# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

# ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Под общей редакцией А.И. Ксенофонтова

Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений

УДК [574.3+574.4+502:628.3+614.7] (076+072) ББК 20.1я73+26.23я73+26.22я73 Б 79

Основы экологии и охраны окружающей среды: учебное пособие / В.В. Болятко., В.М. Демин, В.В. Евланов, А.И. Ксенофонтов, О.Г. Скотникова; под общей редакцией А.И. Ксенофонтова. - М.: МИФИ, 2008. - 320 с.

В пособие вошли основные разделы курса «Основы экологии и охраны окружающей среды», изложены вопросы по рассматриваемым экологическим проблемам и необходимые методические материалы.

Приведены основы фундаментальной науки — экологии, вопросы антропогенного воздействия на окружающую среду, энергетики, загрязнения объектов окружающей среды, радиоэкологии, охране водной и воздушной среды, ресурсов и различных математических моделей. Даны научно-практические основы и правовой механизм взаимодействия общества и природы, экономики и экологии.

Предназначено для проведения занятий по курсу «Основы экологии и охраны окружающей среды».

Пособие подготовлено в рамках Инновационной образовательной программы.

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доц. А.Б. Колдобский

ISBN 978-5-7262-0964-7 © Московский инженерно-физический институт (государственный университет), 2008

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предислови	ie	7
Глава 1.	Введение в экологию	9
1.1.	Предмет и содержание экологии	9
1.2.	Биосфера	14
1.2.1.	Понятие биосферы	14
1.2.2.	Структура биосферы	17
1.2.3.	Возникновение и развитие биосферы.	
	Происхождение жизни	18
1.2.4.	Динамика и эволюция биосферы	20
1.3.	Экологические катастрофы	24
1.4.	Понятие экологической системы	28
1.4.1.	Типы экосистем	29
1.4.2.	Трофические уровни. Экологические пирамиды	31
1.4.3.	Образование органического вещества	34
1.4.4.	Фотосинтез	36
1.5.	Формы биологических отношений в сообществах	40
1.5.1.	Сукцессия	43
1.6.	Техносфера, ноосфера, коэволюция человечества и	
	биосферы	44
1.6.1.	Ноосфера	46
1.6.2.	Концепция устойчивого развития	47
Контрол	ьные вопросы	49
Глава 2.	Перенос массы и биогеохимические	
	круговороты вещества	50
2.1.	Баланс веществ	50
2.2.	Общие закономерности биогеохимических	
	круговоротов	54
2.2.1.	Круговорот воды	57
2.3.	Биогеохимические циклы важнейших химических	
	элементов	60
2.3.1.	Круговорот углерода	60
2.3.2.	Круговорот кислорода	62
2.3.3.	Круговорот азота	63
2.3.4.	Круговорот фосфора и серы	65
2.3.5.	Круговорот микроэлементов	67

	2.4.	Антропогенное воздействие на биогеохимические	
		круговороты	70
	2.4.1.	Чистая вода	71
	2.4.2.	Парниковый эффект	73
	2.4.3.	Кислород и озоновый слой	75
	2.4.4.	Азотные удобрения	77
	2.4.5.	Технобиологические циклы микроэлементов	77
	Контрол	ьные вопросы	78
Гл	ава 3.	Энергия в экологических системах	79
	3.1.	Термодинамика биосферы. Естественный баланс	
		энергии в биосфере	79
	3.2.	Влияние атмосферы на формирование климата и	
		условий жизни на Земле. Изменение состава	
		атмосферы под влиянием человеческой	
		деятельности	83
	3.3.	Парниковый эффект. Естественная цикличность	
		изменения климата и влияние деятельности	
		человека	89
	3.4.	Киотский протокол	100
	Контрол	ьные вопросы	103
Гл	ава 4.	Антропогенное загрязнение природной среды	104
	4.1.	Проблема сохранения качества окружающей	105
	4.2	среды	105
	4.2.	Загрязнение атмосферы	107
	4.3.	Экологические проблемы в связи с загрязнением	111
	4.4	ПОЧВ	111
	4.4.	Проблема бытовых отходов	115
	4.5.	Загрязнение водной среды	120
	4.6.	Экологический мониторинг. Проблема нормы и	100
	T.C	патологии состояния природной среды	126
_		ьные вопросы	130
I'n	ава 5.	Математическое моделирование	101
	<i>7</i> 1	биосферных процессов	131
	5.1.	Экологический прогноз и моделирование	101
	<i>5</i> 0	(классификация моделей)	131
	5.2.	Демографический взрыв	137
	5.3.	Модели динамики человечества	141
	5.3.1.	Основы демографии. Демографический прогноз	144

