легких почти не изменяется и остается близким к 87 мм рт. ст. Когда давление окружающего воздуха уменьшится до этой величины, поступление кислорода в легкие прекратится. Уже на высоте 5 км у нетренированного человека появляется кислородное голодание, а на высоте 15 км дыхание становится невозможным. На высоте около 20 км атмосферное давление уменьшается до 47 мм рт. ст. При таком давлении вода в организме человека и в межклеточной жидкости закипает, и смерть наступает практически мгновенно.

При подъеме от поверхности Земли температура вначале убывает (см. рис. 4.1.). На высоте 17 км над тропиками она равна  $-75^{\circ}\text{C}$ . Эта часть атмосферы называется *тропосферой* (греч. *tropos* – поворот). Толщина тропосферы в среднем составляет 11-12 км: 8-10 км над полюсами и 16-18 км над экватором. При удалении от поверхности Земли в атмосфере происходит понижение температуры на  $6^{\circ}\text{C}$  на каждый километр. На высоте 18-20 км плавное уменьшение температуры прекращается, она остается почти постоянной. Этот участок называется *тропопаузой*.

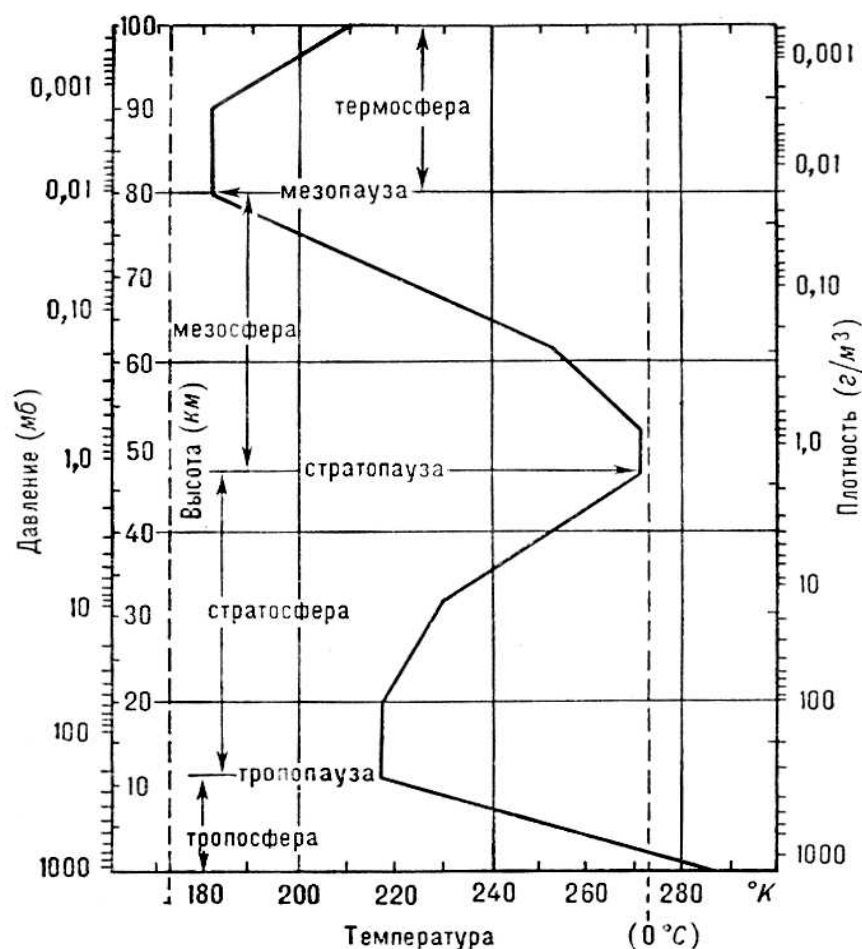


Рис. 4.1. Атмосферные слои Земли до высоты 100 км и их характеристика (атмосферное давление – в миллибарах (мб): 1 мб = 0,75 мм рт. ст.)

В тропосфере содержится более 80% всей массы атмосферного воздуха и около 90% всего имеющегося в атмосфере водяного пара. Именно здесь возникают облака, формируются циклоны и антициклоны.

Следующий слой атмосферы, где температура нарастает,

называется *стратосферой* (лат. *stratum* – настил). Она простирается до высоты примерно 55 км. При этом, достигнув на высоте около 40 км значения, близкого к  $0^{\circ}\text{C}$ , температура далее почти не изменяется. Эта область постоянной температуры называется *стратопаузой*.

За стратосферой, до высоты около 90 км, располагается *мезосфера* (греч. *mesos* – средний, промежуточный). В мезосфере температура снова падает, до температуры примерно  $-85^{\circ}\text{C}$ . Мезосфера заканчивается *мезопаузой*, где имеет место минимум температуры.

Выше простирается *термосфера*. В ней температура снова растет и на высоте около 400 км достигает 1000-1200 К. Затем она остается почти постоянной. Термосфера простирается до высоты около 800 км. Верхний предел термосферы в значительной мере определяется активностью Солнца. В периоды низкой активности имеет место уменьшение толщины термосферы. Основным газом на высотах свыше 300 км является атомарный кислород. Под действием ультрафиолетовой и отчасти рентгеновской солнечной радиации, а также космического излучения происходит ионизация воздуха в термосфере и возникают полярные сияния. Граница ионизованного и неионизованного воздуха фактически располагается на высоте примерно 118 км. Однако для удобства принято считать, что граница между атмосферой Земли и космосом (так называемая линия Кармана) располагается на высоте 100 км над уровнем моря.

*Экзосфера* (греч. *exo* – вне, снаружи) – это внешняя часть термосферы, где средняя кинетическая энергия молекул остается постоянной, и температура больше не меняется. Концентрация молекул там уже настолько мала, что они практически не соударяются между собой, так что пользоваться термином температура в этом случае не совсем корректно. На высоте около 2000-3500 км экзосфера переходит в *ближнекосмический вакуум*, заполненный атомами сильно разреженного водорода и пылевидными частицами кометного и метеорного происхождения.

Слоеное строение атмосферы Земли объясняется различным характером поглощения солнечного света разными газами.

Первым фильтром на пути к Земле для солнечных лучей является термосфера. Она поглощает самую коротковолновую часть спектра (дальний ультрафиолет). Именно поэтому и происходит разогрев термосферы. Следует отметить, что температура экзосферы зависит от солнечной активности: в годы спокойного Солнца она ниже (около 1000 К), а в максимумах солнечной активности выше (достигает 1300 К).

Стратосфера обязана своим существованием озону ( $O_3$ ), который располагается на высотах от 20 до 60 км. Озон поглощает солнечное излучение в диапазоне длин волн – 220-290 нм уже в верхней части этого слоя. Поэтому там и температура выше, чем радиационная температура Земли. Выше стратосферы озона нет. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца расщепляет его на молекулярный кислород  $O_2$  и атомарный кислород –  $O$ .

Между теплыми слоями атмосферы располагаются холодные. Они обмениваются энергией между собой. Все сказанное относится к освещенной стороне Земли. На ночной стороне происходит охлаждение. Однако

половины суток не хватает для размывания «слоистого пирога» атмосферы. Только полярной ночью атмосфера устроена иначе.

В количественном отношении в экзосфере и термосфере поглощается лишь один процент солнечного излучения – дальний ультрафиолет. Три процента (ближний ультрафиолет) поглощается озоном стратосферы. Четыре процента (инфракрасный «хвост» спектра) поглощается водяными парами в верхних слоях тропосферы. Оставшиеся 92% энергии солнечного света приходится на «окно прозрачности» атмосферы. Это излучение в диапазоне длин волн 290-2400 нм. Значительная его часть (45%), преимущественно в синей области спектра, рассеивается воздухом (голубой цвет неба обусловлен именно этим). Прямые солнечные лучи (оставшиеся 47%) достигают поверхности Земли.

Земля отражает около 7% из этих 47%. Из них 3% тратится на диффузное рассеивание. Остальные 40% и еще 8% от атмосферы поглощаются Землей, нагревая сушу и океан. Рассеянное в атмосфере световое излучение частично поглощается ею, а остальное распределяется между поверхностью Земли и космосом, причем в космос уходит больше энергии, чем попадает на Землю. Виноваты в этом, главным образом, облака. Они непрозрачны и отражают падающий на них сверху свет обратно. Таким образом, в тепло переходит 65% падающего на Землю потока солнечной энергии: 3% – поглощение в озоновом слое стратосферы, 4% – поглощение в водяных парах верхней тропосферы, 10% – поглощение в основной толще атмосферы и 48% – поглощение почвой и водами Мирового океана. Это тепло излучается в космос тепловой радиацией в виде инфракрасного излучения.

#### **4.2. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы. Основные загрязняющие вещества и их воздействие**

**Загрязнение** – это процесс привнесения в среду или возникновение в среде новых, не характерных для нее физических, химических, биологических агентов или превышение естественного среднесуточного уровня этих агентов в природной среде, оказывающих негативное воздействие на биоту, в том числе человека. **Загрязненность** – это уровень концентраций загрязняющих веществ или уровень физических или каких-либо других воздействий на окружающую среду.

По характеру поступающих в окружающую среду агентов выделяют следующие основные виды загрязнения: *физическое* (шум, электромагнитное излучение, ионизирующее излучение и т.д.), *химическое* (летучие органические вещества, тяжелые металлы, нефтепродукты и т.д.), *биологическое* (отходы микробиологической промышленности, бактериальное загрязнение и т.д.).

К *природным источникам загрязнения* относятся вулканы, гейзеры, лесные пожары, пыльные бури и др. *Антропогенными источниками загрязнения* являются различные промышленные предприятия, предприятия теплоэнергетического комплекса, коммунально-бытовое хозяйство, транспорт, сельское хозяйство и т.д. Таким образом, антропогенное загрязнение возникает в результате производственной деятельности и повседневной жизни людей, гораздо превосходит естественное, и масштабы его постоянно растут.

По времени действия источников, а соответственно и режиму поступления загрязняющих агентов загрязнение может быть *постоянным* (источник непрерывного действия), *периодическим* (источник работает или выбрасывает загрязняющие вещества циклически) и *разовым* (например, залповые или аварийные выбросы, когда в короткий промежуток времени в окружающую среду поступает большое количество загрязняющих веществ).

По источникам поступления и механизму образования загрязняющих веществ различают три вида загрязнения:

- *первичное загрязнение* – вызванное поступлением загрязняющих веществ из источников загрязнения;
- *вторичное загрязнение* – развивается как следствие первичного загрязнения в результате взаимодействия загрязняющих веществ между собой или с естественными компонентами окружающей среды;
- *повторное загрязнение* – вызванное повторным выносом загрязняющих веществ в неизменном виде в исследуемую среду, из которой они были выведены ранее в результате относительного самоочищения.

Для решения различных прикладных задач источники загрязнения классифицируются по характеру распространения загрязняющих агентов на:

- *точечные* – когда удаляемые загрязняющие агенты сосредоточены в одном месте (труба, шахта и т.д.);
- *линейные* – имеют значительную протяженность в одном направлении (ленточный конвейер, шоссе и т.д.);
- *площадные* – когда удаляемые загрязняющие агенты поступают в окружающую среду с определенной территории (пыльная поверхность и др.).

Источники загрязнения могут быть *организованными*, с локализованным местом поступления и устройствами для поступления загрязняющих веществ в окружающую среду (трубы промышленных предприятий и т.д.); *неорганизованными*, не имеющими локализованного места и устройств или приспособлений для поступления загрязняющих

веществ в окружающую среду (испарение пестицидов с обработанных сельхозугодий и др.); *полуорганизованные*, имеющие одно из двух перечисленных условий (загрязнение атмосферы автотранспортом и др.).

Основные природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы представлены на рисунке 4.2.

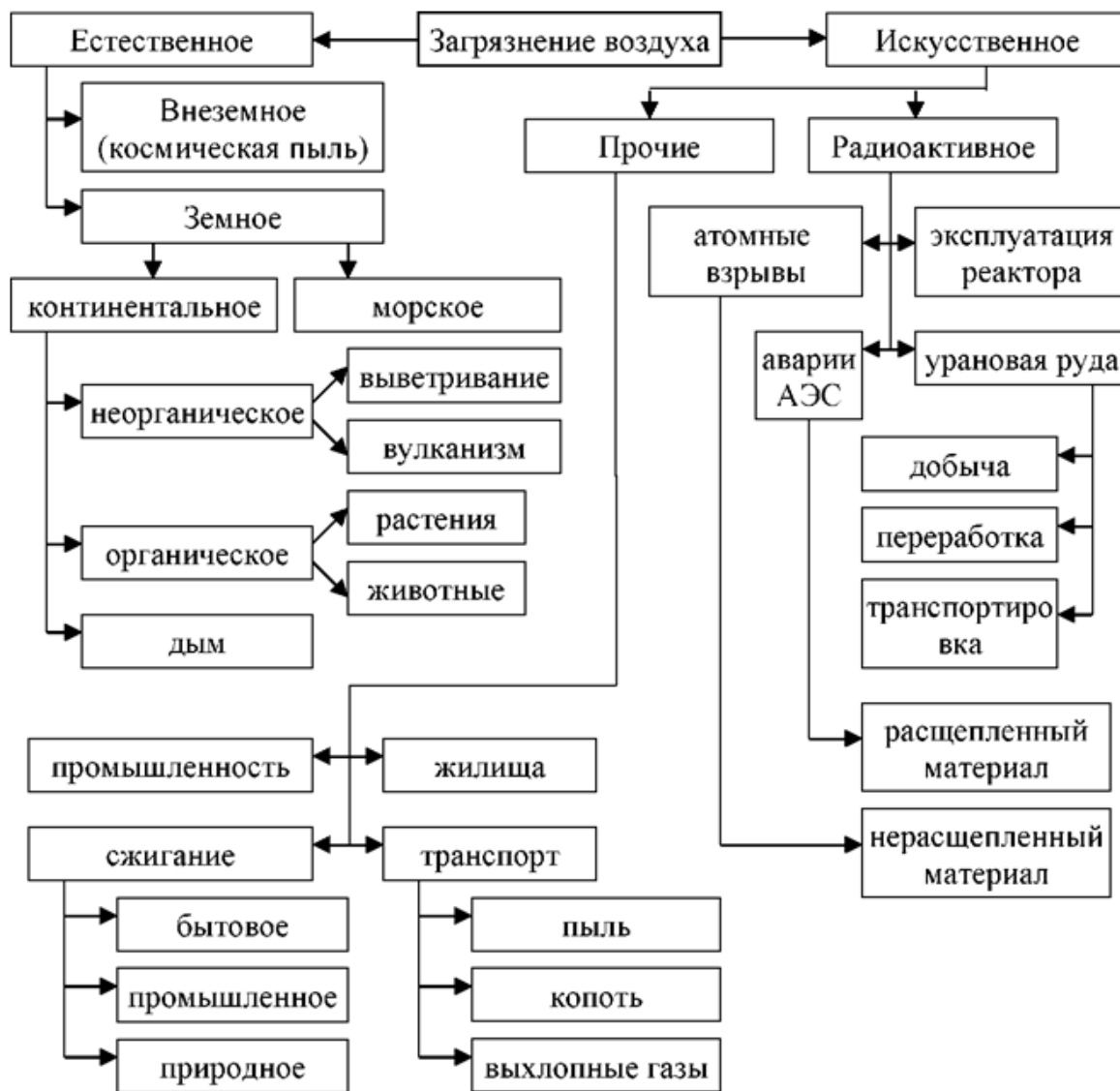


Рис. 4.2. Источники загрязнения атмосферы (по Г. В. Стадницкому, А. И. Родионову)

Главными и наиболее опасными источникам загрязнения являются антропогенные. Мировое хозяйство ежегодно выбрасывает в атмосферу более 15 млрд т углекислого газа, 200 млн т оксида углерода, более 500 млн т углеводородов, 120 млн т золы и др. Общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составляет более 19 млрд т.

Основными *антропогенными источниками загрязнения атмосферы* являются: 1) транспорт, 2) тепловые электростанции и теплоцентрали,



сжигающие органическое топливо, 3) черная и цветная металлургия, 4) машиностроение, 5) химическое производство, 6) добыча и переработка минерального сырья, 7) открытые источники (сельскохозяйственные пашни, строительство) и др.

Характеристика основных источников загрязнения атмосферного воздуха приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Основные источники загрязнения атмосферного воздуха (по И.Я. Сегалу)**

Источники загрязнения атмосферы	Выбрасываемые аэрозоли	Газообразные выбросы
Котлы и промышленные печи	Зола, сажа	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , а также CO, альдегиды, органические кислоты, бенз(а)пирен
Автомобильные двигатели	Сажа	CO, NO <sub>2</sub> , альдегиды, углеводороды неканцерогенные, бенз(а)пирен
Нефтеперерабатывающая промышленность	Пыль, сажа	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, углеводороды, меркаптаны, кислоты, альдегиды, кетоны, канцерогенные вещества
Химическая промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , кислоты, органические вещества, растворители, летучие вещества, сульфиды и др.)
Металлургия и коксохимия	Пыль, оксиды железа	SO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , фтористые соединения, цианистые соединения, органические вещества, бенз(а)пирен
Горная промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (CO, фтористые соединения, органические вещества)
Пищевая промышленность	Пыль	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S (многокомпонентные смеси органических соединений)
Промышленность строительных материалов	Пыль	CO, органические соединения

*Загрязняющие атмосферу вещества* условно разделены на несколько групп с учетом их токсичности, потенциальной опасности, распространенности и источников эмиссии:

- *основные, или критериальные* загрязняющие вещества атмосферы – оксиды азота (NO<sub>x</sub>), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), угарный газ (CO), углеводороды, взвешенные твердые частицы, фотохимические оксиданты;
- полициклические ароматические углеводороды – ПАУ;
- следовые элементы (в основном металлы);
- постоянные газы (углекислый газ (CO<sub>2</sub>), фторхлорметаны и др.);
- пестициды;
- абразивные твердые частицы – кварц, асбест и др.;

- разнообразные загрязняющие вещества, оказывающие многостороннее действие на живой организм (нитрозамины, полихлорированные бифенилы (ПХБ), диоксины, сульфаты, нитраты, альдегиды, кетоны).

Рассмотрим некоторые, в первую очередь, *критериальные* загрязняющие вещества:

В атмосфере присутствуют в сколько-нибудь значительном количестве три *оксида азота*:  $N_2O$ ,  $NO$  и  $NO_2$ .

Закись азота или оксид азота(I) или «веселящий газ» ( $N_2O$ ) содержится обычно в концентрациях, не превышающих порога биологического действия. Газ инертен («время жизни» 4 года, в большей степени зависит от высоты) и в тропосфере практически не расходуется. Опасен для атмосферы в связи с тем, что в стратосфере подвергается фотолизу ( $\lambda < 230$  нм) с образованием  $NO$ , который является сильным катализатором разрушения озона.

Концентрация оксида азота или оксида азота(II) ( $NO$ ) также обычно не превышает порога биологического действия. Однако  $NO$  в городской атмосфере является предшественником диоксида азота, который участвует в образовании *фотохимического смога*.

Диоксид азота или оксид азота(IV) или «бурый газ» ( $NO_2$ ) является кислотным газом, так как реагируя с атмосферной влагой, образует азотную кислоту ( $HNO_3$ ), которая вызывает закисление осадков, коррозию металлических поверхностей. Оксид азота(IV) поглощает видимый свет и при концентрации более  $0,25$  млн<sup>-1</sup> может стать причиной ухудшения видимости. При больших концентрациях сдерживает рост растений, вызывает раздражающее действия (нарушает легочную функцию).

Более 50% общей эмиссии оксидов азота приходится на антропогенные источники. Из них 90% образуется при сжигании различных топлив (примерно половина в стационарных топливосжигающих установках, другая половина выбрасывается с выхлопными газами автотранспорта и авиации).

В глобальном масштабе антропогенный выброс оксидов азота не вызывает особой тревоги, в том числе и потому, что они составляют существенную часть азотного цикла в природе. Загрязнение атмосферы, вызванное  $NO_x$ , является местной проблемой: оксиды азота опасны для человека при высокой концентрации в городском воздухе в связи с их ролью в фотохимических реакциях, приводящих к образованию фотохимического смога.

*Диоксид серы* или оксид серы(IV) ( $SO_2$ ) относят к наиболее важным загрязняющим веществам атмосферного воздуха, опасным для человека, животных и растений. В фотохимических и каталитических процессах в

атмосфере  $\text{SO}_2$  частично превращается в трехокись, серную кислоту и ее соли. Выделить изолированно воздействие диоксида серы исключительно трудно, поэтому рассмотрим воздействие всех указанных соединений серы вместе.

Превращение  $\text{SO}_2$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и сульфаты сопровождается появлением в атмосфере мелкодисперсной пыли сульфатов (в частности сульфат аммония –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) и аэрозолей серной кислоты. Обладая значительной рассеивающей способностью они уменьшают видимость. Так как аэрозоли серной кислоты и сульфатов составляют 5-20% всего вещества взвешенных частиц в городском воздухе, они вносят значительный вклад в уменьшение видимости.

Образующиеся в атмосфере мелкокристаллические сульфаты служат ядрами конденсации при образовании облаков. При этом возрастает их плотность и способность отражать солнечный свет. Но даже в безоблачном небе тонкодисперсные пыли сульфатов образуют дымку с повышенной отражательной способностью и их накопление в атмосфере может привести к понижению температуры вблизи поверхности Земли.

Оксид серы(IV) умеренно растворим в воде, но окисляясь в атмосфере, он превращается в серную кислоту. Растворяясь в атмосферной влаге,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  является основой кислотных осадков. В результате повышается кислотность почв, поверхностных вод, усиливается коррозия металлов, разрушаются каменные поверхности.

Оксид серы(IV) относится к раздражающим газам. Вдыхание его вызывает поражение верхних дыхательных путей человека, появляются болезненные явления в легких, вплоть до отека легких и паралича дыхания. Однако наиболее серьезную опасность представляет  $\text{SO}_2$  в комбинации со взвешенными частицами (например, дыма, сажи) и влагой (именно таков основной состав *Лондонского смога*). Указанные компоненты усиливают действие друг друга (это явление называется синергизмом (*греч. synergía* – сотрудничество, содействие)).

Диоксид серы наносит существенный ущерб растениям – фитотоксичность его в 5 раз выше, чем у  $\text{NO}_2$ . Механизм интоксикации:  $\text{SO}_2$  поглощается растениями и окисляется в них до высокотоксичного сульфита  $(\text{SO}_3)^{2-}$ , который вызывает разрушение хлорофилла и изменения в минеральном составе зеленой массы. Затем сульфит медленно превращается в сульфат.

Более 75% антропогенных выбросов  $\text{SO}_2$  приходится на сжигание ископаемого топлива. Другими важными источниками  $\text{SO}_2$  являются предприятия цветной металлургии (особенно медеплавильные заводы), заводы по производству серной кислоты, целлюлозно-бумажные фабрики и др.