5.3.2.	Демографическая ситуация России	149
5.4.	Потребности человечества в продуктах питания	151
5.4.1.	Ресурсы пресной воды и проблемы орошения	155
5.4.2.	Лесные ресурсы	157
5.4.3.	Пространственно-энергетическая экспансия чело-	
	века в окружающей среде	159
Контрол	ьные вопросы	164
Глава 6.	Вопросы радиоэкологии	165
6.1.	Общие сведения и определения	165
6.2.	Явление радиоактивности	166
6.3.	Действие ионизирующих излучений	171
6.3.1.	Нормирование радиационной безопасности	178
6.4.	Радиоактивность окружающей среды	180
6.4.1.	Космическое излучение	181
6.4.2.	Внешнее облучение от радионуклидов земного	
	происхождения	184
6.4.3.	Внутреннее облучение радионуклидов земного	
	происхождения	187
6.5.	Техногенная радиоактивность	188
6.5.1.	Глобальные выпадения	189
6.5.2.	Облучение, обусловленное технологически	
	повышенным радиационным фоном	193
6.6.	Биосферный перенос радионуклидов	196
6.7.	Радиационные аварии	202
6.7.1.	Аварии в Виндскейле и на АЭС «Тримайл-	
	Айленд»	202
6.7.2.	Зауральские аварии	204
6.7.3.	Авария на Чернобыльской АЭС	206
6.7.4.	Реабилитация загрязненных территорий	210
Контрол	ьные вопросы	212
Глава 7.	Энергетика и цивилизация	213
7.1.	Энергетика и окружающая среда	213
7.2.	Источники и ресурсы энергии	220
7.2.1.	Традиционные источники энергии. Исчерпание	
	ресурсов	220
7.2.2.	Альтернативные источники энергии	223
7.2.3.	Место и роль ядерной энергетики	230
7.3.	Атомная энергетика	234

7.4.	Обращение с РАО и ОЯТ	241
Контрол	ьные вопросы	248
Глава 8.	Экология и общество. Социально-правовые	
	основы взаимодействия человека и природы	249
8.1.	Научно-практические основы взаимодействия	
	общества и окружающей среды	249
8.2.	Правовой механизм регулирования взаимодейст-	
	вия общества и природы	259
8.3.	Правовые основы использования атомной	
	энергетики	272
Контрол	ьные вопросы	281
Глава 9.	Экономика и экология: проблема	
Глава 9.	Экономика и экология: проблема рационального взаимодействия	282
<b>Глава 9.</b> 9.1.		282
	рационального взаимодействия	282
	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма	282 282
	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной	
9.1.	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной экономики	
9.1.	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной экономики Экономическое стимулирование природоохранной	282 292 298
<ul><li>9.1.</li><li>9.2.</li><li>9.3.</li></ul>	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной экономики Экономическое стимулирование природоохранной деятельности	282 292
<ul><li>9.1.</li><li>9.2.</li><li>9.3.</li></ul>	рационального взаимодействия Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной экономики Экономическое стимулирование природоохранной деятельности Развитие рынка экологических работ и услугьные вопросы	282 292 298

#### ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории России.

Устойчивое развитие России, повышение качества жизни и здоровья ее населения, а также обеспечение национальной безопасности возможны только при условии сохранения природных систем и поддержания качества окружающей среды.