**Оксид углерода** или оксид углерода(II) или угарный газ (CO) – наиболее опасное для человека газообразное загрязняющее вещество атмосферного воздуха, токсичность которого обусловлена его реакцией с гемоглобином крови. Сродство гемоглобина к CO в 210 раз выше, чем к кислороду, следовательно концентрация CO, необходимая для полного насыщения гемоглобина составляет 1/210 концентрации кислорода, необходимой для этой же цели. Образование карбоксигемоглобина уменьшает приток кислорода к тканям. В результате на первом этапе ухудшается острота зрения, ориентация во времени, снижается слух, в дальнейшем нарушаются сердечная и легочная деятельность.

В глобальном масштабе CO опасности не представляет, т.к. постепенно разлагается почвенными грибами.

Около 75% антропогенного CO поступает в атмосферу городов с отработавшими газами автотранспорта. Средняя концентрация CO в атмосфере  $0,1 \text{ млн}^{-1}$ , но она существенно увеличивается (до  $30 \text{ млн}^{-1}$ ) в районах автострад и в городах в час пик.

**Углеводороды.** Около 50% антропогенной эмиссии углеводородов приходится на выбросы автотранспорта, 15% составляют выделения углеводородов при сгорании жидкого топлива на ТЭС, а 26% приходится на сгорание угля и твердых бытовых отходов (ТБО).

В выхлопных газах каждого двигателя внутреннего сгорания (ДВС) можно идентифицировать до 200 различных углеводородов.

Углеводороды при наблюдаемых концентрациях, за исключением *полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)*, не обнаруживают прямых вредных воздействий на человека. Однако под воздействием солнечной радиации оксиды азота в присутствии несгоревших углеводородов образуют *фотохимические оксиданты* – компоненты фотохимического смога, вредно воздействующие на здоровье человека, растительность и животных.

Некоторые из углеводородов проявляют индивидуальное действие, например, метан является парниковым газом, этилен – фитотоксичен и т.д.

**Фотохимические оксиданты** являются вторичными загрязняющими веществами, то есть образуются непосредственно в воздухе в результате фотохимических и химических превращений с участием диоксида азота и углеводородов. К ним относятся озон, пероксиацетилнитрат (ПАН), пероксибензоилнитрат (ПБН), перекисные и гидроперекисные соединения и др.

Появление в воздухе фотохимических оксидантов является признаком образования *фотохимического (Лос-Анджелесского) смога*. Оксиданты обладают резким лакриматорным (*лат. lacrima* – слеза) действием – раздражают носоглотку, приводят к спазмам грудной клетки,

вызывают сильный кашель. Оксиданты повреждают растения (оппадают листья), разрушают резинотехнические изделия и др.

Поскольку их образование связано с развитием промышленности и автотранспорта, фотохимические оксиданты загрязняют воздушный бассейн большинства крупных городов мира.

Из *специфических загрязняющих атмосферу веществ* рассмотрим лишь некоторые наиболее опасные.

**Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)** могут быть как первичными так и вторичными загрязняющими веществами атмосферы и обычно адсорбируются на взвешенных частицах. Основными источниками эмиссии ПАУ являются:

- отработавшие газы автотранспорта;
- ТЭС, работающие на нефти и каменном угле;
- предприятия нефтехимической промышленности.

Одним из типичных представителей ПАУ является бенз(а)пирен (рис.4.3, табл.4.3). Многие ПАУ обладают выраженным канцерогенным, мутагенным, тератогенным, эмбриотоксическим действием и представляют серьезную опасность для человека.

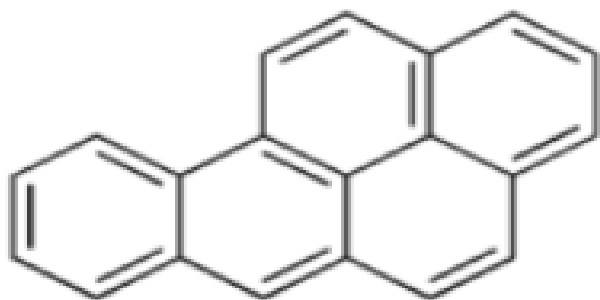


Рис. 4.3. Структурная формула 3,4-бенз(а)пирена

два ароматических кольца, связанных между собой двумя кислородными мостиками (рис.4.4).

**Диоксины** относятся к гетероциклическим полихлорированным соединениям, в структуре которых присутствуют

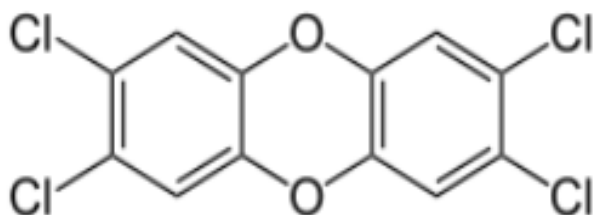


Рис. 4.4. Структурная формула 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-диоксина – одного из наиболее токсичных хлорпроизводных дибензо[b, e]-1,4-диоксина

Диоксины обычно поступают в атмосферный воздух:

- при производстве органических веществ на основе ароматических соединений и хлора;
- в составе выбросов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, предприятий металлургической промышленности;

- источником диоксинов может быть горящая свалка твердых бытовых отходов, содержащих изделия из поливинилхлорида;
- в результате лесных пожаров, если они возникли после обработки леса пестицидами.

Организм человека подвержен действию диоксинов через воздух, воду, а также пищевые продукты.

Диоксины относят к суперэкоотоксикантам (см.табл.4.3), так как даже ничтожно малые дозы вызывают мутагенный эффект, ингибирующее и индуцирующее действие по отношению к некоторым ферментам живого организма, вызывают у человека повышение аллергической чувствительности к различным ксенобиотикам.

Таблица 4.3

**ПДК и ОБУВ загрязнения атмосферного воздуха суперэкоотоксикантами**

№ п/п	Вещество	ПДК или ОБУВ
1	Диоксины*	0,5 пг/м <sup>3</sup>
2	3,4-бенз(а)пирен	1·10 <sup>-6</sup> мг/м <sup>3</sup> , 0,00015 (среднесменная)
3	Гексахлорциклогексан	0,03 мг/м <sup>3</sup>
4	Полихлорированные бифенилы	1 мкг/м <sup>3</sup>

\*в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлоро-п-дibenзодиоксин

Комплексный характер действия этой группы соединений приводит к подавлению иммунитета, ослаблению способности организма адаптироваться к условиям окружающей среды, истощению организма. Кроме того, диоксины поражают печень и пищевой тракт человека. В природной среде эти суперэкоотоксиканты достаточно устойчивы и могут десятилетиями находиться без изменений.

### **4.3. Стандарты качества окружающей среды. Нормирование качества атмосферного воздуха**

Одно из направлений охраны природы – разработка нормативных и законодательных актов в этой области. К их числу относятся стандарты качества природной среды, которые устанавливают ее оптимальные характеристики, достигаемые при существующем уровне технического прогресса и обеспечивающие сохранение здоровья населения, развитие животного и растительного мира. Стандарты являются обязательными для использования на всей территории страны. Это обеспечивает применение единых и обязательных методов и правил охраны природы, а также единой терминологии.

Стандарты подразделяют на *экологические и эмиссионные*.

*Экологические стандарты* устанавливают предельно допустимые нормы антропогенного воздействия на природную среду, превышение кото-

рых угрожает здоровью человека, пагубно для растительного и животного мира. Такие нормы оформляют в виде предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ и предельно-допустимых уровней (ПДУ). Последние разработаны, например, для шумовых, электромагнитных и других загрязнений.

*Эмиссионные стандарты* (нормативы) качества природной среды регламентируют экологически безопасные количества загрязнителей, выделяющихся при работе производственных, коммунально-бытовых и аналогичных объектов. К ним относятся *предельно-допустимый выброс (ПДВ)* в атмосферу и *нормативы допустимого сброса (НДС)* в поверхностные водоемы. В эту же группу входят *нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение* и др.

При нормировании ПДК используют принцип лимитирующих показателей, в соответствии с которым нормирование производят по наиболее чувствительному для обслуживающего персонала или окружающей среды индексу. Так, если запах вещества ощущается при концентрациях, не оказывающих влияния на здоровье человека окружающую среду, то нормирование производят с учетом порога обонятельного ощущения. Если вещество оказывает на окружающую среду вредное воздействие в меньших концентрациях, чем на организм человека, то при нормировании исходят из порогового действия этого вещества на окружающую среду.

С целью соблюдения стандартов качества окружающей среды при размещении, проектировании и вводе в эксплуатацию новых и реконструкции имеющихся предприятий, сооружений и других объектов, при внедрении новых технологических процессов и оборудования должны предусматриваться улавливание, утилизация, обезвреживание вредных веществ и отходов или полное исключение их выбросов и сбросов. При этом исходят из того, что их совокупность в пределах ПДВ, НДС и вредных физических воздействий обеспечивает соблюдение нормативов предельно допустимых концентраций и предельно допустимых уровней. Таким образом, эмиссионные нормативы непосредственно связаны с экологическими, то есть с ПДК.

Если в воздухе городов и других населенных пунктов концентрация вредных веществ уже превышает ПДК, а значения ПДВ по объективным причинам предприятиями не могут быть достигнуты, то для таких предприятий разрешено устанавливать временно-согласованные выбросы (ВСВ) вредных веществ. При этом оговаривается необходимость поэтапного снижения показателей выбросов вредных веществ до значений, которые обеспечивают соблюдение ПДВ.

При невозможности уменьшения загрязнений до установленных нормативов соответствующие предприятия, сооружения и иные объекты могут быть закрыты или их профиль подлежит изменению.

Законодательством об охране окружающей среды, как уже отмечено, предусматривается ряд нормируемых показателей ее качества. Основными среди них являются предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ.

**Предельно допустимая концентрация вещества** – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни (ГН 2.1.6.1338-03).

*Под прямым воздействием* имеется в виду нанесение организму временного раздражения, вызывающего кашель, головные боли, ощущение запаха и т.п., которое наступает при превышении пороговой величины концентрации вещества. К прямому воздействию относится также влияние тех вредных веществ, которые, накапливаясь в организме, при превышении определенной дозы могут вызывать патологические изменения.

*Под косвенным воздействием* имеются в виду такие изменения в окружающей среде, которые, не оказывая вредного влияния на организм человека, ухудшают обычные условия обитания, например увеличивают число туманных дней, поражают зеленые насаждения и т.п.

В настоящее время установлены ПДК для более чем 2500 индивидуальных веществ, находящихся в различном агрегатном состоянии (твердом, жидком или газообразном).

Величины ПДК устанавливаются главным образом на основании изучения влияния веществ на человеческий организм без постановки специальных испытаний. Последние допускаются лишь в отдельных случаях, например для обнаружения порогов восприятия запахов. Значительная часть ПДК определяется в опытах на животных (белых крысах, морских свинках и др.) В специальных камерах животных подвергают круглосуточному воздействию вредного вещества в воздухе в течение 3-4 месяцев с параллельным исследованием его влияния на различные органы животных. При этом используют комплекс методов (биологических, биохимических, физиологических, генетических и др.). С определенной степенью корректности полученные данные интерпретируют применительно к человеческому организму.

Поскольку люди по-разному реагируют на загрязнения, то пороговая концентрация вредных веществ определяется по реакциям наиболее восприимчивых индивидов. Величины ПДК устанавливаются обычно с двукратным запасом по отношению к пороговым величинам. В отдельных



случаях для особо опасных веществ ПДК берутся с еще большим запасом. Например, для бенз(а)пирена, дающего канцерогенный эффект, был принят десятикратный запас ПДК.

При одновременном присутствии нескольких вредных соединений, что обычно имеет место, может наблюдаться эффект их однонаправленного (суммированного) действия. В этих случаях суммарная концентрация  $C$  загрязняющих веществ не должна превышать единицы:

$$C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + C_n/ПДК_n \leq 1, \quad (4.1)$$

где  $C$  с индексами – концентрации вредных веществ в окружающей среде,  $ПДК$  с индексами – соответствующие предельные концентрации этих же соединений.

В настоящее время в нормативных документах отражено несколько десятков групп веществ, обладающих эффектом суммации. Назовем некоторые из них: ацетон и фенол; аэрозоли пентавалентного оксида ванадия и оксида хрома трехвалентного; сернистый ангидрид с аэрозолем серной кислоты или с металлическим никелем, сероводородом, озоном, диоксидом азота, фенолом, фтористым водородом; аммиак и оксид азота; оксид углерода и пыль цементного производства.

Применительно к атмосферному воздуху различают ПДК: *максимальные разовые вредных веществ в воздухе населенных мест (ПДК<sub>мр</sub>)*, *среднесуточные вредных веществ в воздухе населенных мест (ПДК<sub>сс</sub>)*, *вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>)*. Все они измеряются массой загрязняющего вещества в единице объема воздуха ( $мг/м^3$ ) при нормальных условиях (давление 1 атм., температура 0° С).

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов регламентируются списком Министерства здравоохранения СССР № 3086-84 с дополнениями, устанавливающими класс опасности вещества (всего их четыре), допустимые максимальные разовые и среднесуточные концентрации примесей.

**ПДК<sub>мр</sub>** – это концентрация, не вызывающая рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, световая чувствительность, изменение биоэлектрической активности головного мозга и др.). ПДК<sub>мр</sub> – основная характеристика опасности тех вредных веществ, которые оказывают немедленное раздражающее действие, ограниченное временем (не более 20 мин). Продолжительность отбора пробы для определения максимальных разовых концентраций также составляет 20 мин.

**ПДК<sub>сс</sub>** – это концентрация вещества в воздухе населенного пункта не оказывающая на человека прямого или косвенного негативного влияния при неопределенно долгом круглосуточном вдыхании. Она применяется для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и

другого вредного воздействия вещества при его накоплении в организме человека. При этом имеются в виду среднесуточные концентрации в среднем за год, а не за каждые отдельные сутки. Суточные концентрации веществ определяются из данных непрерывного, в течение 24 ч, отбора пробы.

ПДК<sub>мр</sub> с 1998 г. всегда имеет численное значение больше ПДК<sub>сс</sub> для одного и того же вещества (табл. 4.4).

Таблица 4.4

**Санитарно-гигиенические нормативы «классических»  
загрязнителей атмосферного воздуха  
(наиболее распространенные, контролируются во всем мире)**

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности
	максимальная разовая	среднесуточная	
Азота диоксид	0,085	0,04	2
Взвешенные вещества (пыль)	0,5	0,15	3
Озон	0,16	0,03	1
Сажа	0,5	0,05	3
Серы диоксид	0,15	0,05	3

Для веществ, которые и обладают немедленным раздражающим действием, и могут накапливаться в организме, устанавливается как ПДК<sub>мр</sub>, так и ПДК<sub>сс</sub>. Для особо токсичных веществ (например, пары ртути, диоксины) норматив ПДК<sub>мр</sub> отсутствует.

Для ряда территорий вводят более строгие, чем для населенных мест, нормативы ПДК. Так, в зонах санаторной охраны курортов, местах размещения крупных санаториев и домов отдыха, зонах отдыха городов они на 20% меньше, чем в жилых районах.

**ПДК<sub>рз</sub>** – концентрация вредного вещества, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений (ГН 2.2.5.1313-03).

**Рабочей зоной** в соответствии с гигиеническими нормами (ГН 2.2.5.1313-03) считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного (непостоянного) пребывания работающих.

ПДК<sub>рз</sub>, как правило, значительно больше, чем для населенных мест. Это объясняется тем, что на предприятии люди присутствуют лишь часть суток, там не могут находиться дети и пожилые люди с ослабленным здоровьем. Кроме того, сами критерии чистоты воздуха для рабочей зоны менее жестки, чем для воздуха жилых районов. В последних не

допускается, например, ощущения посторонних запахов во избежание дискомфорта. В рабочей же зоне требуется лишь не нанести ущерб здоровью человека за время пребывания на работе.

В зависимости от токсичности загрязнители атмосферы подразделяются на четыре класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные (табл. 4.5).

Таблица 4.5

**Взаимосвязь ПДК<sub>рз</sub> с классами опасности веществ**

Показатель	Классы опасности			
	1	2	3	4
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Менее 0,1	0,1...1,0	1,0...10	Более 10

Концентрация вредных веществ в атмосфере зависит от их количества, выбрасываемого всеми источниками загрязнения. Чтобы эти концентрации не превышали ПДК, для каждого источника загрязнения устанавливают *предельно допустимый выброс (ПДВ)*.

**ПДВ** – научно-технический норматив, устанавливаемый из условия, чтобы содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от источника или их совокупности не превышало нормативов качества воздуха для населения, животного и растительного мира (ГОСТ 17.2.1.04-77). Таким образом, ПДВ – это максимально возможная для данного источника за единицу времени масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Величина ПДВ зависит от местоположения источника по отношению к жилым районам, сочетания выбросов рассматриваемого и других источников, условий рассеивания загрязнителей, температуры воздуха, рельефа местности и других факторов. Поэтому для одинаковых источников загрязнений величины ПДВ могут быть разными. Их устанавливают отдельно для каждого из загрязняющих веществ.

Для неорганизованных выбросов и совокупности мелких одиночных источников (вентиляционные выбросы, выбросы стационарных энергоустановок и т.п.) определяют суммарные ПДВ.

Единицей измерения ПДВ является масса загрязнителей в граммах, выбрасываемая за секунду. Контрольные значения предельно допустимых выбросов не должны превышать в любой двадцатиминутный интервал времени. В целях удобства расчетов при проектировании по каждому веществу для индивидуального источника и в целом для предприятия определяют также выброс в тоннах за год.

Сущность расчета ПДВ состоит в том, чтобы выбросы от данного источника в совокупности с выбросами других источников и с фоновой кон-

центрацией  $C_\phi$  не создавали приземную концентрацию  $C$  вредного вещества, превышающую ПДК:

$$C + C_\phi < \text{ПДК}, \quad (4.2)$$

Порядок и правила установления ПДВ (г/с) определяет ГОСТ 17.2.3.02-78. В частности, для высокого одиночного источника загрязнения, выбрасывающего нагретые газы ПДВ рассчитывается по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_\phi) \cdot H^2}{AFmn\eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T} \quad (4.3)$$

где  $H$  – высота источника выброса над земной поверхностью, м;  $V_1$  – объем выбрасываемого газа, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – разность температур выбрасываемой смеси и воздуха, °С;  $A$  – коэффициент температурной стратификации (неоднородности) атмосферы;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере;  $m, n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие подъем факела выброса под трубой.

Работы по установлению ПДВ для всех предприятий и объектов населенного пункта производятся под руководством назначенной для него головной организации. Предельно допустимые выбросы согласуются с организацией, осуществляющей контроль за состоянием атмосферы воздуха от загрязнений. Нормы ПДВ для предприятий пересматриваются не реже одного раза в 5 лет.

В ряде случаев, особенно при проектировании новых производств, нормативная база отсутствует. В такой ситуации могут быть использованы расчетные методы определения временных нормативных показателей.

Применение расчетных методов продиктовано стремлением устранить разрыв между ростом числа новых химических соединений, поступающих в окружающую среду, и реальными возможностями быстрого установления для них экспериментально обоснованных ПДК. Практика показывает, что по мере накопления базы опытных данных и совершенствования методов расчетов вычисленные значения временно-допустимых концентраций (ВДК) все более приближаются к экспериментальным и узаконенным значениям ПДК (коэффициент корреляции на уровне 0,7).

Материалы, касающиеся обоснования ВДК конкретных химических соединений, поступают в соответствующие проблемные комиссии Минздрава, где они рассматриваются и утверждаются. Срок действия ВДК 2-3 года, но он может быть продлен.

На основе ВДК санитарно-гигиенические институты Минздрава по договору с заказчиком разрабатывают для интересующего вещества временный ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ). До окончания разработки ПДК токсичность выбрасываемого вещества обычно оценивается по аналогии с токсичным действием близкого ему по химическому строению вещества, для которого величины ВДК и ОБУВ уже установлены. В настоящее время известны ОБУВ более чем 1200 веществ.

*Качеством атмосферного воздуха* называется совокупность физических, химических и биологических свойств атмосферного воздуха, отражающих степень его соответствия гигиеническим и экологическим нормативам качества атмосферного воздуха (ФЗ № 96 «Об охране атмосферного воздуха»).

Основными показателями качества атмосферного воздуха, характеризующими воздействие на природную среду, являются:

- *критические нагрузки* – потоки массы в единицу времени и объект окружающей среды (табл. 4.6);

- *критические уровни концентрации загрязняющих веществ* – максимальные значения выпадений концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, которые не приводят к вредным воздействиям на структуру и функции экосистем в долговременном плане.

Для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха используются показатели качества воздуха. В соответствии с РД 52.04.667-2005 в качестве обязательных статистических характеристик загрязнения воздуха в городских населенных пунктах используются три показателя качества воздуха: *индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)*, *стандартный индекс (СИ)* и *наибольшая повторяемость превышения ПДК (НП)*.

**ИЗА** – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей (рассчитывается по 5 основным загрязняющим веществам для периода измерений равного году).

Комплексный ИЗА рассчитывается по формуле, которая учитывает среднегодовую концентрацию загрязняющего вещества, его среднесуточную предельно допустимую концентрацию и коэффициент, который зависит от степени вредности загрязняющего вещества:

$$In = \sum (x_i / ПДК_i) \cdot C_i, \quad (4.4)$$

где  $x_i$  – средняя за год концентрация  $i$ -того вещества,  $C_i$  – коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха  $i$ -тым веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы,  $In$  – ИЗА, безразмерная величина.

**Критерии загрязнения атмосферного воздуха по веществам, влияющим на наземную растительность и водные экосистемы  
(по И. О. Тихоновой и др.)**

№	Показатели, мкг/м <sup>3</sup>	Параметры		Норма	Время воздействия
		экологические бедствия	чрезвычайные экологические ситуации		
Критические уровни для наземной растительности					
1	SO <sub>2</sub>	>200	100-200	<20	Среднегодовое
2	NO <sub>2</sub>	>300	200-300	<30	Среднегодовое
3	HF	>20	10-20	<2-3	Долговременное
4	O <sub>3</sub>	>1500	1000-1500	<150	Максимальное за 1 час
5	O <sub>3</sub>	>600	400-600	<60	Среднее в течение 3 ч
6	O <sub>3</sub>	>500	300-500	<50	Среднее с 9 до 16 ч
Критические нагрузки для лесных и водных экосистем					
7	Соединения S, г/м <sup>2</sup> в год	>5,0	3,0-5,0	<0,32	Северные и Центральные районы
8	Соединения N, г/м <sup>2</sup> в год	>4,0	2,0-4,0	<0,28	Северные и Центральные районы
9	Ионы H <sup>+</sup> г/м <sup>2</sup> в год	>300	200-300	<20	Северные и Центральные районы

Установлены значения  $C_i$  для веществ 4, 3, 2 и 1 классов опасности, которые равны 0,85; 1,0; 1,3 и 1,5 соответственно. Диоксид серы относится по степени вредности к третьему классу опасности ( $C_i=1$ ), к ней приводится вредность всех веществ.

ИЗА характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха.

**СИ** – стандартный индекс, наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК. Он определяется из данных наблюдений на посту за одной примесью, или на всех постах рассматриваемой территории за всеми примесями за месяц или за год. Характеризует степень кратковременного загрязнения.

**НП** – наибольшая повторяемость (в процентах) превышения максимально разовой ПДК по данным наблюдений за одной примесью на всех постах территории за месяц или за год.

Установлены *четыре категории качества воздуха* в зависимости от уровня загрязнения:

- низкий при ИЗА от 0 до 4, СИ<1, НП < 10%;
- повышенный при ИЗА от 5 до 6, СИ<5, НП от 10 до 20%;
- высокий при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10, НП от 20 до 50%;
- очень высокий при ИЗА равном или больше 14, СИ>10, НП>50%.

Показатель ИЗА применяется также для изучения связи между уровнем загрязнения и заболеваемостью населения.

#### 4.4. Самоочищение атмосферного воздуха

**Самоочищение атмосферы** – очищение атмосферы от загрязнителей путем естественных процессов их осаждения и вымывания атмосферными осадками.

В основе самоочищения атмосферы лежат *физические* и *физико-химические процессы* (адгезия, адсорбция, абсорбция, окислительно-восстановительные химические реакции и др.), которые обуславливают седиментацию, вымывание атмосферных примесей. При этом имеют значение агрегатное состояние, растворимость, размер частиц атмосферных примесей. По агрегатному состоянию различают твердые аэрозольные, газо- и парообразные атмосферные загрязнения. Атмосферный воздух с примесями представляет собой аэродисперсную систему, в которой атмосферный воздух является дисперсионной средой, а примеси – дисперсной фазой.

Согласно классификации аэродисперсные системы в зависимости от степени дисперсности примесей подразделяют на три группы:

1) аэрозоли с величиной частиц 0,001-0,1 мкм (*дымы* с твердой фазой и *туманы* с жидкой фазой), которые наиболее активны, способны к молекулярной диффузии, оседают только после коагуляции; для частиц размером 0,01 мкм и менее скорость диффузии превышает скорость оседания в 1000 раз;

2) *тонкие аэросуспензии* с размером частиц 0,1-10 мкм (тонкая пыль), которые оседают согласно закону Стокса;

3) *грубые аэросуспензии* с размером частиц 10-100 мкм (грубая пыль), которые выпадают из воздуха.

Основной удельный вес составляют частицы размером от 0,1 до 10 мкм. Частицы размером до 0,1 мкм имеют свойства молекул и характеризуются беспорядочным перемещением, вызванным столкновением с молекулами газа. Частицы размером более 1 мкм, но не менее 20 мкм, перемещаются с потоком газовой смеси. Частицы размером более 20 мкм быстро оседают, в результате чего находятся в воздухе относительно недолго.

В состав частиц входят элементарный углерод (в виде сажи или графита), а также углеводороды (в процессе сгорания топлива и кислородсодержащих органических соединений) – продукты фотоокисления летучих органических соединений при участии азота оксидов, олефины с числом атомов углерода более семи, цикло-олефины. На аэрозольных частицах сорбируются нитраты и сульфаты, которые образуются вследствие нейтрализации азотной и серной кислот под действием аммиака или карбонатной пыли. Газообразные загрязнения не подпадают под действие си-

лы тяжести, движение же твердых частиц зависит от действия как массы, так и среды-носителя, связанного с перемещением воздушных масс.

Зеленые насаждения выполняют роль своеобразных «фильтров» атмосферных примесей. Способность разных видов растений задерживать пыль обусловлена строением их листовых пластинок. Наиболее эффективны в этом отношении кустарники с клейкими шероховатыми листьями. Так, вяз задерживает пыли в 6 раз больше, чем тополь, а 1 га березовых насаждений – 1100-2300 кг за вегетационный период.

Зеленые насаждения также поглощают и нейтрализуют токсичные газы. Фитонциды, выделяемые в окружающую среду растениями, могут осаждать, окислять и нейтрализовать летучие вещества. Эффективнее всего поглощают и нейтрализуют газы следующие породы зеленых насаждений: клен ясенелистый, клен остролистый, липа мелколистная, айлант высокий, ель колючая, береза повисшая, граб обыкновенный, явор. Химические вещества, попадающие из атмосферы в ткани растений, локализуются в хлоропластах – органеллах, которые содержат фотосинтетические пигменты растений (хлорофилл, каротиноиды).

Разные вещества вымываются из атмосферы во время выпадения осадков. Этим механизмом примеси выводятся более полно, чем при сухом выпадении. Процесс вымывания примесей их атмосферного воздуха может быть внутриоблачным и подоблачным. В первом случае примеси являются ядрами конденсации и адсорбируются мелкокапельной влагой. В этот процесс вовлекаются и газообразные компоненты. При подоблачном вымывании при выпадении осадков из промываемого столба воздуха механическим путем, растворением и адсорбцией удаляются частицы любых размеров.

#### 4.5. Методы очистки промышленных выбросов

Очистка выбросов в атмосферу складывается из двух принципиально различных процессов:

- *очистка от аэрозолей* – извлечение содержащихся в выбросах взвешенных твердых и жидких примесей (пыли, дыма, капелек тумана или брызг);

- *физико-химическая очистка* – извлечение или обезвреживание тех или иных газо- и парообразующих примесей.

Наиболее общая классификация методов и аппаратов для очистки и обезвреживания газовых выбросов от различных примесей приведена на рисунке 4.5. Нужно отметить, что она не охватывает всех существующих методов и тем более аппаратов для газоочистки.

Для обезвреживания *аэрозолей* (пылей, туманов) используют сухие, мокрые и электрические методы. Кроме того, аппараты отличаются друг от



друга как по конструкции, так и по принципу осаждения взвешенных частиц. В основе работы сухих аппаратов лежат *гравитационные, инерционные и центробежные* механизмы осаждения или *фильтрационные* механизмы. В мокрых пылеуловителях осуществляется контакт запыленных газов с жидкостью. При этом осаждение происходит на капли, на поверхность газовых пузырей или на пленку жидкости. В электрофильтрах отделение заряженных частиц аэрозоля происходит на осадительных электродах.

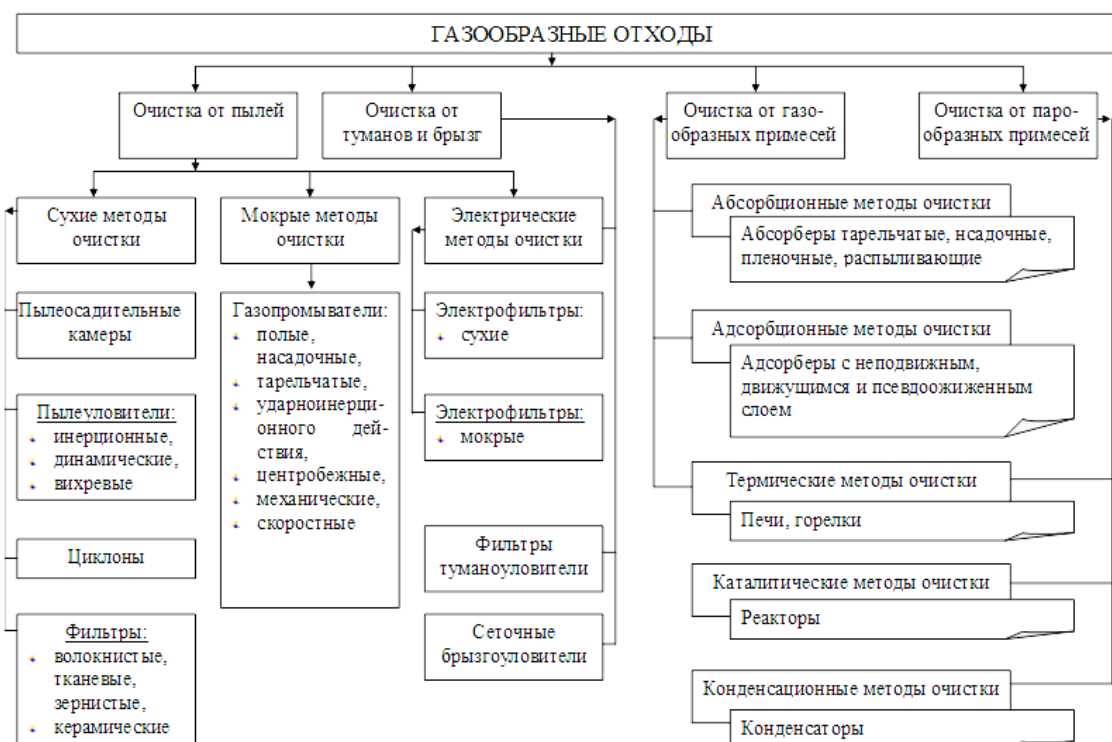


Рис. 4.5. Классификация методов и аппаратов для очистки и обезвреживания газовых выбросов от различных примесей

Для обезвреживания отходящих газов от **газообразных и парообразных** токсичных веществ применяют следующие методы: *абсорбции (физической и хемосорбции), адсорбции, каталитические, термические, конденсационные.*

Для *физической абсорбции* на практике применяют воду, органические растворители, не вступающие в реакцию с извлекаемым газом, и водные растворы этих веществ. При *хемосорбции* в качестве абсорбента используют водные растворы солей и щелочей, органические вещества и водные суспензии различных веществ.

*Адсорбционные* методы очистки газов используют для удаления из них газообразных и парообразных примесей. Методы основаны на поглощении примесей пористыми телами – адсорбентами. Процессы очистки проводят в периодических или непрерывных адсорберах.

Достоинством методов является высокая степень очистки, а недостатком – невозможность очистки запыленных газов.

*Каталитические* методы очистки основаны на химических превращениях токсичных компонентов в нетоксичные на поверхности твердых катализаторов. Очистке подвергаются газы, не содержащие пыли и катализаторных ядов. Методы используются для очистки газов от оксидов азота, серы, углерода и от органических примесей.

В рекуперационной технике наряду с другими методами для улавливания паров летучих растворителей используют методы *конденсации*. В основе метода конденсации лежит явление уменьшения давления насыщенного пара растворителя при понижении температуры. Смесь паров растворителя с воздухом предварительно охлаждают в теплообменнике, а затем конденсируют. Достоинствами метода являются простота аппаратного оформления и эксплуатации рекуперационной установки. Однако проведение процесса очистки паровоздушных смесей методом конденсации сильно осложнено, поскольку содержание паров летучих растворителей в этих смесях обычно превышает нижний предел их взрываемости.

*Термические* методы (методы прямого сжигания) применяют для обеззараживания газов от легкоокисляемых токсичных, а также дурнопахнущих примесей. Методы основаны на сжигании горючих примесей в топках печей или факельных горелках. Преимуществом метода является простота аппаратуры, универсальность использования. Недостатки: дополнительный расход топлива при сжигании низкоконцентрированных газов, а также необходимость дополнительной абсорбционной или адсорбционной очистки газов после сжигания.

Но это не единственная классификация методов. С точки зрения некоторых ученых и разработчиков методов и средств очистки, наиболее целесообразным было бы введение терминологии на основе наименования основного, доминирующего явления, приводящего к разделению загрязненных газовых выбросов.

Разделение компонентов основано на различиях в их свойствах и на разнице в эффективности воздействия на них тех или иных сил. Из гомогенной газовой смеси можно выделить загрязнители, основываясь на разнице главным образом химических свойств загрязнителей и газовой среды, а из гетерогенной – основываясь на разнице как химических, так и физических свойств.

С учетом этого для очистки газовых выбросов в качестве основных применяют *гравитационные, инерционные* (в том числе *центробежные*), *механические, электрические, адгезионные, абсорбционные, адсорбционные и термические* (в том числе *каталитические и*

конденсационные) методы разделения компонентов. В качестве дополнительных методов, повышающих эффективность основных, используют: повышение турбулизации газового потока; конденсацию на пылинках какой-либо жидкости; высокоинтенсивные звуковые колебания, приводящие к коагуляции (укрупнению) частиц загрязнителя; адгезионные явления (смачивание), способствующие выведению из зоны разделения частиц загрязнителя, выделенных из газового потока.

*Гравитационное разделение* основано на осаждении твердых или жидких частиц под действием силы тяжести из потока загрязненного воздуха вниз по направлению ко дну аппарата. При этом кроме силы тяжести на частицы действует сопротивление газовой среды. Для осаждения необходимо создать соответствующий режим движения загрязненного воздуха в аппарате с учетом размера частиц, их плотности и т.д. С уменьшением размера частиц скорость осаждения резко снижается и возрастает броуновское смещение. Высокодисперсные аэрозольные частицы (размерами менее 0,5 мкм) практически не осаждаются, а благодаря броуновскому движению перемещаются в любом направлении.

*Инерционное разделение* основано на том, что при криволинейном движении газового потока на твердые или жидкие частицы загрязнителя и на молекулы газа действует сила инерции. Чем большей массой обладает частица, тем большее она будет испытывать воздействие, заставляющее ее стремиться сохранить первоначальное направление движения и осесть на стенках, перегородках, сетках и других элементах аппарата.

*Центробежное разделение* является частным случаем инерционного разделения, реализуемого при круговом движении газового потока. Под действием возникающих центробежных сил частицы загрязнителя отбрасываются на периферию аппарата и там осаждаются.

*Механическое разделение (фильтрация)*. При прохождении загрязненного газа сквозь пористую среду взвешенные твердые или жидкие частицы задерживаются в узких извилистых каналах и порах фильтрующего материала, пропускающего газ. Выбор пористой перегородки обусловлен рядом факторов, из которых основными являются: химические свойства фильтруемого газа, его температура, гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки и размеры взвешенных в газе частиц.

*Электрическое разделение (осаждение в электрическом поле)* взвешенных частиц и газов заключается в ионизации газа под действием коронного разряда в поле высокого напряжения (до 80 кВ), зарядении образующимися ионами частиц загрязнителя, движении заряженных частиц в электрическом поле к осадительному электроду и осаждении их на нем.

*Адгезионное разделение* основано на прилипании жидких или твердых частиц загрязнителя к жидкой или твердой поверхности при их контакте за счет сил межмолекулярного притяжения. Следствием адгезии жидкости к определенной поверхности является смачивание. Адгезия наиболее применима при очистке газовых выбросов от пыли (адгезия между твердыми частицами и жидкостью, главным образом, водой) и от спреев (адгезия между частицами жидкости и твердой поверхностью элементов аппарата). Контакт частиц с поверхностью осуществляется как посредством их инерционного осаждения (для частиц более 0,2 мкм), так и под действием броуновского движения (для частиц менее 0,1 мкм).

*Адсорбционное разделение* применяется при очистки гомогенных газовых смесей и происходит за счет преимущественного концентрирования молекул газа на поверхности твердого (или жидкого) тела (адсорбента). Явление адсорбции связано с тем, что силы межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз не скомпенсированы и, следовательно, пограничный слой обладает избытком энергии – свободной поверхностной энергией, которая уменьшается в результате притяжения поверхностью раздела фаз находящихся вблизи нее молекул адсорбата, то есть процессы адсорбции энергетически выгодны. В чистом виде адсорбция применяется для разделения газовых смесей на твердом адсорбенте. На жидкой поверхности адсорбция газов является составной частью процесса абсорбционного разделения газовых смесей.

*Абсорбционное разделение* применяется для очистки гомогенных газовых смесей и происходит за счет поглощения вещества из газовой смеси жидкостями или (реже) твердыми телами (абсорбентами). При абсорбции поглощение происходит во всем объеме абсорбента (при адсорбции – поглощение поверхностью). Скорость абсорбции тем больше, чем выше парциальное давление поглощаемого вещества в газовой смеси и чем ниже температура абсорбента. Если при абсорбции происходит химическое взаимодействие поглощаемого вещества с абсорбентом, то процесс относят к *хемосорбции*.

*Термические методы обезвреживания* газовых выбросов применимы при высокой концентрации горючих органических загрязнителей или оксида углерода. Простейший метод – прямое (факельное) сжигание – возможен, когда концентрация горючих загрязнителей близка к нижнему пределу воспламенения. В этом случае примеси служат топливом, температура процесса – 750-900° С. Когда концентрация горючих примесей меньше нижнего предела воспламенения, то необходимое количество теплоты подводят извне добавкой горючего газа и его сжиганием в очищаемом газе. Горючие газы проходят систему утилизации теплоты и выбрасываются в атмосферу.

*Конденсационное разделение* применяется для очистки гомогенных газовых смесей и происходит за счет перехода загрязнителя из газообразного состояния в жидкое или твердое вследствие его охлаждения (реже – сжатия). Конденсация пара возможна только при температурах ниже критической для данного вещества и обычно осуществляется на охлаждаемых поверхностях. В присутствии неконденсирующихся газов конденсация начинается при достижении паром у поверхности охлаждения парциального давления и температуры, соответствующих состоянию насыщения (точке росы). Известны два режима поверхностной конденсации: пленочный (реализуется на смачиваемой поверхности) и капельный (наблюдается на несмачиваемой поверхности). Конденсация может происходить также внутри объема парогазовой смеси. Для начала объемной конденсации пар должен быть заметно перенасыщен. Конденсация зависит от содержания в газе мельчайших пылинок (аэрозолей), которые являются готовыми центрами конденсации. Центрами конденсации могут служить также электрически заряженные частицы, в частности ионизированные атомы.

*Каталитические методы* очистки газов основаны на реакциях в присутствии твердых катализаторов. В результате каталитических реакций примеси, находящиеся в газе, превращаются в другие соединения, то есть примеси не извлекаются из газа, а трансформируются в безвредные соединения (присутствие которых допустимо в выхлопном газе) либо в соединения, легко удаляемые из газового потока.

### Список литературы



1. Мак-Ивен М. Химия атмосферы / М. Мак-Ивен, Л. Филипс. – М.: Мир, 1978. – 375 с.
2. Браже Р.А. Восемь лекций по физике атмосферы и гидросферы: учебное пособие / Р. А. Браже. – 2-е изд., испр. и доп. – Ульяновск, 2010. – 82 с. Режим доступа: <http://www.contenton.ru/future/wp-content/uploads/2013/03/Brazhe2.pdf>
3. Конык О.А. Контроль качества воды, атмосферного воздуха и почвы: учебное пособие / О. А. Конык, Т. В. Шахова. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>
4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / под ред. Т. В. Гусевой. – М.: ФОРУМ ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
5. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4819\\_snip\\_106868.html](http://snipov.net/c_4819_snip_106868.html)

6. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Статус действующие. Режим доступа: <http://base1.gostedu.ru/42/42033/>

7. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (в действующей редакции) «Об охране атмосферного воздуха» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

8. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. Статус действующий. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4698\\_snip\\_98078.html](http://snipov.net/c_4698_snip_98078.html)

9. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. Статус действующий. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4702\\_snip\\_98080.html](http://snipov.net/c_4702_snip_98080.html)

10. Тихонова И.О., Тарасов В.В., Кручинина Н.Е. Экологический мониторинг атмосферы: учебное пособие/ И. О. Тихонова, В. В. Тарасов, Н. Е. Кручинина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 136 с.

11. РД 52.04.667-2005 Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. Статус действующие ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

12. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд. перераб. и доп. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.

### Вопросы



1. Состав и строение атмосферы. Преобразование энергии в атмосфере.
2. Перечислите основные источники загрязнения атмосферы.
3. Основные техногенные загрязняющие примеси в атмосфере и их характеристика.
4. Основные принципы нормирования качества атмосферного воздуха в Российской Федерации.
5. Методы очистки и обезвреживания газовых выбросов от различных примесей.

## 5. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ГИДРОСФЕРЫ

### 5.1. Основные сведения о гидросфере

*Гидросфера* (греч. *hydro* – вода, *sphaira* – шар) – совокупность всех водных запасов Земли. Общий объем воды на планете –  $1,45 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>. Масса гидросферы – примерно  $1,46 \cdot 10^{21}$  кг. Гидросферу принято делить на Мировой океан, континентальные поверхностные воды и подземные воды. Основные запасы водных ресурсов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Водные ресурсы Земли (по Н.Ф. Реймерсу)

Форма нахождения	Объем, км <sup>3</sup>	Процент от общего объема	Процент от запаса пресных вод
Мировой океан	$1,4 \cdot 10^9$	96	-
Подземные воды, из них пресные	$23,4 \cdot 10^9$ $10,5 \cdot 10^6$	1,70 0,76	- 30,10
Почвенная влага	$16,4 \cdot 10^3$	0,001	0,05
Ледники, снега	$24,1 \cdot 10^3$	1,74	68,7
Озера пресные соленые	$91,0 \cdot 10^3$ $85,4 \cdot 10^3$	0,007 0,006	0,26 -
Воды рек	$2,1 \cdot 10^3$	0,0002	0,006
Вода в атмосфере	$12,9 \cdot 10^3$	0,001	0,04
Вода в организмах	$(1,1-2,5 \cdot 10^3)$	0,0001	0,003
Пресные воды, всего	$35,0 \cdot 10^6$	2,53	100
Общие запасы воды	$1,45 \cdot 10^9$	100	-

Мировой океан покрывает около 70% земной поверхности. Средняя его глубина составляет 3800 м, а максимальная (Марианская впадина в Тихом океане) – составляет  $10\,994 \pm 40$  м ниже уровня моря.

В водах Мирового океана растворены соли (в среднем 35 промилле (*lat.pro mille* – на тысячу) (‰)) и ряд газов. В частности, верхний слой океана содержит 140 трлн тонн углекислого газа и 8 трлн тонн кислорода. Таким образом, океан представляет собой насыщенный раствор атмосферных газов.

*Соленость в промилле* – это количество твердых веществ в граммах, растворённое в 1 кг морской воды, при условии, что все галогены заменены эквивалентным количеством хлора, все карбонаты переведены в оксиды, органическое вещество сожжено.

Несмотря на то, что от места к месту соленость вод Мирового океана меняется, она является устойчивой величиной по соотношению отдельных солей (табл.5.2) (лишь концентрация ионов  $\text{HCO}_3^-$  возрастает с глубиной, так как с понижением температуры растворимость углекислоты в воде

повышается). По общей величине соленость в океане редко отклоняется на 1-2‰.

Вода, соленость которой не превышает 0,2-0,5‰, даже в форме пара или льда называется пресной. Ледяные массивы в полярных регионах и ледники содержат в себе наибольшую часть пресной воды Земли (около 85-90%). Помимо этого, пресная вода существует в реках, ручьях, пресных озерах, в облаках и др. По разным подсчетам доля пресной воды в общем количестве воды на Земле составляет около 2,5% (см. табл.5.1).