Россия — крупнейшая страна мира с территорией более 17 млн кв. км, что составляет около 13% всей суши Земли. Более 10 млн кв. км территории России представляет собой массивы ненарушенных экосистем. Однако существуют серьезные экологические проблемы, связанные со многими сторонами жизни нашей страны. Так, 10 - 15% территории России не соответствует экологическим требованиям.

По оценкам, Россия расходует на охрану окружающей среды около 2% валового продукта, что крайне мало на общемировом фоне. Реально эти расходы включают средства федерального, региональных и местных бюджетов, экологических фондов и предприятий. На решение экологических проблем тратится менее одного процента федерального бюджета.

Современный стиль жизни населения ведет к недопустимому расхода природных ресурсов И выброса веществ, загрязняющих окружающую среду. Результатом может явиться исчерпание в ближайшее время природных ресурсов и многократное антропогенной нагрузки на биосферу. необходимо, чтобы решение экологических проблем и охрана окружающей среды стали приоритетной целью человеческой цивилизации. Для этого нужно развивать новое мировоззрение и формировать экологическую культуру.

За последние годы написана масса учебников и пособий по экологии и защите окружающей среды. Много внимания уделяется экологическим проблемам в научных журналах, в популярной

литературе и в других изданиях. Много полезной информации можно также найти по Интернету.

Настоящее учебное пособие написано для проведения занятий со студентами естественнонаучных специальностей и призвано иллюстрировать содержание курса «Основы экологии и охраны окружающей среды». На этих занятиях студенты могут применить ранее полученные знания по физике, математике, химии и по другим прикладным наукам.

Пособие создано на основе многолетнего опыта чтения лекций в Московском инженерно-физическом институте для студентов естественнонаучных специальностей, а также для будущих специалистов по менеджменту и экономике в атомной отрасли.

Авторы стремились создать пособие, которое отражало бы основные современные проблемы экологии и прикладные аспекты охраны окружающей среды. Для проведения практических занятий по курсу рекомендуется использовать учебное пособие Болятко В.В., Ксенофонтов А.И. Сборник задач по курсу «Основы экологии и охраны окружающей среды». М.: МИФИ, 2007.

В зависимости от специализации и подготовленности студентов те или иные разделы курса могут быть усилены более подробным материалом и соответствующей направленности семинарских занятий.

Авторы далеки от мысли, что написанное учебное пособие полностью лишено каких-либо недостатков, поэтому будут благодарны за все будущие замечания и пожелания.

В написании учебного пособия приняли участие: канд. физ.-мат. наук, доц. В.В. Болятко (гл. 2), канд. физ.-мат. наук, доц. В.М. Демин (гл. 3.1 - 3.3, 5.2 - 5.4, гл. 7), д-р ист. наук, проф. В.В. Евланов (гл. 8, 9), канд. физ.-мат. наук, доц. А.И. Ксенофонтов (гл. 3.4, гл. 5.1, гл. 6), канд. хим. наук, доц. О.Г. Скотникова (гл. 1, 4).

Авторы весьма благодарны физ.-мат. канд. А.Б. Колдобскому за полезные замечания, своим коллегам по кафедре «Биофизика, радиационная физика И экология» инженерно-физического института Московского 3a советы также рекомендации, за возможность использовать ИΧ накопленный опыт при проведении занятий со студентами в настоящем учебном пособии.

Надпись на пирамиде Хеопса

#### ГЛАВА 1

#### ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ

### 1.1. Предмет и содержание экологии

Слово «экология» образовано от греческих «оікоs», что означает «дом» или «жилище» и «logos» - наука, т.е. буквально переводится как наука об организмах, обитающих у себя дома. Впервые термин «экология» был применен Эрнстом Геккелем в 1869 г. Обычно экологию определяют как науку о взаимоотношениях организмов или групп организмов между собой и средой обитания.