Плотность соленой воды больше плотности пресной воды. При температуре 0 °С океанская вода средней солености имеет плотность около 1,028 г/см<sup>3</sup>. Из-за слабой сжимаемости воды ее плотность на глубине почти такая же, как и на поверхности. Например, на глубине 5 км при 0° С она равна 1,051 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 5.2

**Содержание главных ионов в морской воде  
(по А.П. Виноградову)**

№ п/п	Катионы	в %	№ п/п	Анионы	в %
1	Натрий (Na <sup>+</sup> )	30,59	5	Хлор (Cl <sup>-</sup> )	55,29
2	Магний (Mg <sup>2+</sup> )	3,72	6	Сульфат-ион (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	7,69
3	Кальций (Ca <sup>2+</sup> )	1,20	7	Карбонатные ионы (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0,21
4	Калий (K <sup>+</sup> )	1,00	8	Бром (Br <sup>-</sup> )	0,19

Даже незначительное изменение плотности морской воды влечет за собой весьма существенные последствия. Необходимо отметить: чем выше соленость воды, тем больше ее плотность. Зависимость плотности от температуры обратная: чем вода теплее, тем плотность ее меньше.

Интенсивное испарение воды с поверхности океана при безоблачном небе, вызывает *осолонение* поверхностных слоев воды и повышение ее плотности. Осолонение также может произойти из-за образования льда, так как при замерзании значительная часть солей вытесняется из льда в окружающую воду. Это является причиной особых, *термохалинных течений* (греч. *hals* – соль). Примером такого течения является циркуляция вод в Средиземном море. В его восточной части, у побережья Турции, соленость поверхностных вод больше, чем на западе, в районе Гибралтара. Тяжелая соленая вода опускается на дно, согревая придонные воды, и устремляется понизу в Атлантический океан. А на освободившееся место через Гибралтар по поверхности моря вливается вода из океана.

Вертикальные токи воды в сочетании с горизонтальными течениями придают Мировому океану вид слоеного пирога, каждый слой которого характеризуется своими особыми показателями плотности, солености и температуры. Благодаря вертикальным токам вода в океане до известной



степени перемешивается, в глубину проникают насыщенные кислородом поверхностные воды, из придонных слоев поднимаются богатые биогенными солями придонные массы воды.

Основной движущей силой поверхностных течений в океане является ветер. Скорость ветра растет с высотой: на границе с водой она равна нулю, но чем выше, тем ветер сильнее (за скорость ветра принимают его среднюю скорость на высоте 15 м).

Кроме того, в глубоком океане следует учитывать силу Кориолиса. Теория ветрового течения в глубоком открытом океане была разработана шведским ученым В. Экманом, который описал турбулентный режим перемешивания воды в океане до глубины порядка 100 м.

Реальное течение мирового океана гораздо сложнее, чем дает теория Экмана. Нужно учитывать влияние континентов, зависимость температуры и солености воды от глубины, изменение направления ветров.

Подъем воды в течениях называется *апвеллингом*, а опускание *даунвеллингом* (англ. от соответствующих слов *upwelling* и *downwelling*).

Основные поверхностные течения и апвеллинги Мирового океана представлены на рисунке 5.1.

Территория России омывается водами 12 морей, которые принадлежат к бассейнам трех океанов (Северного Ледовитого, Тихого и Атлантического), и Каспийского моря-озера, относящегося к внутренней бессточной области Евразии (табл. 5.3).

Таблица 5.3

**Соотношение площадей речных бассейнов различных океанов  
на территории Российской Федерации  
(по В. В. Орленку и др.)**

Бассейны морей	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	в % от территории России	Объем го- дового сто- ка, км <sup>3</sup>	в % от объе- ма стока России
Северного Ледовитого океана	11,3	66	2770	64
Тихого океана	3,3	19	890	21
Атлантического океана	0,8	5	171	4
Каспийской бессточной области	1,7	10	459	11
Всего	17,1	100	4290	100

Российская Федерация располагает значительными запасами пресных вод. В пределах России насчитывается около 3 млн рек общей длиной почти в 10 млн км. Среднегодовое возобновляемые водные ресурсы России составляют около 10% мирового речного стока (2 место в мире после Бразилии) и оцениваются в 4290 км<sup>3</sup> в год.

Значительные запасы воды сосредоточены в озерах. В России свыше 2,5 млн озер. Наиболее крупные озера – Каспийское (самое крупное по площади озеро мира), Ладожское, Онежское, Байкал (самое глубокое) и др.

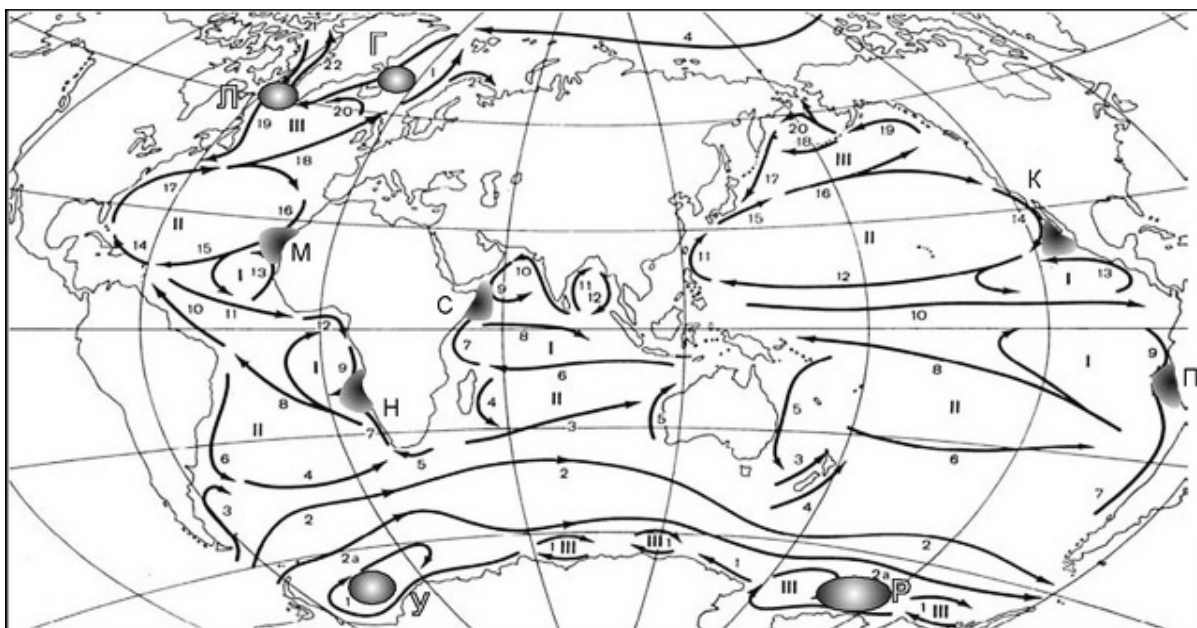


Рис. 5.1. Основные поверхностные течения и апвеллинги Мирового океана (по В.Н. Степанову): I – циклонические тропические, II – антициклонические субтропические, III – циклонические высокоширотные; 1 – Прибрежное антарктическое, 2 – Антарктическое циркумполярное (2а – его южная ветвь); **Атлантика**: 3 – Фолклендское, 4 – Южно-Атлантическое, 5 – Игольное, 6 – Бразильское, 7 – Бенгельское, 8 – Южное пассатное, 9 – Ангольское, 10 – Гвианское, 11 – Экваториальное противотечение Ломоносова, 12 – Гвинейское, 13 – Зеленого мыса, 14 – Антильское, 15 – Северное пассатное, 16 – Канарское, 17 – Гольфстрим, 18 – Северо-Атлантическое, 19 – Лабрадорское, 20 – Ирмингера, 21 – Баффиново, 22 – Западно-Гренландское; **Индийский океан**: 3 – Южноиндоокеанское, 4 – Мадагаскарское, 5 – Западно-Австралийское, 6 – Южное пассатное, 7 – Сомалийское, 8 – Экваториальное противотечение Тарева, 9 – Западно-Аравийское, 10 – Восточно-Аравийское, 11 – Западно-Бенгальское, 12 – Восточно-Бенгальское; **Тихий океан**: 3 – Западно-Новозеландское, 4 – Восточно-Новозеландское, 5 – Восточно-Австралийское, 6 – Южно-Тихоокеанское, 7 – Перуанское, 8 – Южное пассатное; 9 – Перуано-Чилийское, 10 – Экваториальное противотечение Кромвелла, 11 – Минданао, 12 – Северное пассатное, 13 – Мексиканское, 14 – Калифорнийское, 15 – Курошио, 16 – Северо-Тихоокеанское, 17 – Ойясио, 18 – Алеутское, 19 – Аляскинское, 20 – Восточно-Беринговоморское; **Северный Ледовитый океан**: 1 – Норвежское, 2 – Нордкапское, 3 – Восточно-Гренландское, 4 – Западное арктическое, 5 – Тихоокеанское. **Апвеллинги**: К – Калифорнийский, М – Марроканский, Н – Намибийский, П – Перуанский, С – Сомалийский. Основные зоны образования глубинных вод, моря: Л – Лабрадорское, Г – Гренландское, В – Уэддела, Р – Росса.

Водные ресурсы Российской Федерации характеризуются значительной неравномерностью распределения по территории страны. На освоенные районы европейской части страны, где сосредоточено более 70 процентов населения и производственного потенциала, приходится не более 10 процентов водных ресурсов.

Общее количество запасов подземных вод, пригодных для использования (питьевого и хозяйственно-бытового, производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ), составляет около  $34 \text{ км}^3$  в год.

В Российской Федерации функционирует водохозяйственный комплекс, который является одним из крупнейших в мире и включает более 30 тыс. водохранилищ и прудов общим объемом свыше  $800 \text{ км}^3$  и полезным

объемом 342 км<sup>3</sup>. Сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения стока, водохозяйственных систем водотранспортного назначения общей протяженностью более 3 тыс км позволяет осуществлять переброску стока в объеме до 17 км<sup>3</sup> в год.

## 5.2. Источники и виды загрязнения воды

Общий объем забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных объектов в Российской Федерации составляет 80 км<sup>3</sup> в год. В экономике страны ежегодно используется около 62,5 км<sup>3</sup> воды.

Свыше 90 процентов общего объема использования водных ресурсов приходится на тепловую и атомную энергетику (37%), агропромышленный комплекс (2 %), а также жилищно-коммунальное хозяйство (18%), добывающую и обрабатывающую промышленности (12%).

В процессе использования на хозяйственные нужды водных ресурсов происходит их загрязнение.

В соответствии с ГОСТ 27065-86 под **загрязнением вод** понимают поступление в водный объект загрязняющих веществ, микроорганизмов или тепла. **Загрязненность вод** – содержание загрязняющих воду веществ, микроорганизмов и тепла, вызывающее нарушение требований к качеству воды. **Источник загрязнения вод** – источник, вносящий в водные объекты загрязняющие воду вещества, микроорганизмы или тепло.

Загрязнение водной среды можно разделить на три вида: *физическое, химическое и биологическое.*

**Физическое загрязнение.** Прежде всего – *тепловое загрязнение* в результате сброса подогретых вод, используемых для охлаждения. Например, на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Загрязнение нарушает природный водный режим (например, реки в местах сброса таких вод не замерзают; в замкнутых водоемах уменьшается содержание кислорода и др.).

К физическому загрязнению условно относят *радиоактивное загрязнение* – следствие испытания ядерного оружия, аварий на атомных электростанциях и других радиационно-опасных объектах (НИИ с исследовательскими ядерными установками, предприятия ядерного-топливного цикла, атомные подводные лодки и др.) Радиоактивное загрязнение проявляется в значительном воздействии на гидробионты и на человека через трофическую (пищевую) цепь даже при крайне малых дозах, снижает способность водоемов к самоочищению.

**Химическое загрязнение** возникает в результате попадания в воды различных химических веществ и соединений со *сточными водами: производственными (промышленные), бытовыми (хозяйственно-фекальные) и атмосферными (поверхностно-ливневые).*

К *бытовым сточным водам* относят воды, удаляемые из туалетных комнат, ванн, душевых, прачечных, столовых, больниц и др. Они загрязнены в основном физиологическими отбросами и хозяйственно-бытовыми отходами. Состав бытовых сточных вод достаточно однообразен.

*Производственными сточными водами* являются воды, использованные в различных технологических процессах (например, для промывки сырья, охлаждения тепловых агрегатов, приготовления гальванических растворов и др.), а также воды, откачиваемые на поверхность земли при добыче полезных ископаемых. Производственные сточные воды ряда отраслей промышленности загрязнены главным образом отходами производства, которые могут быть токсичными.

*Атмосферные сточные воды* – дождевые и талые воды (образуются в результате таяния льда и снега). По качественным характеристикам загрязнений в этой категории относят также воды от поливки улиц и зеленых насаждений. Количество атмосферных вод меняется в значительных пределах в зависимости от климатических условий, рельефа местности, характера застройки городов, вида покрытия дорог и др.

**Биологическое загрязнение.** К биологическим загрязнителям относятся различные микроорганизмы, дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли, бактерии, в том числе болезнетворные (возбудители брюшного тифа, дизентерии, сибирской язвы и др.). Этот вид загрязнений свойственен не только бытовым сточным водам, но и некоторым видам производственных сточных вод (мясокомбинаты, кожевенные производства и др.)

В составе различных сточных вод выделяют две основных группы загрязнителей – *консервативные*, которые с трудом вступают в химические реакции и практически не поддаются биологическому разложению (например, соли тяжёлых металлов, фенолы, пестициды и др.) и *неконсервативные*, которые могут в том числе подвергаться процессам самоочищения водоемов.

В состав сточных вод входят неорганические вещества (частицы грунта, руды и пустой породы, шлака, неорганические соли, кислоты, щёлочи и др.); органические (нефтепродукты, органические кислоты и др.), биологические объекты (грибки, бактерии, дрожжи и др.).

Примеры состава сточных вод различных производств приведены в таблице 5.4.

**К факторам, определяющим качество природной воды**, относятся: БПК (биологическое потребление кислорода), запахи (привкусы), окраска, растворенный кислород, токсичные вещества, микроорганизмы и бактерии, минеральный состав, рН, температура, взвешенные вещества. Показатели качества природных вод могут быть определены при помощи простых методов.

Содержание взвешенных веществ определяется фильтрованием через бумажный фильтр, осадок, остающийся на фильтре после высушивания при температуре 105° С, взвешивается; размерность – мг/л.

Таблица 5.4

**Физико-химические показатели сточных вод некоторых  
промышленных предприятий, мг/л  
(по А. М. Попову, И.С. Румянцеву)**

Показатель	Металлургический комбинат	Фабрика первичной переработки шерсти	Гидролизный завод	Спирт-крахмальный завод	Красильно-отделочная фабрика
Плотный остаток, мг/л	600	33500	8600	1400	1200
Взвешенные вещества, мг/л	500	28000	950	470	170
Азот аммонийный, мг/л	-	210	150	45	12
Фосфаты, мг/л	-	-	40	15	1
Нефтепродукты, мг/л	40	-	-	-	-
Жиры, мг/л	-	7800	-	-	-
ПАВ, мг/л	-	-	-	-	100
Фурфурол, мг/л	-	-	50	-	-
БПК <sub>5</sub>	-	6300	2400	360	200
БПК <sub>полн</sub>	-	17800	3300	580	250
ХПК	50	44000	4900	830	600
pH	8	9,5	5,5	7,2	9

Содержание коллоидных частиц определяют фильтрованием через мембранный фильтр; размерность – мг/л.

*Щелочность* – общее содержание веществ, способных вступать в реакцию с сильными кислотами. В основном обуславливается присутствием таких ионов как OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; размерность – мг-экв/л (миллиграмм-эквивалент на литр).

*Кислотность* – содержание веществ, способных вступать в реакцию с щелочами; размерность – мг-экв/л.

*Жесткость* – содержание в воде растворенных солей щелочноземельных металлов, главным образом, кальция и магния; размерность – мг-экв/л.

*Мутность* и *цветность* определяются косвенными методами (определенная высота столба жидкости, через который просматривается печатный шрифт).

*Химические показатели* определяются как показатели элементов; размерность – мг-экв/л или мг/л. Поскольку эти элементы могут содержаться как в неорганических, так и в органических загрязнениях, необходимо их определять во всех соединениях.

*Химическое потребление кислорода (ХПК)* определяет общее содержание органических веществ в воде, характеризует химическое окисление органических веществ под действием сильных окислителей (бихромат калия, перманганат калия и др.). Величина ХПК определяется количеством окислителя (в пересчете на кислород), затраченного на окисление всех органических веществ, содержащихся в единице объема пробы; размерность – мг  $O_2$ /л (миллиграмм кислорода в литре).

*Биохимическое потребление кислорода (БПК)* – определяет биоразлагаемую часть органических загрязнений и характеризует биохимическое (т.е. проходящее внутри клеток микроорганизмов) окисление органических веществ под действием окислителей. Величина БПК определяется количеством окислителя (в пересчете на кислород), пошедшего на окисление биоразлагаемых органических веществ, содержащихся в единице объема пробы; размерность – мг  $O_2$ /л.

### **5.3. Нормирование качества вод и техногенного воздействия на водные объекты**

**Качество воды** – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77).

**Типы водопользования** (СанПиН 2.1.5.980-00):

- *использование для целей и нужд населения* (водоемы хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и предприятий пищевой промышленности; водоемы культурно-бытового назначения, используемых для рекреации, занятия спортом и т.д.);

- *использование для рыбохозяйственных целей* (водоемы рыбохозяйственного назначения для сохранения и нереста особо ценных пород рыб, которые чувствительны к количеству растворимого в воде кислорода и количества взвешенных веществ; водоемы рыбохозяйственного назначения для сохранения других пород рыб и их нереста, а также других гидробионтов).

Типы водопользования определяются *Федеральным Агентством водных ресурсов* и подлежат утверждению органами местного самоуправления субъектов РФ.

**Оценка степени загрязненности поверхностных вод** – это установление в той или иной форме, через ту или иную систему показателей, характеризующих состав и свойства поверхностных вод, отличия от их нормативных значений, свидетельствующих о пригодности воды для водопользования (РД 52.24.643-2002).

При определении степени экологического неблагополучия водных объектов оценивается два основных фактора:

- опасное для здоровья людей снижение качества питьевой воды и санитарно-эпидемиологического загрязнения водных объектов рекреационного назначения – *санитарно-гигиенический фактор*;

- создание угрозы деградации или нарушения функций воспроизводства основных биотических компонентов естественных экологических систем водоемов – *фактор изменения природной среды*).

Одним из важных понятий при нормировании качества воды является понятие «*вредного вещества*». *Вредные вещества* – вещества, воздействие которых на биологические системы может привести к отрицательным последствиям как в результате однократного действия, «так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений» (ГОСТ 12.1.007-76).

Для вредных веществ приняты предельно допустимые концентрации (ПДК) (см. раздел 4.3).

В зависимости от того, к какому типу водопользования относится водный объект, при нормировании качества воды используют два вида ПДК:

- *предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>)* – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования (СанПиН 2.1.5.980.00)

- *предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей – (ПДК<sub>вр</sub> или ПДК<sub>рх</sub>)* – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Присутствие в воде какого-либо одного вредного вещества не должно превышать ПДК, формула 5.1:

$$C/ПДК < 1, \quad (5.1)$$

где  $C$  – фактическая концентрация веществ в воде водоема, мг/л;  $ПДК$  – предельно-допустимая концентрация того же вещества, мг/л.

Сложнее нормировать комплекс веществ, когда они одновременно присутствуют в природных водах.

Все вредные вещества по характеру своего воздействия подразделены органами здравоохранения на три группы, а органами рыбоохраны на пять групп. Каждая группа объединяет вещества одинакового признака действия. Такой признак вещества получил название *лимитирующего признака вредности (ЛПВ)*.

**ЛПВ** – это признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества в воде (ГОСТ 17.1.1.01-77).

Ниже приведены основные группы ЛПВ для веществ водных объектов разных типов водопользования.

**Для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>)** учитываются три ЛПВ:

- *органолептический* – способность вещества к образованию пленок и пены на поверхности водоема; изменение цвета воды, появление посторонних привкусов и запахов, появление опалесценции;

- *общесанитарный* – влияние веществ на общий санитарный режим водоема, выражаемый в изменении таких интегральных показателей, как рН, БПК, содержание кислорода, нарушение самоочищения воды и т.д.;

- *санитарно-токсикологический* – одновременное действие вещества на организмы и санитарные показатели водоема.

**Для рыбохозяйственного водопользования (ПДК<sub>вр</sub>)** учитывают уже пять ЛПВ:

- *органолептический* – см. выше по тексту;

- *санитарный* – нарушение экологических условий: изменение трофности (характеристика продукционных свойств водного объекта) водных объектов; гидрохимических показателей: кислород, азот, фосфор, рН; нарушение самоочищения воды: БПК<sub>5</sub>; численности сапрофитной микрофлоры и др.;

- *санитарно-токсикологический* – см. выше по тексту;

- *токсикологический* – прямое токсичное действие веществ на водные биологические ресурсы;

- *рыбохозяйственный* – изменение товарных качеств видов водных биологических ресурсов, отнесенных к объектам промышленного и прибрежного рыболовства: появление неприятных посторонних привкусов и запахов.

Вода будет являться безвредной, если общее содержание всех веществ одной группы ЛПВ будет соответствовать выражению – формула 5.2:

$$\sum_i^z C_i / ПДК_i \leq 1, \quad (5.2)$$

где  $C_i$  – концентрация веществ в воде водоема, фактическая или расчетная (для проектируемых выпусков), мг/л;  $ПДК_i$  – предельно-допустимая концентрация того же вещества, мг/л;  $z$  – общее число веществ одного ЛПВ, присутствующих в воде водоема.



**Нормирование качества воды водных объектов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового (рекреационного) водопользования** производится в соответствии с *СанПиН 2.1.5.980-00* «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», *ГН 2.1.5. 1315-03* «Предельно допустимые уровни (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» и *ГН 2.1.5.2307-07* «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Содержание отдельных веществ, загрязняющих воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения населения, для рекреационного и культурно-бытового водопользования приводится в соответствии – ГН 2.1.5. 1315-03 и ГН 2.1.5.2307-07. В них приведены сведения, соответственно, по ПДК для 1356 веществ и по ОДУ содержания 443 загрязняющих веществ.

Качество воды водного объекта контролируется по нормативным величинам в створе, расположенном на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.п.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования.

**Нормирование качества воды источников питьевого водоснабжения** нормируют в соответствии с *СанПиН 2.1.4.1074-01* «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Данные санитарные правила применяются в отношении воды, подаваемой системами водоснабжения и предназначенной для потребления населением в питьевых и бытовых целях, для использования в процессах переработки продовольственного сырья и производства пищевых продуктов, их хранения и торговли, а также для производства продукции, требующей применения воды питьевого качества.

*СанПиН 2.1.4.1175-02* «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников». Эти санитарные правила и нормы устанавливают гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного водоснабжения. Нецентрализованным водоснабжением является использование для питьевых и хозяйственных нужд населения воды подземных источников, забираемой с помощью различных сооружений и устройств, открытых для общего пользования

или находящихся в индивидуальном пользовании, без подачи ее к месту расходования.

*СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества».*

*ГОСТ Р 52109-2003 «Вода питьевая, расфасованная в емкости. Общие технические условия».*

*ГОСТ 13273-88 «Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые».*

**Нормирование качества воды водных объектов рыбохозяйственного водопользования.** Рыбохозяйственные водные объекты или их участки могут относиться к одной из трех категорий:

- к *высшей категории* относятся места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных и ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для искусственного разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;

- к *первой категории* относятся водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

- ко *второй категории* относятся водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

Отнесение водного объекта к рыбохозяйственным водным объектам какой-либо из указанных категорий производится на основании *ГОСТ 17.1.2.04-77*.

Содержание отдельных загрязняющих веществ нормирует Перечень нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (*Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 30*), где приведены ПДК<sub>вр</sub> для 1071 вещества и одна региональная ПДК<sub>вр</sub> бора для р. Рудной Приморского края.

Нормативы качества поверхностных вод рыбохозяйственного назначения или их природный состав и свойства (в случае природного превышения этих нормативов) соблюдаются на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа, но не далее чем 500 м от места сброса сточных вод или расположения других источников загрязнения поверхностных вод (мест добычи полезных ископаемых, производства работ на водном объекте и т.п.).

**Нормирование техногенного воздействия на водные объекты.** Санитарно-гигиенические и экологические нормативы определяют качество окружающей среды по отношению к здоровью человека и

состоянию экосистем, но не указывают на источник воздействия и не регулируют его деятельность. Требования, предъявляемые собственно к антропогенному воздействию, отражают *научно-технические нормативы*.

Нормирование антропогенного воздействия представлено рядом взаимосвязанных нормативов: *нормативов допустимого воздействия (НДВ), нормативов допустимого сброса (НДС), нормативов качества водной среды (НКВС) и временно согласованные сбросы (ВСС)*.

Наиболее задействованным на сегодняшний день является НДС. Основы данного норматива были разработаны более 40 лет назад, изначально он был известен как ПДС – предельно-допустимый сброс (ПДС был заменен на НДС в 2007 году).

**Нормативно допустимый сброс (НДС)** – это масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном створе (*см. ГОСТ 17.1.1.01-77*).

Величина норматива НДС  $i$ -того загрязняющего вещества определяется для всех категорий водопользования как произведение максимального часового расхода сточных вод ( $q_{cm}$ , м<sup>3</sup>/ч) на концентрацию в них загрязняющих веществ ( $C_{cmi}$ , г/м<sup>3</sup>) согласно формуле:

$$НДС_i = q_{cm} \cdot C_{cmi} \quad (5.3)$$

В основу установления НДС положен принцип: при условии соблюдения этого норматива предприятиями региона содержание любой примеси в воде должно удовлетворять требованиям санитарно-гигиенического нормирования.

Наиболее полно основы нормирования антропогенного воздействия на водные объекты изложены в Федеральном законе «Об охране окружающей среды», где прописаны нормативы допустимого воздействия (НДВ) на окружающую среду (ст. 22) и нормативы допустимого сброса (НДС) веществ и микроорганизмов (ст. 23). Согласно ст. 23 ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ, при установлении НДС следует исходить из нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимой антропогенной нагрузки и технологических нормативов.

Понятие «технологический норматив» согласно этому Закону означает норматив, который отражает допустимую массу сбросов веществ и микроорганизмов в окружающую среду в расчете на единицу выпускаемой продукции.

**Комплексные показатели качества воды.** Одним из наиболее распространенных комплексных показателей качества воды является гидрохимический *индекс загрязнения воды (ИЗВ)*.

ИЗВ относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов. Этот индекс представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$ИЗВ = \frac{\sum \frac{C_{i-6}}{ПДК_{i-6}}}{6}, \quad (5.4)$$

где,  $C/ПДК$  – относительная (нормированная) среднегодовая концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического параметра);  $6$  – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета;  $ПДК_i$  – установленная величина норматива по шести ингредиентам для соответствующего типа водного объекта.

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub> и содержание растворенного кислорода, находят отношения  $C_i/ПДК_i$  фактических концентраций к ПДК и полученный список сортируют. ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того превышают они ПДК или нет.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы качества воды (табл. 5.5). При этом устанавливается требование, чтобы индексы загрязнения воды сравнивались для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени, и так далее), а также с учетом фактической водности текущего года.

Таблица 5.5

**Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды**

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	менее или равно 0,2	I
Чистые	более 0,2...1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0...2,0	III
Загрязненные	2,0...4,0	IV
Грязные	4,0...6,0	V
Очень грязные	6,0...10,0	VI
Чрезвычайно грязные	более 10,0	VII

Данные о концентрациях веществ в водном потоке заимствуются из материалов организаций, осуществляющих гидрохимический мониторинг водных объектов (Росгидромет, Роспотребнадзор).

Преимущество данного индекса – быстрота и простота расчетов. Использование его приоритетно для установления временной изменчивости качества воды.

Министерством природных ресурсов и экологии РФ разработаны и рекомендованы Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод (табл. 5.6), используемые для выявления зон различного экологического состояния.

При определении границ зон экологического бедствия и чрезвычайных экологических ситуаций также рассматриваются показатели:

- по бактериопланктону;
- фитопланктону;
- зоопланктону;
- ихтиофауне.

Таблица 5.6

**Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод  
(по И.О. Тихоновой и др.)**

№	Показатели	Параметры		Относительно удовлетворительная ситуация
		Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	
<b>Основные</b>				
1	Химически вещества, ПДК			
	1-2 класс опасности	>10	5-10	1
	3-4 класс опасности	>100	50-100	1
<b>Дополнительные</b>				
1	Запахи, привкусы (балл)	>4	3-4	2
2	Плавающие примеси нефть и нефтепродукты	Пленка занимает 2/3 поверхности	Яркие полосы или тусклая окраска пятен	Отсутствие
3	pH	5,0-5,6	5,7-6,5	>7
4	ХПК (антропогенная составляющая к фону), мг O <sub>2</sub> /л	20-30	10-20	-
5	Растворенный кислород, % насыщения	1-20	20-50	>80
6	Биогенные вещества:			
	Нитриты, ПДК	>10	>5	менее 1
	Нитраты, ПДК	>20	>10	менее 1
	Аммония соли, ПДК	>10	>5	менее 1
	Фосфаты, мг/л	>0,6	0,3-0,6	менее 0,05
7	Минерализация, мг/л (превышение)	3-5	2-3	Региональный уровень

#### 5.4. Самоочищающая способность водных экосистем

**Самоочищение водоемов** – совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водного объекта (ГОСТ 27065-86).

Поступающие в водоем вещества антропогенного происхождения оказывают существенное влияние на сложную экосистему водоема. В ней непрерывно протекает процесс изменения состава примесей, возвращающий систему в состояние равновесия. В естественных водоемах живут и развиваются различные животные и растительные организмы: бактерии, грибы, водоросли и т. д. Эти организмы образуют сообщества, которые находятся в определенном динамическом равновесии, свойственном данной экосистеме. Антропогенное загрязнение приводит к изменению условий среды и биологического состава.

В разложении органических веществ участвуют различные группы организмов, в основном бактерии. В результате сложных биохимических процессов углеводы, жиры и белки разлагаются на более простые соединения. Конечными продуктами являются минеральные соли (нитраты, фосфаты, сульфаты и др.), газы (водород, сероводород, углекислый газ и др.) и вода. Эти соединения поглощают водоросли, высшие растения и простейшие организмы. Мелкие организмы поедают рыбы. Так замыкается биологический круг изменений, связанных с самоочищением водоема. Если разложение органических веществ происходит полностью, то в водоеме устанавливается равновесие.

Разлагаясь, органическое вещество способствует уменьшению в воде растворенного кислорода. Пониженная прозрачность воды вызывает повышение температуры внутри водоема. Избыток биогенных элементов приводят к эвтрофикации (*греч. eutrophía* – хорошее питание), сопровождающееся ростом биологической продуктивности водных объектов. Наступает «цветение» воды. Скопление ряски, водорослей, донных отложений служат благоприятной средой для патогенных микроорганизмов. Вместе эти факторы ухудшают состояние водоема и угрожают биоразнообразию. В результате органические соединения вместо окисления подвергаются анаэробному разложению с выделением  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  и  $H_2$ , способствующие вторичному загрязнению водоема. Значительные отклонения от состояния равновесия ведут не только к гибели отдельных популяций, но и экосистемы в целом.

Способность водоема к самоочищению определяется сохранностью условий, благоприятных для обитания организмов, воспроизводящих процессы очищения водоема, достаточным количеством кислорода и сохранностью буферных свойств экосистемы.

Процесс самоочищения является суммой процессов, связанных с возвращением водной экосистемы в ее первоначальное состояние. Такими важнейшими процессами являются:

- осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей;
- окисление (минерализация) органических примесей;
- окисление минеральных примесей кислородом;
- нейтрализация кислот и оснований за счет буферной емкости водоема;
- гидролиз солей тяжелых металлов, приводящих к образованию малорастворимых гидроксидов и выделению их из раствора и т. д.

Факторы самоочищения водоемов условно можно разделить на три группы: *физические, химические и биологические*.

Среди **физических** факторов первостепенное значение имеет *разбавление* и *растворение* поступающего загрязнения. Хорошее перемешивание и снижение концентрации взвешенных частиц обеспечивается интенсивным течением. Самоочищению воды в водоеме способствует также *оседание* на дно нерастворимых осадков и *отстаивание*. Микроорганизмы под собственной тяжестью или, осаждаясь на других органических и неорганических частицах, постепенно опускаются на дно, подвергаются действию других физических факторов, что способствует быстрому отмиранию загрязняющей микрофлоры. *Обеззараживание* воды происходит под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца.

Из **химических** факторов самоочищения водоемов следует отметить окисление органических и неорганических веществ. Часто дают оценку самоочищения водоема по отношению к легко окисляемому органическому веществу (определяемому по БПК) или по общему содержанию органических веществ (определяемому по ХПК). Оценка самоочищения производят и по содержанию конкретных соединений или их групп (фенолов, углеводов, смол).

Отмиранию микрофлоры могут способствовать некоторые химические вещества. При этом кроме патогенных бактерий и вирусов в водоемах могут погибать микроорганизмы, играющие существенную роль в самоочищении водоемов.

К **биологическим** факторам самоочищения водоема относятся водоросли, плесневые и дрожжевые грибки. Однако фитопланктон не всегда положительно воздействует на процессы самоочищения: в отдельных случаях массовое развитие сине-зеленых водорослей в искусственных водоемах можно рассматривать как процесс самозагрязнения.

Самоочищению водоемов от бактерий и вирусов могут способствовать представители животного мира.

### 5.5. Методы очистки сточных вод

Методы, применяемые для очистки сточных вод, могут быть разделены на три группы: *механические, физико-химические, биологические*.

**Механическая очистка.** Механическую очистку сточных вод применяют преимущественно как предварительную в подготовке воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическую очистку проводят для выделения из сточной воды нерастворенных грубодисперсных примесей путем *процеживания, отстаивания и фильтрования*. Для задержания крупных загрязнений и частично взвешенных веществ применяют *процеживание* воды через различные решетки и сита. Для выделения из сточной воды взвешенных веществ, имеющих большую или меньшую плотность по отношению к плотности воды, используют *отстаивание*. При этом тяжелые частицы оседают, а легкие всплывают.

*Фильтрование* применяют для задержания более мелких частиц. В фильтрах для этих целей используют фильтровальные материалы в виде тканей (сеток), слоя зернистого материала или химических материалов, имеющих определенную пористость. При прохождении сточных вод через фильтрующий материал на его поверхности или в поровом пространстве задерживается выделенная из сточной воды взвесь.

Механическая очистка обеспечивает удаление взвешенных веществ из бытовых сточных вод на 60-65%, а из некоторых производственных сточных вод на 90-95%.

Механическую очистку как самостоятельный метод применяют тогда, когда осветленная вода после этого способа очистки может быть использована в технологических процессах производства или спущена в водоемы без нарушения их экологического состояния. Во всех других случаях механическая очистка служит первой ступенью очистки сточных вод.

**Физико-химическая очистка** заключается в том, что в очищаемую воду вводят какие-либо вещества-реагенты (коагулянты (*лат. coagulans* – вызывать свертывание, сгущение) или флокулянты (*лат. flocculi* – хлопья)). Вступая в химическую реакцию с находящимися в воде примесями, эти вещества способствуют более полному выделению нерастворимых примесей, коллоидов и части растворимых соединений. При этом уменьшается концентрация вредных веществ в сточных водах, растворимые соединения переходят в нерастворимые или растворимые, но в безвредные, изменяется реакция сточных вод (происходит их нейтрализация), обесцвечивается окрашенная вода. В качестве коагулянтов могут использоваться соли алю-



миния или трехвалентного железа, а флокулянта – чаще всего полиакриламид.

Физико-химическая очистка дает возможность резко интенсифицировать механическую очистку сточных вод. В зависимости от необходимой степени очистки сточных вод физико-химическая очистка может быть окончательной или второй ступенью очистки перед биологической.

**Биологическая очистка.** Основана на жизнедеятельности микроорганизмов, которые способствуют окислению или восстановлению органических веществ, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий, коллоидов, в растворе и являются для микроорганизмов источником питания, в результате чего и происходит очистка сточных вод от загрязнения.

Очистные сооружения биологической очистки можно разделить на два основных типа:

- сооружения, в которых очистка происходит в условиях, близких к естественным;
- сооружения, в которых очистка происходит в искусственно созданных условиях.

К первому типу относятся сооружения, в которых происходит фильтрование очищаемых сточных вод через почву (поля орошения и поля фильтрации) и сооружения, представляющие собой водоемы (биологические пруды) с проточной водой. В таких сооружениях дыхание микроорганизмов кислородом происходит за счет непосредственного поглощения его из воздуха. В сооружениях второго типа микроорганизмы дышат кислородом главным образом за счет диффундирования его через поверхность воды (*реаэрация*) или за счет механической аэрации.

В искусственных условиях биологическую очистку применяют в *аэротенках*, *биофильтрах* и *аэрофильтрах*. В этих условиях процесс очистки происходит более интенсивно, так как создаются лучшие условия для развития активной жизнедеятельности микроорганизмов.

**Дезинфекция очищенных сточных вод** необходима для их дальнейшего использования (в хозяйственно-бытовых целях, выпуске в природный водоисточник и др.) и позволяет удалить до 98% микроорганизмов, находящихся в ней. Для обеззараживания очищенных сточных вод используются реагентные и безреагентные методы.

*Реагентные методы* подразумевают добавление в воду окислителей (хлор и его производные (достаточно часто применяется гипохлорит натрия), озон и др.), которые разрушают все живые клетки.

*Безреагентные* – использование ультрафиолета, высоких температур (кипячение), ультразвука, ультрафиолетового излучения. Ни один из этих способов не предотвращает повторное заражение воды, поэтому в качестве основной безреагентная дезинфекция практически не используется.

**Методы обработки осадка.** При всех методах очистки сточных вод образуется осадок из нерастворимых веществ в *первичных отстойниках* и при биологической очистке во *вторичных отстойниках (избыточный активный ил)*.

Биологические осадки часто используют в качестве удобрений и как белково-витаминные добавки к рационам питания животных. Для уменьшения влажности такого осадка и его объема служат иловые пруды и площадки. Для обезвоживания осадка применяют различные механические приемы: *вакуум-фильтрацию, фильтропрессование, центрифугирование*, а также *термические сушку и сжигание*.

Для уменьшения количества органических веществ в осадке, который недопустимо использовать в виде удобрения и придания ему лучших санитарных показателей, осадок подвергают воздействию анаэробных микроорганизмов и аэробной стабилизации ила в соответствующих сооружениях (*септики, двухъярусные отстойники, метантенки* и др.).

В настоящее время к очистке сточных вод предъявляют большие требования. Это приводит к созданию высокоэффективных методов физико-химической очистки, интенсификации процессов биологической очистки, разработке технологических схем с сочетанием механических, физико-химических и биологических способов очистки (рис. 5.2) и повторным использованием очищенных вод в технологических процессах.



Рис.5.2. Схема очистки сточных вод

## Список литературы



1. Орленок В.В., Курков А.А., Кучерявый П.П., Тупикин С.Н. Физическая география: Учебное пособие / Под ред. В.В. Орленка. Калининград, 1998. – 480 с. <http://egfak.narod.ru/fg.htm>
2. Браже Р.А. Восемь лекций по физике атмосферы и гидросферы: учебное пособие / Р. А. Браже. – 2-е изд., испр. и доп. – Ульяновск, 2010. – 82 с. Режим доступа: <http://www.contenton.ru/future/wp-content/uploads/2013/03/Brazhe2.pdf>
3. ГН 2.1. 5. 1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_106307.html](http://snipov.net/c_4655_snip_106307.html).
4. ГН 2.1.5.2307-07 Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_115023.html](http://snipov.net/c_4655_snip_115023.html)
5. Попов А. М., Румянцев И. С. Природоохранные сооружения. – М.: Колос, 2005. – 520 с.
6. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие [Текст] / сост. О.В. Гагарина. / Ижевск: Издательство Удмуртский университет. – 2012. – 199 с.
7. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения. Статус действующий. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4698\\_snip\\_98124.html](http://snipov.net/c_4698_snip_98124.html)
8. ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. Статус действующий. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4698\\_snip\\_98069.html](http://snipov.net/c_4698_snip_98069.html)
9. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Статус действующий. Режим доступа: [http://libgost.ru/gost/1200-GOST\\_17\\_1\\_2\\_04\\_77.html](http://libgost.ru/gost/1200-GOST_17_1_2_04_77.html)
10. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Статус действующий. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4702\\_snip\\_98027.html](http://snipov.net/c_4702_snip_98027.html)
11. ГОСТ Р 52109-2003. Вода питьевая, расфасованная в емкости. Общие технические условия. Статус действующий. Режим доступа: [http://libgost.ru/gost/27678-GOST\\_R\\_52109\\_2003.html](http://libgost.ru/gost/27678-GOST_R_52109_2003.html)
12. ГОСТ 13273-88. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые. Статус действующий. Режим доступа: [http://www.standartov.ru/Pages\\_gost/11690.htm](http://www.standartov.ru/Pages_gost/11690.htm)

13. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_106543.html](http://snipov.net/c_4655_snip_106543.html)

14. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_100780.html](http://snipov.net/c_4655_snip_100780.html)

15. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_101954.html](http://snipov.net/c_4655_snip_101954.html)

16. СанПиН 2.1.4.1175-02. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_103106.html](http://snipov.net/c_4655_snip_103106.html)

17. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.08.2009 № 1235-р (ред. от 17.04.2012) «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

18. РД 52.24.643-2002. Методические указания по оценке степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». Статус действующие. Режим доступа: <http://docinfo.ru/eachdoc-14909.html>

19. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 30 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

20. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в действующей редакции) «Об охране окружающей среды» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

21. Тихонова И.О., Кручинина Н.Е., Десятов А.В. Экологический мониторинг водных объектов: учебное пособие / И.О. Тихонова, Н.Е. Кручинина, А.В. Десятов. – М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2012. – 152 с.

### Вопросы



1. Основные сведения о гидросфере.
2. Основные источники загрязнения воды водных объектов.
3. Перечислите основные параметры, определяющие качество природных вод.
4. Нормирование качества вод в зависимости от типа водопользования. Нормирование техногенных воздействий на водные объекты в РФ.
5. Характеристика методов и систем очистки сточных вод.

## 6. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ЛИТОСФЕРЫ

### 6.1. Строение литосферы и структура земной коры

*Литосфера* (греч. *lithos* – камень, *sphaira* – шар, сфера) – твердая оболочка Земли.

Единой теории глубинного строения Земли в настоящее время нет (сверхглубокие скважины достигли глубины около 10-12 км (например, Кольская сверхглубокая скважина – 12 262 м (самая глубокая в мире)), тогда как радиус Земли составляет около 6370 км).

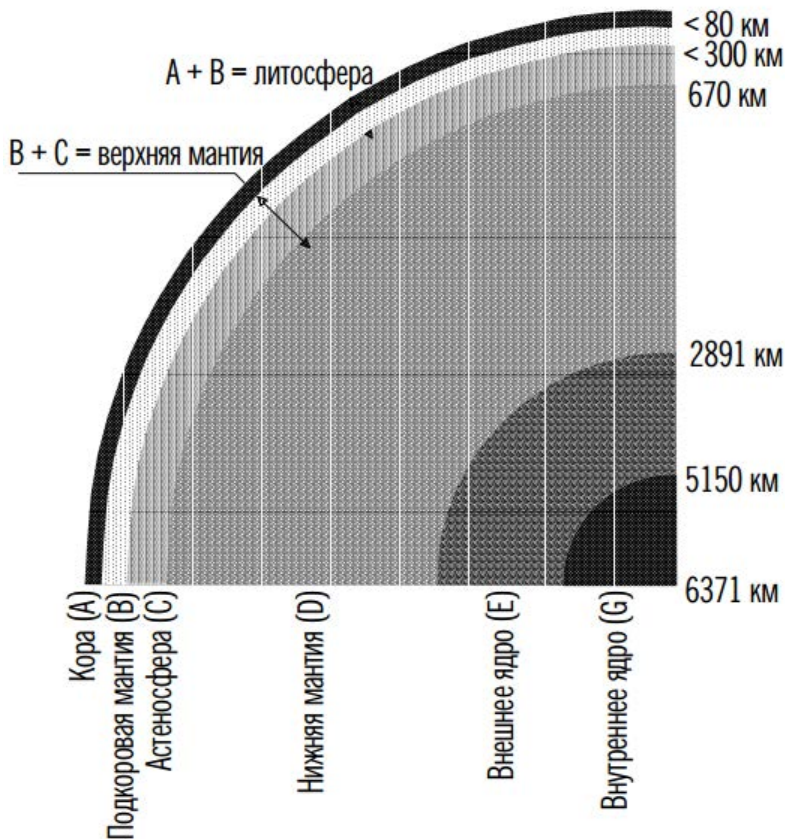


Рис. 6.1. Внутреннее строение Земли (по С.В. Аглонову)

Согласно существующим представлениям Гуттенберга, выделяются следующие слои (оболочки) Земли (рис.6.1): слой *G* (внутреннее ядро), слой *E* – внешнее ядро. Эти слои простираются от глубины 2900 до 6370 км. Их можно назвать *ядром* Земли. Ближе к поверхности Земли располагаются три слоя – *D*, *C*, *B*, которые называются *мантией* Земли. И, наконец,

верхний слой (слой *A*) называется *земной корой*. Переходная граница от слоя *A* к слою *B*, то есть от земной коры к мантии, называется *поверхностью Мохоровичича* (граница *M*). Глубина залегания поверхности Мохоровичича и, следовательно, толщина земной коры на континентах неодинакова. На равнинах она составляет 30-40 км, в горных районах 50-75 км, в районах морей и океанов 5-6 км.