Можно считать, что с самого начала своей истории человек интересовался экологией с практической точки зрения, ведь для того, чтобы выжить, он должен был иметь знания о среде своего обитания, растениях и животных, о силах природы. Однако как наука, охватывающая практически все стороны жизни человека, экология сейчас приобретает глобальный масштаб.

Экологическое знание сегодня является обширной совокупностью включающих дисциплин, различные аспекты взаимолействия И взаимовлияния человечества И природы И (фундаментальные прикладные). Наряду с традиционными разделами общей экологии, входящими в цикл биологических дисциплин, появились такие направления, как экология человека, химия, экологическая космическая экология. биохимическая экология. экология культуры, включающая исследование материально-духовной среды жизни (влияние городской среды, ландшафтов, архитектуры, культурных исторической национальной среды обитания и др.), и целый ряд других направлений. В настоящее время экология является научной базой для развития прикладной экологии, промышленной экологии, экологической безопасности и других самостоятельных подразделений.

Если вспомнить историю развития науки, то следует отметить, что возникшая еще в древней Греции натурфилософия интегрировала имеющиеся на тот момент знания о природе, рассматриваемой в ее целостности. В последующие века по мере накопления естественнонаучных данных происходило обособление отдельных отраслей знаний, прежде всего математики, физики, а также философии, биологии, химии, системного анализа и др., которые развивались практически независимо друг от друга. Однако одновременно с этим накапливались представления в рамках многих дисциплин о единстве механизмов, научных управляющих жизненными процессами человека, животных и других живых организмов, их поведением, а также эволюцией биосферы и человека. Возник ряд научных дисциплин на стыке разных наук, биохимия, биофизика, молекулярная молекулярная генетика и целый ряд других, - все это науки, знаний различных научных возникшие путем интеграции дисциплин.

В экологии сейчас происходит такой же процесс интеграции на новом уровне естественнонаучных знаний. Для экологии характерен широкий системный междисциплинарный подход. В экологических исследованиях могут быть использованы самые разнообразные методики: и описательные, и аналитические, и синтетические и пр. Подобные представления об экологии ставят ее в разряд нового раздела знаний.

Очень часто в выступлениях политиков, представителей культуры, не говоря уже об основной массе людей, можно услышать выражения «плохая экология», «хорошая экология». Никого из них не смущает тот факт, что о науке нельзя говорить «плохая» или «хорошая». Наверное, никто бы из них не сказал «плохая» математика или молекулярная биология. Происходит это потому, что под экологией понимают состояние или уровень загрязнения природных сред. При этом охрана окружающей человека среды концентрирует свое внимание, прежде всего, на потребностях самого человека.

Охрана природы — прикладные экологические знания о сохранении систем жизнеобеспечения Земли. Весь цикл прикладных

наук о защите природы и среды жизни (промышленную, сельскохозяйственную, промысловую экологию и др.) относится к прикладной экологии. К этому циклу относятся законодательные, организационные, инженерно-технические и другие мероприятия, предупреждающие или снижающие вредное воздействие результатов деятельности человека на окружающую среду.

Следует подчеркнуть, что во многих странах, в том числе в России, научные результаты в области экологии, как правило, остаются невостребованными, если они не приносят сиюминутной экономической пользы. Это опасный симптом, так как бороться с последствиями в глобальном масштабе гораздо труднее, чем их предусмотреть и предотвратить.

Известный американский ученый и публицист Барри Коммонер сформулировал на обиходном языке основные законы общения человека и природы:

- 1. все связано со всем;
- 2. все должно куда-то деваться;
- 3. природа знает лучше;
- 4. ничто не дается даром.

Первый принцип взаимодействия человека и природы указывает на всеобщую связь процессов и явлений в природе, когда изменение одного из показателей системы вызывает функционально-структурное изменение, количественные и качественные перемены.

Второй принцип подчеркивает, что абсолютно изолированное саморазвитие природных и технических систем невозможно. Нельзя осуществить «абсолютно безотходное производство» или попытаться воспроизвести природную систему со всеми ее возможностями, выработанными за миллионы лет эволюции.

Третий принцип призывает к предельной осторожности: попытки улучшить природные системы при отсутствии абсолютно достоверной информации о механизмах и функциях природы могут только навредить им.

Четвертый принцип означает, что извлечено человеческим трудом из окружающей среды, обязано быть возмещено за счет, может быть, еще больших усилий.

Человечество в настоящее время расширяет сферу своего обитания, завоевывая у природы новые пространства, приближаясь к новым источникам ресурсов. Проблемы загрязнения среды, нехватки энергии, питьевой воды, сельскохозяйственных земель и минеральных ресурсов при существующих и прогнозируемых темпах потребления будут только возрастать.

Восстановление естественной среды, необходимой для поддержания устойчивости окружающей среды, в глобальном масштабе может потребовать сокращения экономического роста, привести к замедлению роста потребления энергии невозобновляемых источников на планете в целом. Это не следует расценивать как лозунг «Назад к природе!». Технический прогресс не остановить, но требуется найти некий оптимум во взаимодействии природы и человечества.

Концепция устойчивого развития - это стремление найти выход из кризиса, в основе которого лежит попытка минимизировать воздействие человека на окружающую среду в надежде на то, что биосфера сохранит свои функции вплоть до момента стабилизации населения Земли в XXI в. Однако реальность такова, что человечество уже живет в разрушающейся биосфере, в условиях нарастающего экологического кризиса, который, если все и дальше пойдет самотеком, неизбежно перерастет в кризис цивилизации.

Иллюстрацией нагрузки на окружающую среду со стороны человека и поддерживающей способности планеты служит рис. 1.1. Здесь под экологической нагрузкой понимается земельная территория, необходимая для получения нужного количества пищевых ресурсов и разложения выбросов, производимых мировым сообществом. Оценка показывает, что человечество уже расходует на 20% больше, чем допускает уровень самоподдержания.

Иллюзия о безграничной возможности техногенной цивилизации породило заблуждение, что человек может все. В эпоху технической революции прочное место заняла позиция покорения природы. Это привело к неограниченной и бездумной эксплуатации и истощению природных ресурсов и связанному с ней загрязнению природной среды. «Мы не можем ждать милостей от природы! Взять их у нее – наша задача!» – этот призыв известного ученогоселекционера И.В. Мичурина, относящийся к растениям,

распространился на все аспекты взаимодействия человека и природы.



Рис. 1.1. Нагрузка на окружающую среду и уровень самоподдержания

Приоритет «прав человека» опасен, если он не находится в согласии с ответственностью не только перед современным обществом, но и перед всей жизнью на Земле, а также будущими поколениями. В отношении права человека на «чистую» среду обитания приоритет носит скорее декларативный характер. В условиях борьбы за выживание люди согласятся на любое воздействие на природу. Только относительно богатые страны могут позволить себе борьбу за «чистую» среду обитания. Для 1,2 млрд чел. в мире, живущих на сумму менее одного доллара в день, не имеющих даже начального образования, понятие «чистой» среды обитания вообще незнакомо.

Сегодня становится ясным, что современная цивилизация с ее образом мышления и нормами поведения не обеспечивает устойчивого существования человека, окружающей среды и продолжения жизни. К сожалению, нагрузка со стороны человека на окружающую среду продолжает расти, несмотря на развитие

технологий. Чтобы снизить воздействие на окружающую среду и вернуться к допустимому уровню, необходимо сформулировать новые правила и действовать в соответствии с ними в масштабе всей планеты

# 1.2. Биосфера

Термин «биосфера» для обозначения области земной поверхности, населенной жизнью, был впервые введен австрийским геологом Эдвардом Зюссом (1873 г.). Несколько десятилетий спустя русский геохимик и минералог В.И. Вернадский в своих трудах фактически открыл заново это понятие. Он наполнил представление содержанием И расширил 0 биосфере как общепланетарной оболочке, охватывающей толщу нижних слоев атмосферы (тропосферы), океана (гидросферы) и значительную часть поверхностной оболочки суши (литосферы) в ходе всей геологической истории Земли. Поэтому В.И. Вернадского можно считать основателем учения о биосфере.