Внешняя твердая оболочка Земли, включающая в себя земную кору (слой *A*) и верхнюю часть подстилающей ее мантии (слой *B*), называется *литосферой*. Толщина литосферы неодинакова и колеблется от 50 до 200 км.

*Плотность* оболочек закономерно возрастает к центру Земли (в г/см<sup>3</sup>): средняя плотность земной коры – 2,67; мантии – от 3,3 до 5,5 (соответственно в верхней и нижней); на *границе Гутенберга* (2891 км) – слой между мантией и ядром – до 10; на границе внутреннего и внешнего ядра – до 13,8; в центре Земли плотность вещества достигает 14,3.

*Давление* в недрах Земли рассчитывается на основании ее плотностной модели: на подошве континентальной коры мощностью 35 км и средней плотности 2,67 г/см<sup>3</sup> давление составляет  $0,9 \cdot 10^9$  Па, или примерно 1 ГПа (1ГПа =  $10^9$  Па). На границе Гутенберга давление достигает 135 ГПа. Расчетные величины давления на границе между внутренним и внешним ядрами и вблизи центра Земли составляют соответственно 340 и 360 ГПа.

Расчет *температуры* в недрах Земли представляет наиболее сложную задачу и до настоящего времени она не решена. Аглонов С.В. считает, что температурный градиент в литосфере составляет около 10°С/км и на глубине около 100 км температура равна примерно 1300° С. На границе верхней и нижней мантии (670 км) – 1800° С, на границе Гутенберга (2891 км) – 2500° С, на границе внешнего и внутреннего ядра (5150 км) – 3300° С, а в центре Земли температура может достигать примерно 4000° С.

*Химический состав земной коры.* Наиболее распространенными элементами земной коры являются кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, калий и магний (табл. 6.1), которые образуют многочисленные оксиды и соли, входящие в состав различных минералов и пород.

Таблица 6.1

**Химический состав земной коры (вес, %)**

№	Элементы	по Ф.В. Кларку (1924)	по А.П. Виноградову (1962)	по В. Мейсону (1971)	по А.А. Ярошевскому (1988)
1	O	49,52	49,13	46,60	47,90
2	Si	25,75	26,00	27,72	29,50
3	Al	7,51	7,45	8,13	8,14
4	Fe	4,70	4,20	5,00	4,37
5	Mg	1,94	2,35	2,09	1,79
6	Ca	3,29	3,25	3,63	2,71
7	Na	2,64	2,40	2,83	2,01
8	K	2,40	2,35	2,59	2,40
9	H	0,88	0,15	-	0,16
10	Ti	-	0,61	-	0,52
11	C	-	0,36	-	0,27
12	S	-	-	-	0,10
13	Mn	-	-	-	0,12

Содержание всех остальных элементов (рассеянных) в земной коре достаточно мало, а меньше всего содержание инертных элементов.

Рассеянные элементы распределены в земной коре очень неравномерно. На планете встречаются участки, где содержание тех или иных элементов гораздо выше усредненных значений. Территории с высоким содержанием ценных химических элементов называются *геохимическими провинциями*, в которых могут быть найдены месторождения полезных ископаемых.

Химические элементы в земной коре находятся преимущественно в виде химических соединений. Однородные по составу и строению природные химические соединения или однородные структуры, возникающие при различных химических и физико-химических процессах в земной коре, принято называть *минералами*. В земной коре минералы встречаются в твердом, жидком и газообразном состояниях. Основную массу составляют твердые минералы. Каждый минерал характеризуется внутренней однородностью, определенными физическими свойствами и признаками, по которым его можно отличить от других минералов.

В природе минералы находятся чаще всего в виде комплексных минеральных агрегатов – *горных пород*, образующих самостоятельные геологические тела более или менее постоянного минералогического и химического состава. В настоящее время известно более 4500 видов минералов. Однако лишь около 100 пользуются широким распространением. Они входят в состав горных пород и называются *породообразующими*.

В зависимости от условий образования, горные породы принято делить на три главные группы: *магматические, осадочные и метаморфические*.

**Магматические породы** возникают при затвердевании магматического расплава на поверхности или в глубинах земной коры. При этом образуются глубинные (*интрузивные*) или поверхностные (*эффузивные*) породы. Главные представители интрузивных пород – гранит, диорит, габбро, перидотит.

Магматические породы подразделяются на ряд типов в зависимости от количественного содержания в них диоксида кремния (табл. 6.2).

По минералогическому составу эффузивные породы сходны с интрузивными, так как обе группы пород образуются из одних и тех же магматических расплавов. Существенное различие между этими породами заключается в их структуре. Процесс застывания магмы на поверхности Земли протекает намного быстрее, чем в ее глубинах, поэтому эффузивные породы состоят из мелких кристаллов (микроскопических размеров). В некоторых случаях магма застывала так быстро, что кристаллы вообще не

успевали появляться, и вся масса породы оказывалась аморфной, стекловидной. Подобные породы называют *вулканическими стеклами*.

Таблица 6.2

**Классификация магматических пород**

Тип	Содержание SiO <sub>2</sub> , %	Название породы
Кислый	Более 65	Граниты (интрузивная), липариты (эффузивная)
Средний	50-65	Диорит (интрузивная), андезит (эффузивная)
Основной	40-50	Габбро (интрузивная), базальт (эффузивная)
Ультраосновной	Менее 40	Дунит, перидотит (интрузивная)

**Осадочные породы** образуются путем отложения материала разрушенных или растворенных горных пород любого генезиса как на суше, так и в море. Осадочные породы залегают слоями.

По составу и происхождению осадочные породы подразделяются на *обломочные, хемогенные и биогенные*.

*Обломочные горные породы* – это продукты механического разрушения коренных, исходных пород. В зависимости от крупности зерен, независимо от их минерального состава, формы и происхождения, обломочные горные породы делят на глины (размер частиц менее 0,02 мм); *песок* (0,02-2,0 мм); гравий, гальку, щебень (2,0-200 мм); глыбы, валуны (размер более 200 мм). Глинистые породы в минералогическом отношении резко отличаются от крупных обломочных пород. Их главными представителями являются каолин, глина, суглинок, мергель, сланцевая глина. Все они образуются путем осаждения из воды в процессе разрушения горных пород. Глины обладают низкой водопроницаемостью для грунтовых вод и образуют водоупорные слои. Их характерной особенностью является способность удерживать воду в многочисленных тончайших порах.

*Хемогенные породы* образуются из естественных растворов в процессе осаждения находящихся в них соединений в результате выпаривания. Породы этой группы чаще всего классифицируют по химическому составу. К ним относятся: каменная соль (NaCl), ангидрит (CaSO<sub>4</sub>), гипс (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), известняки (CaCO<sub>3</sub>) и др.

*Биогенные горные породы* формируются в результате жизнедеятельности живых организмов (например, фосфориты).

**Метаморфические породы**, образуются путем глубокого преобразования – метаморфизма – магматических или осадочных горных пород в глубинах земной коры под воздействием высоких температур и давлений.

Различают метаморфизм двух типов: *контактный*, вызванный внедрением магматических масс друг в друга, и *региональный*,



обусловленный давлением вышележащих мощных толщ горных пород и тепловыми потоками из глубины Земли. Как контактный, так и региональный метаморфизмы проявляются в преобразовании структуры пород, их перекристаллизации без изменения химического состава. К наиболее распространенным относятся сланцы (получаются из мягкой сланцевой глины), гнейсы, кварциты (из песчаников), мрамор (из известняков).

Верхний слой земной коры (до глубины 16 км) на 95% сложен из магматических пород. Осадочные породы составляют лишь 1% от массы этого слоя земной коры, метаморфические породы – 4%.

Процесс разрушения минералов и горных пород на поверхности Земли называют *выветриванием*. А. Е. Ферсман в 1922 г. предложил другое название этого процесса – *гипергенез*.

В настоящее время под *выветриванием*, или *гипергенезом*, понимают сумму процессов преобразования твердого вещества земной коры на поверхности суши под влиянием воды, воздуха, колебаний температуры и жизнедеятельности организмов. Сущность этих процессов заключается в перегруппировке атомов и образовании новых устойчивых к условиям земной поверхности соединений.

## 6.2. Почвы, почвообразование и основные функции почв

**Почва** – поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием и представляющий собой полифункциональную гетерогенную открытую четырехфазную (твердая, жидкая, газообразная фазы и живые организмы) структурную систему, образовавшуюся в результате выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов.

На долю твердой фазы приходится 40-65% объема почвенной массы. Объем почвенного раствора может изменяться в широком диапазоне. До 35% объема почвы обычно занимает почвенный воздух.

Около 50-60% объема и до 90-97% массы почвы составляют **минеральные компоненты**. Минералогический состав почвы отличается от состава породы, на которой она образовалась: чем старше почва, тем сильнее это отличие.

Минералы, являющиеся остаточным материалом в ходе выветривания и почвообразования, носят название *первичных*. Большинство из них неустойчивы и с той или иной скоростью разрушаются. Одними из первых разрушаются оливин, амфиболы, пироксены, нефелин. Более устойчивыми являются полевые шпаты, составляющие до 10-15% массы твердой фазы почвы. Чаще всего они представлены относительно крупными песчаными частицами. Высокой стойкостью отличаются эпидот, дистен, гранат, ставролит, циркон, турмалин. Содержание их обычно незначительно, однако

позволяет судить о происхождении материнской породы и времени почвообразования. Наибольшую устойчивость имеет кварц, который выветривается за несколько миллионов лет. Благодаря этому в условиях длительного и интенсивного выветривания, сопровождающегося выносом продуктов разрушения минералов, происходит его относительное накопление.

Почва характеризуется высоким содержанием *вторичных минералов*, образованных в результате глубокого химического преобразования первичных, или же синтезированных непосредственно в почве. Особенно важна среди них роль глинистых минералов – каолинита, монтмориллонита, галлуазита, серпентина и ряда других. Они обладают высокими сорбционными свойствами, большой емкостью катионного и анионного обмена, способностью к набуханию и удержанию воды, липкостью и т. д. Этими свойствами во многом обусловлена *поглощательная способность почв*, ее структура и, в конечном счёте, *плодородие*.

Высоко содержание минералов-оксидов и гидроксидов железа (лимонит, гематит), марганца (вернадит, пиролюзит, манганит), алюминия (гиббсит) и др., также сильно влияющие на свойства почвы – они участвуют в формировании структуры, почвенного поглощающего комплекса, принимают участие в окислительно-восстановительных процессах. Большую роль в почвах играют карбонаты (кальцит, арагонит и др.).

В почве содержится некоторое количество *органического вещества*. В большинстве минеральных почв его количество не превышает нескольких процентов в верхних горизонтах (в торфопочвах – до 20%).

В состав органического вещества почвы входят как растительные и животные остатки, не утратившие черт анатомического строения, так и отдельные химические соединения, называемые *гумусом*. В составе последнего находятся как *неспецифические вещества* известного строения (липиды, углеводы, лигнин, флавоноиды, пигменты, воск, смолы и др.), составляющие до 10-15% всего гумуса, так и образующиеся из них в почве *специфические гумусовые кислоты*.

Гумусовые кислоты не имеют определенной формулы и представляют собой целый класс высокомолекулярных соединений (*гуминовые и фульвокислоты*).

**Почвообразованием** называется сложный природный процесс перехода горной породы в качественно новое состояние. Этот процесс протекает при взаимодействии минерального вещества земной коры с живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности под влиянием (прямым или косвенным) других факторов внешней среды (климат, рельеф, возраст почв и др.).

*Показателями химического состояния почв* называются характеристики химических свойств почвы, отражающие ее состояние на

момент исследования, и характеристики почвенных процессов, дающие представление о направлении и скорости природного или антропогенного почвообразования. Показатели почвенных процессов могут служить для прогноза изменения свойств почв при техногенезе или сельскохозяйственном использовании. В число показателей химических свойств входят: элементный состав, запасы химических элементов, содержание водорастворимых солей, гипса, карбонатов, содержание органических веществ, групповой состав элементов и соединений, их подвижность, кислотно-основные и ионообменные свойства.

**Плодородие** является неотъемлемым свойством почвы. От него зависит жизнь растений и животных. Под плодородием в современной научной литературе принято понимать способность почвы обеспечивать рост и воспроизводство растений всеми необходимыми им условиями.

**Глобальные функции почвы** многогранны. Первая и главная из них – *обеспечение существования жизни на Земле*. Именно из почвы растения, а через них и животные, и человек получают элементы минерального питания и воду для создания своей биомассы. В почве аккумулируются необходимые организмам биофильные элементы в доступных для них формах химических соединений. В почве укореняются наземные растения, в ней обитает огромная масса почвообитающих животных, она плотно населена микроорганизмами. Без почвы существование природных ассоциаций живых организмов на Земле невозможно. Важно при этом подчеркнуть диалектическое единство биосферных процессов: почва – следствие жизни и, одновременно, условие ее существования.

Вторая важнейшая глобальная функция почвы – *обеспечение постоянного взаимодействия большого геологического и малого биологического круговоротов (циклов) веществ на земной поверхности*.

Попадая на поверхность земли (при формировании земной коры, вулканизме, излияниях в разломах и др.), первичные горные породы подвергаются выветриванию. В верхней части коры выветривания формируется почва, аккумулирующая элементы питания живых организмов. Эти элементы захватываются из почвы растениями и через ряд промежуточных трофических циклов (растения-животные-микроорганизмы) возвращаются в почву, что и составляет малый биологический круговорот веществ. Из почвы элементы частично выносятся атмосферными осадками в гидрографическую сеть, в зоны аккумуляции и в конечном итоге в Мировой океан, где дают начало образованию осадочных горных пород, которые в геологической истории Земли могут либо выйти опять на поверхность, либо вначале подвергнуться глубинному метаморфизму. Это большой геологический

круговорот веществ. Почва является связующим звеном и регулятором взаимодействия двух этих циклов вещества на земной поверхности.

*Третья глобальная функция почвы* – регулирование химического состава атмосферы и гидросферы. Почвенное «дыхание» вместе с фотосинтезом и дыханием живых организмов играет определяющую роль в создании и поддержании состава приземного слоя атмосферного воздуха, а через него и атмосферы в целом. В геологической истории Земли, вероятно, почва сыграла немаловажную роль в создании современной атмосферы.

С другой стороны, именно почвенный покров определяет состав тех веществ, которые поступают в гидросферу на континентальной части глобального круговорота воды.

Четвертая глобальная функция почвы – *регулирование биосферных процессов*, в частности плотности жизни на Земле, путем динамичного воспроизводства почвенного плодородия, поскольку почва имеет свойства, обеспечивающие жизнь растений, и лимитирующие ее факторы. Распределение живых организмов на суше Земли и их плотность в значительной степени определяются географической неоднородностью почвы и ее плодородием наряду с климатическими факторами.

Пятая глобальная функция почвы – *аккумуляция активного органического вещества и связанной с ним химической энергии на земной поверхности*.

В конкретном проявлении биосферы на Земле почва является неотъемлемым компонентом природных экосистем или биогеоценозов.

### **6.3. Земельные ресурсы России и деградация почв**

Под земельными ресурсами понимаются определенные площади поверхности суши с различными ландшафтами, почвами, климатическими условиями и рядом других свойств.

Общий земельный фонд Российской Федерации составляет почти 1709,8 млн га без учета внутренних морских вод и территориального моря. Сравнительное сопоставление качества земельных ресурсов по их пригодности для различных видов землепользования требует разработки единой системы классификации. В соответствии с Земельным кодексом Российской Федерации (ст.7) земли в Российской Федерации по целевому назначению подразделяются на следующие категории:

- *земли сельскохозяйственного назначения* – земли, используемые для нужд сельского хозяйства, а также предназначенные для этих целей (угодья; земли, занятые внутрихозяйственными дорогами, коммуникациями, лесными насаждениями, предназначенными для обеспечения защиты земель и др.) (ст.77);

- *земли населенных пунктов*, находящиеся в ведении городских, поселковых и сельских администраций – земли, находящиеся в пределах черты (границы) населенных пунктов, а также земля, переданная в ведение администрации используемые и предназначенные для застройки и развития населенных пунктов (ст.83);

- *земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения* – земли, предоставленные предприятиям, различным объединениям и организациям для осуществления возложенных на них специальных задач (промышленного производства, транспорта, связи и др.) (ст.87);

- *земли особо охраняемых территорий и объектов* – земли с особо охраняемыми природными объектами и комплексами, которые имеют природоохранное, научное, историко-культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение (ст.94).

- *земли лесного фонда* – земли, покрытые лесной растительностью и не покрытые, но предназначенные для ее восстановления (вырубки, гари, прогалины и др.) и предназначенные для ведения лесного хозяйства нелесные земли (просеки, дороги, болота и др.) (ст.101);

- *земли водного фонда* – земли, занятые водоемами, ледниками, болотами (за исключением тундровой и лесотундровой зон), гидротехническими и иными сооружениями, расположенными на водных объектах (ст.102);

- *земли запаса* – земли, не предоставляемые юридическим и физическим лицам в собственность, владение, пользование или аренду; использование земель запаса допускается после переводы их в другую категорию (ст.103).

Распределение земель Российской Федерации по категориям приведено на рисунке 6.2.

Территория Российской Федерации характеризуется специфическими особенностями: в первую очередь – выраженной неоднородностью климатических и литолого-геоморфологических условий что определяет разнообразие почвенного покрова.

Главные типы почв России: *тундровые, подзолистые почвы таежно-лесной зоны* (самые распространенные), *черноземы, серые лесные почвы, каштановые почвы, бурые почвы* и др.

**Деградацией почв** называется постепенное ухудшение качества почвы в результате изменений, разрушающих ее структуру, ведущих к появлению негативных химических свойств и утрате ее плодородия. Дегградация почвы может происходить в результате стихийных природных

явлений (извержений вулканов, ураганов) и нерегулируемой хозяйственной деятельности человека.

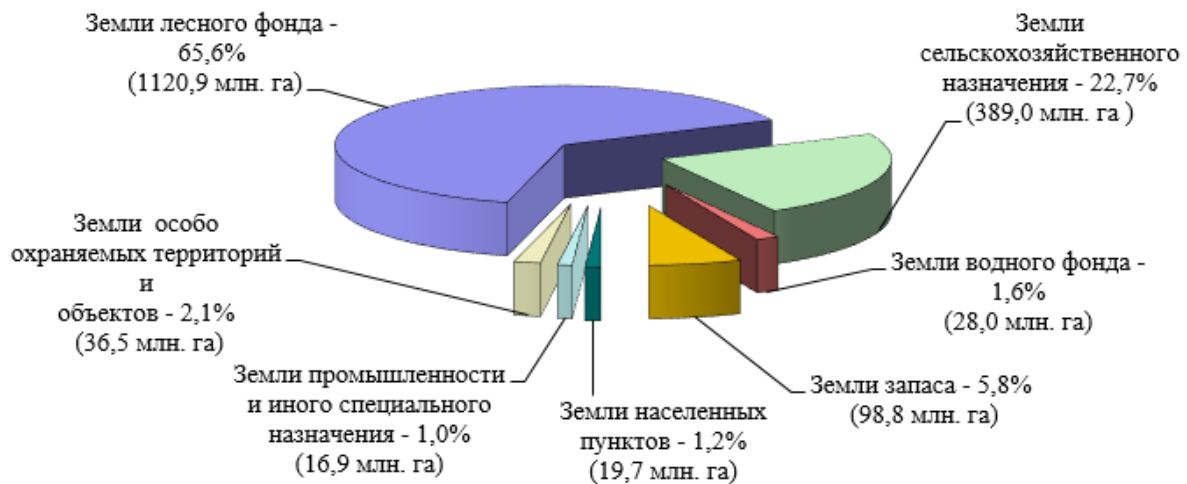


Рис. 6.2. Структура земельного фонда Российской Федерации по категориям земель

Явления деградации почв можно разделить на следующие группы, связанные с различными направлениями нарушений почвенного покрова и процессов, происходящих в почвах:

- *нарушение биоэнергетического режима почв и экосистем* (девегетация почв (потеря почв растительного покрова), дегумификация почв (потеря почвой гумуса), почвоутомление (резкое снижение урожая сельскохозяйственных растений) и истощение почв);

- *патологическое состояние почвенных горизонтов и профиля почв* (отчуждение и выключение почв из действующих экосистем, эрозия (*лат. erosio* – разъедание) и дефляция почв (*позднелат. deflatio* – выдувание) ветровая эрозия), образование бесструктурной коры и переуплотненных горизонтов);

- *нарушение водного и химического режима почв* (сухость и опустынивание почв, селевые разливы и оползни, вторичное засоление почв, природная и вторичная кислотность почв, переосушение почв);

- *затопление, разрушение и засоление почв водами водохранилищ* (затопление пойменных террас, подъем уровня грунтовых вод и подтопление почв, абразия (*лат. abrasio* – соскабливание) берегов и засорение дельт, размыв и уничтожение почв приморских дельт, загрязнение и содовое (щелочное) засоление вод и почв);

- *загрязнение и химическое отравление почв;*

- *переохлаждение и вторичная мерзлотность почв* (деградация ландшафтов и почв районов с распространением многолетней мерзлоты, разрушение и исчезновение «ледяных земель»);

- *разрушение почв военными действиями, атомной радиацией* (обычные войны, ядерные войны и атомная радиация, аварии на АЭС и утечки радиоактивных материалов).

**Источники загрязнения почвы** могут быть классифицированы следующим образом:

- *жилые дома и коммунально-бытовые предприятия* (в составе загрязняющих веществ этой категории источников преобладают бытовой мусор, пищевые отходы, фекалии, строительный мусор, отходы отопительных систем, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода и др.);

- *промышленные предприятия* (в твердых и жидких промышленных отходах постоянно присутствуют химические элементы (табл.6.3) и вещества, способные оказывать токсическое воздействие на живые организмы, в том числе на растения);

- *транспорт* (при работе двигателей внутреннего сгорания интенсивно выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды, оксид углерода, сажа и другие вещества, оседающие на поверхность почв или поглощаемые растениями – вовлекаются тем самым в круговорот, связанный с пищевыми цепями);

- *сельское хозяйство* (загрязнение почвы в сельском хозяйстве происходит вследствие внесения больших количеств минеральных удобрений и ядохимикатов (пестицидов).