## 1.2.1. Понятие биосферы

В современном понимании биосфера Земли представляет собой глобальную открытую систему, входом которой является поток солнечной энергии, поступающей из космоса, и химической энергии из литосферы; вовлекаемое в биогенный круговорот вещество; наличная внутренняя информация и поток внешней информации. На выходе биосферы - рассеиваемая и излучаемая, преимущественно, тепловая энергия, уходящее из круговорота вещество, реорганизованная внутренняя информации и поток исходящей информации.

Биосфера, как кибернетическая система, обладает свойством саморегуляции, которая обеспечивается живыми организмами, т.е. системой, в которой один из элементов играет главенствующую роль в функционировании системы в целом. Живое вещество биосферы и является ее ведущей частью.

В созданном В.И. Вернадским учении о биосфере не только рассматривались основные свойства живого вещества и влияние на него абиотической среды, но впервые было раскрыто грандиозное обратное влияние жизни на абиотическую среду (атмосферу,

гидросферу, литосферу) и формирование в результате этого эволюционного процесса особых природных сред, таких, например, как почва.

Он рассматривал биосферу как сложение трех веществ: живого, биокосного и косного. Биокосное вещество представляет собой сочетание, в создании которого участвуют живое совместно с неживым веществом, например горючие ископаемые, почва, озерная вода. Косное вещество - любые неорганические составляющие Земли, образуемые процессами, в которых живое вещество не участвует, например, горные породы, ледники и т.д.

Фундаментом научного мировоззрения В.И. Вернадского служит понятие живого вещества, составляющего все ныне живущие организмы планеты. Живое вещество характеризуется определенными свойствами:

- способностью к самовоспроизведению в соответствии с генетической программой;
- высокой специфичностью, строгой последовательностью и быстрым протеканием химических реакций в живых организмах;
- наличием особых химических полимерных соединений белков, нуклеиновых кислот, липидов, углеводов и других соединений:
- возможностью роста, активного перемещения и стремлением заполнить все окружающее пространство;
- удивительным разнообразием форм, размеров, химических вариантов, значительно превышающим таковое для неживого вещества.

Основные биологические макромолекулы состоят из одних и тех же «кирпичиков»: белки — из двадцати канонических аминокислот, нуклеиновые кислоты — из пяти нуклеотидов. И в этом состоит один из основных законов всего органического мира — закон физико-химического единства живого вещества.

Часть земного шара, где существует современная жизнь, принято называть экосферой, являющейся глобальной системой, объединяющей все современные экосистемы Земли. Ее протяженность по вертикали меняется от долей метра до десятков и сотен метров в лесах на суше и от единиц до тысяч метров — в морях и океанах. Хотя процессы жизнедеятельности современных

организмов сосредоточены в относительно узкой пленке жизни, влияние живого вещества ощущается далеко за ее пределами. Именно поэтому биосфера включает в себя все части планеты, в которых существует жизнь в современную эпоху, а также следы экосфер, существовавших на более ранних этапах эволюции Земли. Она простирается далеко за пределы современной экосферы, охватывая по вертикали слой толщиной несколько километров (например, пласты нефти, газа, угля).

Жизнь определила в первую очередь те эволюционные процессы, которые привели Землю в современное состояние, сформировали состав атмосферы, а также температурные условия, коренным образом отличающиеся от других планет Солнечной системы (табл. 1.1). Имеется предположение, что климат на Венере и Марсе был похож на земной, но затем изменился. Причиной изменения климата Венеры стал парниковый эффект, который привел к повышению температуры на поверхности планеты. В то время как Марс растерял атмосферу и остыл.

Таблица 1.1 Сравнение состава атмосферы и температурных условий на Марсе, Венере, Земле и гипотетической Земле без жизни

Характеристика	Mapc	Венера	Гипотети	Совреме-
			ческая	нная
			Земля без	Земля
			жизни	
Содержание газов в атмосфере, % (по объему)				
Углекислый газ	96	97	98	0,03
Азот	3,9	3,0	2,0	79
Кислород	0,1	Следы	Следы	21
Температура поверхности,	-40	470	290±50	15
$^{\circ}\mathrm{C}$				

Если бы жизнь не преобразила нашу планету, то основным газом в атмосфере был бы углекислый газ, который создавал бы парниковый эффект и температура на поверхности Земли достигла бы примерно 300 °C. С другой стороны, концентрация углекислого

газа на уровне примеси создает современные климатические условия на нашей планете.

## 1.2.2. Структура биосферы

Структура биосферы делится на воздушную, водную и геологическую части. На границе суши и водной среды формируется обширная область, населенная фотосинтезирующими организмами. Этот наиболее продуктивный слой на суше вместе с верхними слоями гидросферы, в которые проникает солнечный свет, составляют активную пленку жизни.

Жизнь имеется и внутри земной поверхности, например в правда водах, В гораздо меньших Существует немало видов, обитающих только в подземных водах, они населяют пещерные водоемы и пластовые воды. Проникнув туда, они приспособились к новым условиям существования. Другая часть представляет собой древние организмы, сохранившиеся только в подземных водах и исчезнувшие на поверхности Земли. В жизни подземных существ нет никаких сезонных ритмов, они растут и размножаются круглогодично, однако глубже 1 км существование жизни в литосфере пока не обнаружено. В гидротермах океана на глубинах порядка 3 км при давлении 300 атмосфер обнаружены необычные формы организмов, живущие при температурах более 200 °C.

Жизнь в воздушной среде имеет разреженный характер: в нижнем слое тропосферы она представлена микроорганизмами, многочисленными видами птиц, насекомыми и другими представителями животного и растительного мира, поднимающимися с земной поверхности. В этом слое ощущается сильное воздействие жизненных процессов на поверхности, в частности в изменении состава воздуха над поверхностью.

В пределах тропосферы в слое отрицательных температур возможен случайный занос организмов и их спор, не способных к самостоятельному существованию из-за таких температур и низкого давления, а также воздействия космического излучения. Более высокие слои атмосферы лишены организмов, но могут содержать биогенные вещества.

Жизнь, согласно Вернадскому, - это связующее звено между Космосом и Землей, которое, используя энергию, приходящую из Космоса, и, прежде всего от Солнца, трансформирует косное вещество, создает новые формы материального мира, ускоряя все процессы развития, протекающие на Земле.

# 1.2.3. Возникновение и развитие биосферы. Происхождение жизни

В начале XX в. были распространены идеи панспермии — переноса жизни с других планет космическими телами, но космический характер жизни и гипотеза панспермии являются разными понятиями.

Гипотеза панспермии подразумевает неограниченное существование жизни, а споры простейших организмов переносятся в космическом пространстве под давлением световых лучей, попадают в сферу притяжения планеты и оседают на ее поверхности, закладывая на этой планете начало живого.

Существует также гипотеза космозоев (космических зачатков), в соответствии с которой жизнь является вечной и зачатки, населяющие мировое пространство, могут переноситься с одной планеты на другую.

Основанием для этих гипотез служит обнаружение органических соединений в метеоритном веществе. Однако многие из этих веществ отличаются от земных, в частности некоторые аминокислоты не имеет земных аналогов и не могут включаться в структуру белков.

Сторонники креационизма (божественного сотворения живого) в качестве одного из главных аргументов теории эволюции указывают дарвиновской на отсутствие переходных форм. Они считают, что за прошедшие полтора века после опубликования знаменитого труда Ч. Дарвина, в течение которых были обнаружены, описаны и систематизированы более чем 100 тыс. видов, переходные формы от низших организмов к высшим так и не обнаружены.