*Приоритетный компонент загрязнения почвы* – вещество или биологический агент, подлежащий контролю в первую очередь. Перечень приоритетных веществ – загрязнителей почвы приводится в методических указаниях МУ 2.1.7.730-99. Опасения вызывает также загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами и стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) (*пестициды* (лат. *pestis* – зараза, *caedo* – убиваю) (дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), альдрин, хлордан, токсафен, гептахлор, гексахлорбензол и др.), *полихлорированные дифенилы* (ПХД), *полихлордибензодиоксины* (ПХДД), *полихлордibenзофураны* (ПХДФ) и др.).

#### **6.4. Нормирование загрязняющих веществ в почве**

Принципы нормирования вредных веществ в почве существенно отличаются от принципов, положенных в основу нормирования их для водных ресурсов и атмосферного воздуха. Разница обусловлена тем, что прямое поступление вредных веществ через почву в организм человека невелико, оно ограничено немногими случаями прямого контакта с ней (например, употребление в пищу немытых овощей). Вредные вещества, попавшие в почву, поступают в организм человека через контактирующие с почвой среды – воду, воздух, растения. Опасность загрязнения почв про-

является также в отрицательном влиянии на биологическую активность почв и процессы самоочищения.

Таблица 6.3

**Перечень источников загрязнения и химических элементов, накопление которых возможно в почве в зонах влияния этих источников**

Вид промышленности	Производственные объекты	Химические элементы	
		приоритетные	сопутствующие
Цветная металлургия	Производство цветных металлов непосредственно из руд и концентратов	Pb, Zn, Cu, Ag	Sn, Bi, As, Cd, Sb, Hg, Se
	Вторичная переработка цветных металлов	Pb, Zn, Sn, Cu	Hg
	Производство твердых и тугоплавких металлов	W	Mo
	Производство титана	Ag, Pb, Zn, B, Cu	Ti, Mn, Mo, Sn, V
Черная металлургия	Производство легированных сталей	Co, Mo, Bi, W, Zn	Pb, Cd, Cr, Zn
	Железорудное производство	Pb, Ag, As, Tl	Zn, W, Co, V
Машиностроение и металлообрабатывающая промышленность	Предприятия с термической обработкой металлов (без литейных цехов)	Pb, Zn	Ni, Cr, Hg, Sn, Cu
	Производство аккумуляторов, производство приборов для электротехнической и электронной промышленности	Pb, Ni, Cd	Sb, Pb, Zn, Bi
Химическая промышленность	Производство суперфосфатных удобрений	Sr, Zn, F, Ba	Редкие земли, Cu, Cr, As, Y
	Производство пластмасс	Сернистые соединения	Cu, Zn, Ag
Промышленность строительных материалов	Производство цемента (при использовании отходов металлургических производств возможно накопление соответствующих элементов)	Ba	Hg, Zn, Sr
Полиграфическая промышленность	Шрифтолитейные заводы и типографии	-	Pb, Zn, Sn
Твердые бытовые отходы крупных городов, используемые в качестве удобрений		Pb, Cd, Sn, Cu, Ag, Sb, Zn	Hg
Осадки канализационных сточных вод		Pb, Cd, V, Ni, Sn, Cr, Cu, Zn	Hg, Ag
Загрязненные поливочные воды		Pb, Zn	Cu

**ПДК<sub>n</sub>** – экспериментально обоснованная максимальная концентрация химического вещества (мг/кг), которая не должна оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье человека и самоочищающую



способность почв и обуславливает переход нормируемого вещества в контактирующие среды и сельскохозяйственные растения в количествах, не превышающих ПДК нормируемого вещества для этих сред (ГН 2.1.7.2042-06). При установлении ПДК<sub>п</sub> учитывают четыре *лимитирующих показателя вредности* в зависимости от пути миграции химических веществ в определенную среду:

- *транслокационный*, характеризующий переход химических веществ их почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений (не должен превышать ПДК для пищевых продуктов);

- *миграционно-воздушный* – переход химических веществ и почвы в атмосферу (не должен превышать ПДК для атмосферного воздуха);

- *миграционный водный* – переход химических веществ из почвы в грунтовые воды и водоисточники (не должен превышать ПДК для воды водоемов);

- *общесанитарный*, характеризующий влияние химических веществ на самоочищающую способность почв и микробиоценоз.

В качестве ПДК<sub>п</sub> принимается наиболее жесткий показатель из перечисленных.

ЛПВ для разных веществ неодинаковы: для нефтепродуктов – миграционно-воздушный, для пестицидов – в основном транслокационный, для тяжелых металлов – общесанитарный и транслокационный (табл.6.4).

В случае применения новых химических веществ, для которых отсутствует ПДК<sub>п</sub> могут устанавливаться временно допустимые концентрации  $ВДК_n$ :

$$ВДК_n = 1,23 + 0,481g ПДК_{prod.пит.}, \quad (6.1)$$

где  $ПДК_{prod.пит.}$  – предельно допустимая концентрация для продуктов питания (овощные и плодовые культуры), мг/кг.

Сейчас установлены ПДК<sub>п</sub> для 109 веществ и  $ВДК_n$  для более 70 веществ. В основном это пестициды, тяжелые металлы и некоторые микроэлементы (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06 и др.).

Почва участвует в передаче многих инфекционных заболеваний как контактным, так и непрямым путем – через пыль, воду, животных, пищевые продукты и др. (рис. 6.3).

Кроме ПДК<sub>п</sub> существует ряд дополнительных показателей санитарного состояния почвы, оценивающих:

- состояние почвенных фильтратов;
- состояние численности некоторых видов насекомых (мух);
- наличие гельминтов (*греч. helmins* – червь, глист) в местах, посещаемых населением;

- наличие бактерий кишечной группы и других болезнетворных микроорганизмов.

Таблица 6.4

**Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве**

№ п/п	Вещество	ПДК, мг/кг почвы	Лимитирующий показатель вредности
1	Бензапирен	0,02	Общесанитарный
2	Бензин	0,1	Миграционно-воздушный
3	Ванадий	150	Общесанитарный
4	ГХЦГ (линдан)	0,1	Транслокационный
5	ГХЦГ (гексахлоран)	0,1	
6	Гептахлор	0,05	
7	ДДТ и его метаболиты	0,1	
8	Карбофос	2,0	
9	Марганец	1500	
10	Медь	3,0	
11	Мышьяк	2,0	Транслокационный
12	Никель	4,0	Общесанитарный
13	Нитраты	130	Миграционно-водный
14	Ртуть	2,1	Транслокационный
15	Свинец	20	Общесанитарный
16	Сурьма	4,5	Миграционно-водный
17	Цинк	23	Транслокационный
18	Хром(VI)	0,05	



Рис. 6.3. Основные инфекционные заболевания, в механизме передачи которых участвует почва (по Н.Г. Занько, В.М. Ретневу)

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по следующим показателям:

- **коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$ :**

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \quad (6.2)$$

где  $C_i$  – фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг;  
 $C_{\phi i}$  – региональное фоновое значение этой концентрации, мг/кг.

- **суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ :**

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (6.3)$$

где  $n$  – число определяемых суммарных веществ;  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Анализ распределения геохимических показателей дает пространственную структуру загрязнения селитебных территорий и позволяет выделить зоны риска для здоровья населения с учетом категории загрязнения почв (табл. 6.5).

Наряду с химическими критериями экологическое состояние почв оценивают по физическим и биологическим критериям и по показателям деградации сельскохозяйственных угодий.

В качестве показателей физической деградации сельскохозяйственных земель рекомендуется использовать площади угодий, выведенных из землепользования в результате появления неблагоприятных почвенных процессов (эрозия, вторичное засоление и др.), величины потери гумуса в пахотном слое, состояние жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и др.

Для оценки экологического состояния и антропогенного изменения растительности и животных используют структурные и функциональные показатели популяций и биоценозов (изменение видового состава, уменьшение биоразнообразия, изменение плотности популяций видов-индикаторов и др.).

Характеристики остроты экологических ситуаций приведены в таблице 6.5.

### **6.5. Самоочищение почв и рекультивация земель**

**Самоочищение почвы** – уменьшение количества загрязняющего почву вещества в результате протекающих в почве процессов миграции, превращения, разложения.

Самоочищение имеет большое санитарно-гигиеническое и эпидемиологическое значение. В почве происходит *детоксикация* (обезвреживание, разрушение, превращение в нетоксичные соединения) основной

массы поступающих экзогенных органических веществ. Эти вещества в виде белков, жиров, углеводов и продуктов их обмена подвергаются распаду вплоть до образования неорганических веществ (процесс минерализации). Параллельно этому процессу в почве происходит обратный процесс минерализации – гумификация.

Таблица 6.5

**Ориентировочные характеристики остроты экологических ситуаций  
(по А.Г. Емельянову, с изм.)**

Категория загрязнения почв	Категория экологической ситуации	Суммарный показатель загрязнения $Z_c$	Снижение продуктивности экосистем, % в год	Степень нарушенности ландшафтов	Состояние здоровья населения
-	удовлетворительная	Существенно менее 16	<1,0	Норма	Норма
Допустимая	напряженная	Около 16	1,0...1,5	Изменение свойств компонентов	Отдельные признаки ухудшения здоровья
Умеренно опасная	критическая	16...32	1,5...3,5	Нарушение структуры вторичных компонентов	Ухудшение здоровья отдельных групп населения
Опасная	кризисная	32...128	3,5...7,5	Дегградация ландшафтов	Повсеместное ухудшение здоровья населения
Чрезвычайно опасная	катастрофическая	Более 128	> 7,5	Нарушение структуры и фракций ландшафтов	Рост смертности и сокращение продолжительности жизни

Процесс обезвреживания поступивших в почву загрязняющих веществ сложный и осуществляется, главным образом, микроорганизмами. При этом часть углеводов в аэробных условиях окисляется до  $CO_2$  с выделением энергии, а другая часть (моносахариды) идет на синтез гликогена микробных клеток.

Расщепление жиров в аэробных условиях идет очень медленно до образования жирных кислот и выделения энергии, а в анаэробных – до образования  $H_2$ ,  $CO_2$  и др. Белки расщепляются до аминокислот. Часть аминокислот идет на жизнедеятельность микробных клеток. Продукты азоти-

стого обмена подвергаются биохимическому окислению при помощи аэробных бактерий. Этот процесс получил название нитрификации. Одновременно с окислительными процессами в почве проходят и восстановительные процессы. Процесс денитрификации сопровождается образованием газов. Степень восстановительного действия бактерий, помимо их биохимических особенностей, зависит от состава среды, ее реакции и других условий.

Особая гигиеническая роль почвы связана с процессом обезвреживания патогенных микроорганизмов, главным образом, *неспоробразующих*. Уничтожению бактерий способствуют конкуренция со стороны сапрофитов, действие механического фактора, бактерицидное действие солнечных лучей, поверхностной энергии электрохимических взаимоотношений. Эффективность обезвреживания зависит от вида бактерий, структуры и свойств почвы и т.п. Данные свойства почвы используются для организации полей фильтрации, предназначенных для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод.

Следует подчеркнуть, что самоочищение почвы не безгранично – чрезмерное загрязнение может вызвать гибель всей полезной микрофлоры.

**Рекультивация** (*лат. re* – приставка, обозначающая возобновление или повторность действия; *cultivo* – обрабатываю, возделываю) – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды.

Работы по рекультивации нарушенных земель обычно имеют два основных этапа – **технический** и **биологический**.

Технические мероприятия по рекультивации нарушенных земель подразделяются на следующие виды:

- *проектные* – создание новых проектных поверхностей и форм рельефа: профилирование, террасирование, вертикальная планировка, удаление ненужной древесно-кустарниковой растительности и др.;
- *структурные* – изменение состава и структуры рекультивационного слоя (землевание, торфование, создание экранов и др.);
- *химические* – известкование, гипсование, кислование, внесение сорбентов, органических и минеральных удобрений;
- *водные (гидротехнические)* – осушение, орошение, регулирование сроков затопления поверхностными водами;
- *теплотехнические* – мульчирование, грядование, обогрев, применение утеплителей.

На нарушенных землях практически всегда необходимо проводить *планировку* и *землевание*. Планировку в зависимости от направления рекультивации (для дальнейшего использования территории), объемов и расстояния транспортировки почвенного слоя проводят по всей территории

(сплошная) или по отдельным участкам (частичная), ее включают в состав работ по террасированию и выполаживанию откосов отвалов, карьерных выемок, кавальеров и насыпей.

Сплошную планировку (разравнивание) выполняют при подготовке земель к сельскохозяйственному использованию и созданию лесных массивов, частичную – при подготовке земель к озеленению, созданию защитных или лесных водоохраных полос, при благоустройстве территорий для целей рекреации или для придания нарушенным землям эстетичного вида с многообразием форм микрорельефа.

Планировка насыпей проводится в два этапа: *предварительная* и *окончательная* через 2-3 года с обязательным засевом поверхности насыпи бобово-злаковыми травами в промежутках между этапами.

*Землевание* – это нанесение почвенного слоя на спланированную поверхность или внесение почвы (потенциально плодородных пород) в другую почву для улучшения водно-физических, агрохимических и тепловых свойств. Содержание гумуса в почве, наносимой на спланированную поверхность, должно быть не менее 2%.

Землевание особенно необходимо при создании рекультивационного слоя на землях, непригодных для проведения биологической рекультивации по физическим или химическим свойствам. Мощность рекультивационного слоя на потенциально плодородных породах определяется направлением использования нарушенных земель.

Основные задачи *биологической рекультивации* – возобновление процесса почвообразования, повышение самоочищающей способности почвы и воспроизводство биоценозов.

Организационно биологическую рекультивацию осуществляют в два этапа. На *первом* этапе выращивают пионерные (предварительные, авангардные) культуры, умеющие адаптироваться в существующих условиях и обладающие высокой восстановительной способностью. На *втором* переходят к целевому использованию. Земли, загрязненные тяжелыми металлами, органическими веществами или продуктами промышленной переработки, на первом этапе очищают с помощью сорбентов, растений или микроорганизмов (биодеструкторов), а затем включают в хозяйственное использование под наблюдением агрохимических и санитарно-эпидемиологических служб.

На землях, загрязненных техногенными продуктами, главной задачей биологической рекультивации является повышение самоочищающей способности почвы. Решение этой задачи возможно с помощью совместного функционирования технических и биологических систем, оперирующих широким набором мероприятий, в том числе с использованием специально выращенных микроорганизмов.

## Список литературы



1. Аплонов С.В. Геодинамика: учебник. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 360 с.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_110042.html](http://snipov.net/c_4655_snip_110042.html)
3. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_109921.html](http://snipov.net/c_4655_snip_109921.html)
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения, 2012. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Режим доступа: [http://mcs.ru/documents/document/v7\\_show/19760.133.htm](http://mcs.ru/documents/document/v7_show/19760.133.htm)
5. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (в действующей редакции) ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
6. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Статус действующие. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4655\\_snip\\_99446.html](http://snipov.net/c_4655_snip_99446.html)
7. Занько Н.Г., Ретнев В.М. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: учебник. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
8. Технический этап рекультивации. Режим доступа: <http://www.mylect.ru/ecology/465-prorodoobustroistvo.html?start=23>

## Вопросы



1. Строение Земли согласно современным представлениям.
2. Какие горные породы входят в состав верхнего слоя земной коры?
3. Что представляет собой почва? Перечислите глобальные функции почв.
4. Категории земель Российской Федерации по целевому назначению.
5. В чем заключается суть явления деградации почвенного покрова? Перечислите основные источники загрязнения почв.
6. Нормирование загрязняющих веществ в почве.
7. Что такое рекультивация земель? Как она проводится?

## 7. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

### 7.1. Управление экологической деятельности. ОВОС

Управление экологической (природоохранной) деятельностью осуществляется в соответствии с законами Российской Федерации.

В связи с этим особое значение приобретает такая отрасль права как экологическое право.

Экологическое право представляет собой совокупность правовых принципов и норм, регулирующих общественные отношения:

- по охране окружающей среды от вредных воздействий в процессе хозяйственной и иной деятельности;
- по рациональному использованию природных ресурсов;
- по охране экологических прав и законных интересов физических и юридических лиц;
- по обеспечению экологической безопасности.

При этом под охраной окружающей среды принято понимать деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий.

**Рациональное использование природных ресурсов** – это комплексное, экономически эффективное использование природных ресурсов в сочетании с требованиями охраны окружающей среды.

Под экологической безопасностью понимается состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества, государства, а также окружающей природной среды от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на нее; положение при котором отсутствует угроза нанесения ущерба природной среде и здоровью населения.

Принято считать, что формально-юридически под окружающей средой в Российском законодательстве понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

**Природный объект** – это естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства.



**Природно-антропогенный объект** – это природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение.

**Антропогенный объект** – объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Последние годы все большее распространение и обоснование получает точка зрения, в соответствии с которой экологическое право охватывает своим регулированием все аспекты человеческого взаимодействия с материальным миром природы, окружающим людей, то есть экологические отношения.

В их содержание включаются природопользование, охрана окружающей среды, сохранение уникальных произведений природы, культуры, здравоохранения, все виды воздействий на природу, искусственное восстановление благоприятного состояния природной среды, защита от неблагоприятных воздействий стихии и т.д. В таком понимании экологическое право включает правовые нормы об использовании и охране земель, их недр, вод (включая океаны, моря, подземные воды, ледники), лесов и иных составляющих растительного царства, диких животных, обитающих в состоянии естественной свободы в сухопутной и водной среде, атмосферы Земли и космического пространства со всеми ее природными компонентами.

Сегодня во многих государствах мира всё большее признание получает подход, в соответствии с которым обеспечение экологической безопасности является относительно самостоятельным предметом регулирования, наряду с природопользованием и охраной окружающей среды.

В современном понимании *ОВОС* – это прежде всего систематический процесс, охватывающий как планирование (проектирование), так и осуществление (реализацию) намечаемой деятельности. Он включает (не в порядке проведения) следующие основные составляющие:

- анализ (прогноз) потенциальных воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду и оценку их значимости на всех этапах ее планирования и реализации;
- консультации с заинтересованными в экологических, социальных, экономических и иных аспектах планируемой деятельности сторонами с целью поиска взаимоприемлемых решений;
- документальное оформление процедуры проведения оценки, всех согласований (обсуждений, консультаций) и результатов оценки воздействия;

- использование результатов оценки воздействий в процессе принятия решений, относящихся к намечаемой деятельности.

## **7.2. Экологическое право в сфере экологической безопасности**

Под источниками экологического права понимаются нормативно-правовые акты, содержащие нормы, регулирующие отношения в сфере взаимодействия общества и природы.

*Источники экологического права* могут быть классифицированы по следующим основаниям:

- по юридической силе – на *законы* и *подзаконные акты*.

**Законы** – нормативно-правовые акты, принимаемые представительными органами государственной власти.

**Подзаконные акты** – все иные нормативные правовые акты, принимаемые Президентом Российской Федерации, Правительством Российской Федерации и органами исполнительной власти субъектов Федерации, министерствами и ведомствами, органами местного самоуправления.

- по предмету регулирования – на *общие* и *специальные*.

*Общие* – регулируют как экологические, так и иные общественные отношения (например, Конституция Российской Федерации).

*Специальные* – это акты, целиком посвященные вопросам охраны окружающей среды или ее элементов (например, Федеральные Законы «Об охране окружающей среды», «О животном мире», Водный кодекс Российской Федерации и др.).

- по характеру правового регулирования – на *материальные* и *процессуальные*.

*Материальные* эколого-правовые нормы устанавливают права и обязанности, а также ответственность участников соответствующих отношений (Федеральные законы «Об экологической экспертизе», «Об особо охраняемых природных территориях» и др.).

Источники экологического права *процессуального* характера регулируют процессуальные отношения в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Они касаются предоставления земель в пользование, процедуры разработки нормативов предельно допустимых воздействий на окружающую среду, проведения государственной экологической экспертизы, экологического лицензирования, защиты экологических прав и интересов и т.д. (Гражданский кодекс Российской Федерации; Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации; Федеральный Закон «Об экологической экспертизе», Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения об особенностях проведения государственной экологической экспертизы проектной документации олимпийских объектов, строи-

тельство, реконструкцию и капитальный ремонт которых предполагается осуществлять на землях особо охраняемых природных территорий федерального значения» и др.)

- по своему характеру – на *кодифицирующие* и не являющиеся таковыми.

К *кодифицирующим* актам можно отнести Федеральный Закон «Об охране окружающей среды», Лесной кодекс Российской Федерации, Водный кодекс Российской Федерации, Федеральный закон «О недрах» и др.

Их отличительной особенностью является систематизация экологических правовых норм на базе основополагающих правовых принципов путем их уточнения, ликвидации внутренних противоречий и совершенствования, развития в процессе нормотворчества.

Систему источников экологического права образуют:

- Конституция Российской Федерации;
- федеративные договоры;
- международные договоры Российской Федерации, общепризнанные принципы международного права;
- законы (конституционные и федеральные);
- указы и распоряжения Президента Российской Федерации;
- постановления и распоряжения Правительства Российской Федерации;
- конституции, уставы, законы, иные нормативные правовые акты субъектов Российской Федерации;
- нормативные правовые акты министерств и ведомств;
- нормативные правовые акты органов местного самоуправления;
- локальные нормативные правовые акты;
- правовой обычай.

### **7. 3. Государственные органы управления в области охраны окружающей среды**

Государственное управление природопользованием и охраной окружающей среды осуществляется органами исполнительной власти общей компетенции и специально уполномоченными органами в области использования природных ресурсов и охраны окружающей среды

Организационная структура экологического управления – это система органов власти и управления, выполняющих функции, связанные с достижением экологических целей социально-экономического развития общества и функционирования субъектов хозяйствования.

В экологической сфере складывается широкий круг достаточно сложных, часто специфических видов и разновидностей общественных отношений в сфере землепользования, недропользования, водопользования и

лесопользования, пользования атмосферным пространством, растительным и животным миром, охраны природных ресурсов, природных объектов, природных комплексов, окружающей человека среды. Управленческая экологическая деятельность направлена на выстраивание этих отношений.

В зависимости от характера и объема компетенции органов, сферы или отрасли осуществления ими деятельности экологическое управление подразделяется на *общее* и *специальное* государственное, а также *ведомственное (отраслевое)*, с отнесением определенного органа к одной из названных категорий.

Компетенция органов *общего и специального* государственного экологического управления распространяется на все природные ресурсы, природные объекты и природные комплексы независимо от их ведомственной принадлежности, круга пользователей, владельцев и собственников.

Органы *ведомственного (отраслевого)* управления осуществляют управленческую деятельность по отношению к природным ресурсам, природным объектам и природным комплексам, а также их пользователям и владельцам в пределах вверенной государством этим органам отрасли, например лесного и сельского хозяйства.

В системе органов государственной власти в сфере экологического управления можно выделить:

1) *органы общей компетенции* (Президент Российской Федерации, Правительство Российской Федерации) – органы широкой компетенции, которая, в том числе, охватывает и вопросы экологического управления;

2) *специально уполномоченные органы* – органы государственной власти, специально созданные для осуществления государственных функций в сфере экологического управления;

3) *иные органы, имеющие отдельные экологические функции* – органы государственной власти, как правило, регулирующие смежные области общественной жизни (безопасность, охрана здоровья и т.п.), которые обладают отдельными функциями в сфере экологического управления.

#### **Органы общей компетенции:**

**Президент Российской Федерации** является гарантом Конституции Российской Федерации, прав и свобод человека и гражданина. В установленном Конституцией Российской Федерации порядке он обеспечивает согласованное функционирование и взаимодействие органов государственной власти. Президент Российской Федерации в соответствии с Конституцией Российской Федерации и федеральными законами определяет основные направления внутренней и внешней политики государства (п. 2, 3 ст. 80 Конституции Российской Федерации). Таким образом, Президент Российской Федерации, в том числе, является гарантом экологических прав человека и гражданина, закрепленных в ст. 42 Конституции Российской

Федерации, обеспечивает согласованное функционирование органов государственной власти, включая органы экологического управления.

Президент Российской Федерации формирует и возглавляет Совет Безопасности Российской Федерации, издает указы и распоряжения. Среди Указов Президента Российской Федерации есть ряд актов в сфере экологического права, в частности, можно выделить Указ Президента Российской Федерации от 01.04.1996 № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», в котором реализуются его полномочия по определению основных направлений политики России.

Стратегические цели обеспечения экологической безопасности рассмотрены в разделе 8 Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2009 № 537.

**Правительство Российской Федерации** обеспечивает проведение в Российской Федерации единой государственной политики в области экологии; осуществляет управление федеральной собственностью; осуществляет меры по обеспечению законности, прав и свобод граждан (ст. 114 Конституции Российской Федерации).

Правительство Российской Федерации руководит работой федеральных министерств и иных федеральных органов исполнительной власти и контролирует их деятельность (ст. 12 Федерального конституционного закона от 17.12.1997 № 2-ФКЗ «О Правительстве Российской Федерации»), включая и федеральные органы исполнительной власти в сфере экологического управления. Актами Правительства Российской Федерации утверждены положения о федеральных органах исполнительной власти.

Правительство Российской Федерации в пределах своих полномочий: организует реализацию внутренней и внешней политики Российской Федерации; обеспечивает единство системы исполнительной власти в Российской Федерации, направляет и контролирует деятельность ее органов; формирует федеральные целевые программы и обеспечивает их реализацию; реализует предоставленное ему право законодательной инициативы (ст. 13 Федерального конституционного закона от 17.12.1997 № 2-ФКЗ «О Правительстве Российской Федерации»).

Непосредственные полномочия Правительства Российской Федерации в сфере экологии и охраны природы закреплены в ст. 18 Федерального конституционного закона от 17.12.1997 № 2-ФКЗ «О Правительстве Российской Федерации»:

- обеспечивает проведение единой государственной политики в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности;

- принимает меры по реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду, по обеспечению экологического благополучия;
- организует деятельность по охране и рациональному использованию природных ресурсов, регулированию природопользования и развитию минерально-сырьевой базы Российской Федерации;
- координирует деятельность по предотвращению стихийных бедствий, аварий и катастроф, уменьшению их опасности и ликвидации их последствий.

Федеральными законами Правительству Российской Федерации предоставлены полномочия по регулированию различных правоотношений, в том числе в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

*К специально уполномоченным органам* можно отнести:

1. *Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации;*

2. *Федеральная служба по надзору в сфере природопользования* (находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации);

3. *Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации* (находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации);

4. *Федеральное агентство по недропользованию* (находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации);

5. *Федеральное агентство водных ресурсов* (находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации);

6. *Федеральное агентство лесного хозяйства* (находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации);

7. *Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору;*

8. Специально уполномоченные органы субъектов Российской Федерации (например, в Челябинской области – Министерство радиационной и экологической безопасности Челябинской области).

***Иные органы, имеющие отдельные полномочия в сфере экологического управления:***

Отдельные полномочия в сфере экологического управления имеются у ряда органов государственной власти:

1. *Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий* (МЧС России) в части предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

2. *Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) (Руководство деятельностью Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека осуществляет Правительство Российской Федерации);*

3. *Министерство обороны Российской Федерации – в части экологического обеспечения Вооруженных Сил в целях сохранения и восстановления в ходе повседневной деятельности и боевой подготовки войск (сил) окружающей природной среды, а также снижения воздействия экологически неблагоприятных факторов на личный состав и объекты военной и социальной инфраструктур и др.;*

4. *Министерство сельского хозяйства Российской Федерации;*

5. *Министерство регионального развития Российской Федерации;*

6. *Министерство транспорта Российской Федерации;*

7. *Министерство здравоохранения Российской Федерации;*

8. *Министерство экономического развития Российской Федерации;*

9. *Министерство финансов Российской Федерации;*

10. *Министерство внутренних дел Российской Федерации.*

Отдельные контрольные, надзорные, координационные и другие управленческие функции в области природопользования и охраны окружающей среды реализуют *органы управления имуществом, пограничных войск, Национальная академия наук* и другие специальные уполномоченные государством структуры.

#### **7.4. Мониторинг окружающей среды и методы анализа загрязняющих веществ**

Термин «мониторинг» был официально выдвинут в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде.

**Мониторинг** – система наблюдений и контроля за состоянием окружающей человека природной среды с целью разработки мероприятий по ее охране, рациональному использованию природных ресурсов и предупреждению о критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья человека, существования живых организмов и их сообществ, природных комплексов и объектов. Помимо наблюдений задачами мониторинга является также оценка состояния среды и прогнозирование ее изменений.

**Мониторинг окружающей среды** – это процесс сбора и преобразования информации о состоянии естественных и антропогенных изменениях окружающей среды в целях ее охраны, рационального использования природных ресурсов, охраны здоровья и благосостояния людей.

Мониторинг призван выявлять критические и экстремальные ситуации, факторы антропогенного воздействия на окружающую среду, производить оценку и прогноз состояния объектов наблюдения, обладать управляющими воздействиями для регулирования взаимного влияния объектов техносферы, гидросферы, литосферы, атмосферы и биосферы.

Необходимость формирования систем мониторинга окружающей среды обусловлена тем, что для обеспечения качества окружающей среды уже недостаточно ее способности к саморегулированию, самоочищению. Необходима целенаправленная деятельность человека управление качеством окружающей среды.

Такое управление невозможно без информации, полученной в процессе наблюдения, оценки и прогноза состояния окружающей среды, неблагоприятного влияния ее факторов на здоровье населения.

Мониторинг включает в качестве основных элементов наблюдения за факторами воздействия и состоянием окружающей среды, прогноз ее будущего состояния и оценка фактического и прогнозируемого состояния природной среды.

В соответствии с федеральным законом «Об охране окружающей среды» *государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды)* осуществляется в рамках *единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)* федеральными органами исполнительной власти, органами государственной власти субъектов Российской Федерации в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством Российской Федерации, посредством создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистем единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), а также создания и эксплуатации уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти государственного фонда данных.

Единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) создается в целях обеспечения охраны окружающей среды.

Задачами единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) являются:

- регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;



- хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;
- анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;
- обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

Единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) включает в себя подсистемы:

- государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;
- государственного мониторинга атмосферного воздуха;
- государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации;
- государственного мониторинга земель;
- государственного мониторинга объектов животного мира;
- государственного лесопатологического мониторинга;
- государственного мониторинга состояния недр;
- государственного мониторинга водных объектов;
- государственного мониторинга водных биологических ресурсов;
- государственного мониторинга внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации;
- государственного мониторинга исключительной экономической зоны Российской Федерации;
- государственного мониторинга континентального шельфа Российской Федерации;
- государственного экологического мониторинга уникальной экологической системы озера Байкал;
- государственного мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания.

В рамках функционирования единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), в соответствии с федеральными законами осуществляются:

- поиск, получение (сбор), хранение, обработка (обобщение, систематизация) и анализ информации о состоянии окружающей среды, происходящих в ней процессах, явлениях, об изменениях состояния окружающей среды;
- поиск, получение (сбор), хранение, обработка (обобщение, систематизация) и анализ информации об объектах, оказывающих негативное воз-

действие на окружающую среду, о характере, видах и об объеме такого воздействия;

- оценка состояния окружающей среды и прогнозирование его изменений под воздействием природных и (или) антропогенных факторов;

- определение связей между воздействием природных и (или) антропогенных факторов на окружающую среду и изменениями состояния окружающей среды;

- выработка предложений о предотвращении негативного воздействия на окружающую среду и направление их в органы государственной власти, органы местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям;

- направление в органы государственной власти, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), и правоохранительные органы информации о нарушении нормативов в области охраны окружающей среды вследствие воздействия природных и (или) антропогенных факторов и предложений об устранении таких нарушений;

- направление в органы государственной власти, органы местного самоуправления предложений для их учета при подготовке документов территориального планирования и (или) предложений об изменении указанных документов в целях формирования благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, обеспечения охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах нынешнего и будущего поколений;

- выпуск экстренной информации о необходимости снижения негативного воздействия на окружающую среду природных и (или) антропогенных факторов;

- оценка эффективности проводимых природоохранных мероприятий;

- создание и эксплуатация баз данных информационных систем в области охраны окружающей среды;

- хранение информации о состоянии окружающей среды, о происходящих в ней процессах, явлениях, об изменениях состояния окружающей среды и предоставление этой информации органам государственной власти, органам местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, гражданам.

Различают мониторинг *биосферный (глобальный), экологический, биологический, санитарно-токсикологический, международный, региональный, национальный, локальный, импактный, непосредственный и дистанционный* (в том числе авиационный и космический), *базовый* и др.

Первоочередное внимание в мониторинге уделяется наблюдению за антропогенными изменениями в природе.

### **7. 5. Экологическая экспертиза**

В соответствии с Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 32, 33), *оценка воздействия на окружающую среду* проводится в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности субъектов хозяйственной и иной деятельности.

Оценка воздействия на окружающую среду проводится при разработке всех альтернативных вариантов предпроектной, в том числе прединвестиционной, и проектной документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, с участием общественных объединений. Требования к материалам оценки воздействия на окружающую среду устанавливаются федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды.

#### ***Проведение экологической экспертизы.***

*Система экспертизы.* Экологическая экспертиза проводится в целях установления соответствия планируемой хозяйственной и иной деятельности требованиям в области охраны окружающей среды.

Порядок проведения экологической экспертизы устанавливается федеральным законом «Об экологической экспертизе».

Государственная экологическая экспертиза осуществляется специально уполномоченным ведомством Российской Федерации и его органами в республиках, краях, автономных образованиях, областях и городах. В качестве такого органа выступает Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Управление государственной экологической экспертизы данного ведомства осуществляет координацию и методическое руководство по организации и осуществлению хозяйственных проектов и различного вида нормативных и других материалов, имеющих федеральное значение. В отдельных случаях она проводит экспертизу по сложным и спорным объектам регионального значения.

*Принципы экологической экспертизы.* Экологическая экспертиза проводится с целью установления соответствия хозяйственной или иной деятельности экологической безопасности общества. Она основывается на принципах:

- презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;

- обязательности проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы;
- комплексности оценки воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий;
- обязательности учета требований экологической безопасности при проведении экологической экспертизы;
- достоверности и полноты информации, представленной на экологическую экспертизу;
- независимости экспертов экологической экспертизы при осуществлении ими своих полномочий в области экологической экспертизы;
- научной обоснованности и законности заключений экологической экспертизы;
- гласности, участия общественных организаций/объединений, учета общественного мнения;
- ответственности участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение, качество экологической экспертизы.

Государственная экологическая экспертиза проводится экспертными комиссиями, образованными МПР России и ее территориальными органами. Для проведения экологической экспертизы могут привлекаться на договорной основе учреждения и организации, а также отдельные эксперты. Итоговым документом работы экспертной комиссии является заключение государственной экологической экспертизы, в котором дается оценка рассматриваемой деятельности с точки зрения экологической безопасности и делается обоснованный вывод о возможности ее реализации. В случае вынесения отрицательного заключения объект экспертизы может быть доработан в соответствии с изложенными в заключении замечаниями и представлен на повторную экспертизу. На повторную экспертизу могут направляться также материалы по решению судебных органов и при изменении условий природопользования.

Заключение государственной экологической экспертизы является обязательным для исполнения всеми юридическими и физическими лицами, которым оно адресовано. Заключение может быть обжаловано только в судебном порядке, а также в арбитражном суде. Контроль за выполнением рекомендаций, изложенных в заключении государственной экологической экспертизы, осуществляется органами текущего экологического контроля.

*Организация экспертизы.* Государственной экологической экспертизе подлежат все плановые, предпроектные и проектные материалы по объектам и мероприятиям, намечаемым к реализации на территории Россий-

ской Федерации, независимо от их сметной стоимости и принадлежности, а также ряд других документов.

Кроме государственной существует *общественная экологическая экспертиза*. Ей могут подвергаться обосновывающая документация по любым мероприятиям и объектам, осуществление которых может оказать вредное воздействие на окружающую среду. Эта экспертиза проводится научными коллективами, общественными объединениями по их инициативе и становится юридически обязательной после утверждения ее результатов соответствующим органом государственной экологической экспертизы МПР России.

Государственной экологической экспертизе, как правило, подлежат:

- концепции, государственные программы и индикативные планы социально-экономического развития;
- схемы развития и размещения производительных сил Российской Федерации, республик в ее составе и отдельных регионов;
- схемы развития и размещения отраслей промышленности;
- технико-экономические обоснования и проекты хозяйственной и иной деятельности;
- материалы комплексного экологического обследования участков и территорий для решения различного вида природоохранных задач;
- договоры, контракты и соглашения между российскими и иностранными юридическими лицами, с использованием природных ресурсов и оказывающим воздействие на окружающую среду;
- материалы, обосновывающие экологические требования к новой технике, технологии, материалам и веществам;
- проекты нормативно-технической и инструктивно-методической документации в части охраны окружающей среды;
- материалы экологических обоснований лицензий и сертификатов, а также другие документы.

Проведение государственной экологической экспертизы является платным. Финансирование работ по ее проведению за счет средств заказчика, поступающих на специальные счета органов системы МПР России. Эти средства целевым назначением используются на обеспечение экспертных работ, включающих:

- оплату труда внештатных экспертов и членов экспертных советов;
- проведение необходимых исследований, измерений, анализов;
- обеспечение нормативно-методическими документами членов экспертных советов.

Экологическая экспертиза играет исключительно важную роль в решении проблемы экологически безопасного развития экономики. Она обеспечивает реализацию на практике только экологически обоснованных

хозяйственных решений. В целях устойчивого развития экономики при размещении, технико-экономическом обосновании проекта, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию предприятий, объектов и сооружений, оказывающих прямое либо косвенное влияние на состояние окружающей среды, должны выполняться требования экологической безопасности и охраны здоровья населения; предусматриваются мероприятия по охране природы, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, оздоровлению окружающей среды.

Нарушение требований, установленных в результате экологической экспертизы, влечет за собой приостановление до устранения недостатков указанной хозяйственной деятельности, либо полное ее прекращение. Для того, чтобы по экологическим причинам не останавливать строительство и не закрывать предприятия после ввода его в эксплуатацию, неся при этом большие убытки, необходимо подвергать тщательной экспертизе материалы экологического обследования намечаемой хозяйственной деятельности в предпроектной документации. Только при положительном заключении государственной экологической экспертизы должно открываться финансирование и кредитование.

#### *Недостатки экспертизы.*

С точки зрения устойчивого развития экономики экологическая экспертиза имеет ряд существенных недостатков:

1. Вопросы экологии рассматриваются в основном в отрыве от экономики и социально-экономического развития регионов;
2. В процессе экспертизы практически не рассматриваются альтернативные варианты намечаемому мероприятию;
3. В современных условиях из-за отсутствия надежной нормативной базы (экологических нормативов) экспертиза зачастую носит субъективный характер, несмотря на участие в ней высококвалифицированных специалистов;
4. Одни и те же материалы во многих случаях рассматриваются несколькими экспертами разных ведомств.

Оценка последствий. Особое внимание при проведении экологической экспертизы должно быть уделено оценке воздействия на состояние окружающей среды (ОВОС). Данная процедура позволяет выработать такие хозяйственные решения, осуществление которых не приведет к неприемлемым экологическим и социально-экономическим последствиям.

## **7.6. Экологический риск**

**Экологический риск** – вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде, или отдалённых неблагоприятных

ятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на окружающую среду.

Экологический риск может быть вызван чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного, техногенного характера.

Оценка экологического риска может быть проведена на основании имеющихся научных и статистических данных о экологически значимых событиях, катастрофах, о вкладе экологического фактора в состояние санитарно-экологического благополучия населения, о влиянии загрязнения окружающей среды на состояние биоценозов и др.

Различают три главные составляющие экологического риска:

- оценку состояния здоровья и возможного числа жертв;
- оценку состояния биоты (в первую очередь фотосинтезирующих организмов) по биологическим интегральным показателям;
- оценку воздействия загрязняющих веществ, техногенных аварий и стихийных бедствий на человека и природную среду.

### **7. 7. Нормирование качества окружающей среды**

*Нормирование качества окружающей среды* производится с целью установления предельно допустимых норм воздействия на окружающую среду, гарантирующих экологическую безопасность населения и сохранение генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности. Разработанные и утвержденные в установленном порядке нормативы выступают в качестве стандартов.

Федеральным законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» определены основы экологического нормирования.

Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении:

- 1) нормативов качества окружающей среды,
- 2) нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности,
- 3) иных нормативов в области охраны окружающей среды,
- 4) государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны окружающей среды.

Нормативы и нормативные документы в области охраны окружающей среды разрабатываются, утверждаются и вводятся в действие на осно-

ве современных достижений науки и техники с учетом международных правил и стандартов в области охраны окружающей среды.

*Требования к разработке нормативов в области охраны окружающей среды.* Разработка нормативов в области охраны окружающей среды включает в себя:

- проведение научно-исследовательских работ по обоснованию нормативов;
- проведение экспертизы, утверждение и опубликование нормативов в установленном порядке;
- установление оснований разработки или пересмотра нормативов;
- осуществление контроля за применением и соблюдением нормативов;
- формирование и ведение единой информационной базы данных нормативов;
- оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения нормативов.

Нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» к нормативам качества окружающей среды относятся:

- нормативы, установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, включая радиоактивные вещества;
- нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с показателями уровней радиоактивности и тепла;
- нормативы, установленные в соответствии с биологическими показателями состояния окружающей среды, в том числе видов и групп растений, животных и других организмов, используемых как индикаторы качества окружающей среды, а также нормативы предельно допустимых концентраций микроорганизмов;
- иные нормативы качества окружающей среды.

При установлении нормативов качества окружающей среды учитываются природные особенности территорий и акваторий, назначение природных объектов и природно-антропогенных объектов, особо охраняемых территорий, в том числе особо охраняемых природных территорий, а также природных ландшафтов, имеющих особое природоохранное значение.



В целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду в хозяйственной и иной деятельности для юридических и физических лиц – природопользователей устанавливаются следующие нормативы допустимого воздействия на окружающую среду:

- нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов;
- нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение;
- нормативы допустимых физических воздействий (количество тепла, уровни шума, вибрации, ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей и иных физических воздействий);
- нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды;
- нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду;
- нормативы иного допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, устанавливаемые законодательством в целях охраны окружающей среды.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

За превышение установленных нормативов допустимого воздействия на окружающую среду субъекты хозяйственной и иной деятельности в зависимости от причиненного окружающей среде вреда несут ответственность в соответствии с законодательством.

*Нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов* устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду субъектами хозяйственной и иной деятельности исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов.

Технологические нормативы устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников на основе использования наилучших существующих технологий с учетом экономических и социальных факторов.

При невозможности соблюдения нормативов допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов могут устанавливаться лимиты на выбросы и сбросы на основе разрешений, действующих только в период проведения мероприятий по охране окружающей среды, внедрения наилучших существующих технологий и (или) реализации других природоохранных проектов с учетом поэтапного достижения установленных нормативов допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов.

Установление лимитов на выбросы и сбросы допускается только при наличии планов снижения выбросов и сбросов, согласованных с органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды.

Выбросы и сбросы химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов в окружающую среду в пределах установленных нормативов допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов, лимитов на выбросы и сбросы допускаются на основании разрешений, выданных органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды.

*Нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение* устанавливаются в целях предотвращения их негативного воздействия на окружающую среду в соответствии с законодательством.

*Нормативы допустимых физических воздействий на окружающую среду* устанавливаются для каждого источника такого воздействия исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды и с учетом влияния других источников физических воздействий.

*Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды* – нормативы, установленные в соответствии с ограничениями объема их изъятия в целях сохранения природных и природно-антропогенных объектов, обеспечения устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращения их деградации.

Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды и порядок их установления определяются законодательством о недрах, земельным, водным, лесным законодательством, законодательством о животном мире и иным законодательством в области охраны окружающей среды, природопользования и в соответствии с требованиями в области охраны окружающей среды, охраны и воспроизводства отдельных видов природных ресурсов, установленными настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

*Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду* устанавливаются для субъектов хозяйственной и иной деятельности в целях оценки и регулирования воздействия всех стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду, расположенных в пределах конкретных территорий и (или) акваторий.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются по каждому виду воздействия хозяйственной и

иной деятельности на окружающую среду и совокупному действию всех источников, находящихся на этих территориях и (или) акваториях.

При установлении нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду учитываются природные особенности конкретных территорий и (или) акваторий.

### Список литературы



1. Боголюбов С.А. Экологическое право: конспект лекций. / Боголюбов С.А., Кичигин Н.В., Сиваков Д.О. – М.: Проспект, 2010. – 224 с.
2. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в действующей редакции) «Об охране окружающей среды» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
3. Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ (в действующей редакции) «Об экологической экспертизе» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
4. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (в действующей редакции) «Об отходах производства и потребления» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июня 2004 г. № 322 «Об утверждении положения о Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека» ([www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)).

### Вопросы



1. Экологический мониторинг. Каковы его функции?
2. Что такое экологическая экспертиза? В каких областях хозяйственной деятельности она применяется?
3. Государственная экологическая экспертиза. Принципы. Организация проведения.
4. Нормирование качества окружающей среды.
5. Требования к разработке нормативов в области охраны окружающей среды.

Учебное издание

**Авторы-составители:**

**Наместникова Ольга Владимировна  
Грушева Татьяна Геннадьевна  
Герасимова Ирина Николаевна**

# **ЭКОЛОГИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Подписано в печать \_\_\_\_\_ . Формат 60×90 1/16.

Печ. л. 8,75. Уч.-изд. л. 6,4.

Бумага офсетная. Тираж 200 экз. Заказ \_\_\_\_\_

Академия ГПС МЧС России  
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4