Существует гипотеза земного возникновения жизни абиогенным путем (теория Опарина - Холдейна). Она исходит из предположения о постепенном возникновении жизни на Земле из

неорганических веществ путем длительной абиогенной (небиологической) молекулярной эволюции и представляет собой доказательство возникновения жизни в результате перехода химической формы движения материи в биологическую. Для обоснования этого рассматривают условия, существовавшие на планете несколько миллиардов лет назад, когда Земля представляла раскаленную планету. Вследствие вращения планеты постепенно тяжелые элементы перемещались к центру, а на поверхности концентрировались атомы легких элементов (водорода, углерода, кислорода, азота).

При дальнейшем охлаждении планеты появились химические соединения: метан, углекислый газ, кислород, азот и др. На этих начальных этапах сложилась и первичная атмосфера, дальнейшее снижение температуры обусловило переход ряда газообразных соединений в жидкое и твердое состояния, т.е. образование земной коры. В результате активной вулканической внутренних Земли деятельности ИЗ слоев на поверхность выносилось много раскаленной массы, содержащей углерод. Она попадала в океан и образовывала углеводородные соединения. Так накапливались простейшие поверхности органические соединения и в конечном итоге под действием синтеза, энергии Солнца они образовали первичный «бульон», в котором и смогла возникнуть жизнь

К сегодняшнему дню накопление знаний о генетическом коде, нуклеиновых кислотах и биосинтезе белков привело к утверждению принципиально новой идеи о том, что все начиналось вовсе не с белков, а с рибонуклеиновой кислоты (РНК). Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) вместе с РНК являются единственным типом биологических полимеров, обеспечивающих возможность воспроизведения полимера, его микроструктуры. Поэтому именно нуклеиновые кислоты, но не белки, могут быть генетическим материалом, т.е. воспроизводимыми молекулами, повторяющими свою специфическую микроструктуру в поколениях.

В.И. Вернадский предполагал, что возникновение жизни и биосферы на Земле является неизбежным следствием эволюции космоса, в особенности присутствия простейших органических веществ во Вселенной. В элементном составе космического вещества преобладают биофильные элементы — элементы жизни: H,

О, С, N, далее в заметных количествах содержатся Si, S, Fe, Mg, Al, P, Ca, K, т.е. те же элементы, что и в живых организмах на Земле. Особенно важно обнаружение постоянного присутствия в межзвездном пространстве различных простых органических молекул типа формальдегида, спиртов, соединений серы и азота и других жизненно важных молекул. Присутствие органического вещества во Вселенной является устойчивой и обязательной особенностью космоса.

Сегодня в распоряжении ученых есть вещества космического происхождения, в частности доставленные с Луны. И можно утверждать, что в ближнем космосе нет веществ, порожденных жизнью земного типа. В качестве сравнения в табл. 1.2 приведены данные по элементам в различных фракциях космического вещества и организмах.

Таблица 1.2 Сравнительная распространенность элементов, атом. %

Элемент	Фракция			Бактерии	Млеко-
	космическая	межзвездная	кометы		питающие
Н	76,5	55	56	63	61
О	0,82	30	31	29	26
С	0,34	13	10	6,4	10,3
N	0,12	1	2,7	1,4	2,4
S	0,0015	0,8	0,3	0,06	0,13
P	0,00002	-	-	0,12	0,13
Ca	0,002	-	-	-	0,23

Еще один аргумент в пользу земного происхождения жизни на планете - это скорость образования биосферы. Земля начала формироваться примерно 4,5 млрд лет назад, а 3,8 млрд лет назад она, по-видимому, уже обладала биосферой и большой массой живого вещества, которая затем оставалась неизменной.

## 1.2.4. Динамика и эволюция биосферы

При формировании Земли радиоактивный разогрев мантии, тектонические разрывы, вулканизм приводили к выходу на

поверхность паров и масс воды, газов, растворов. В составе газов длительное время преобладали вулканические газы: аммиак, оксид углерода, сероводород, хлор, метан и водяной пар. Свободный кислород в них отсутствовал. Остывание лав, движение водных и газовых масс, выветривание и растворение магматических пород под воздействием углекислоты, формирование осадочных пород первоначальным абиотическим периодом эволюции, было называемым химической эволюцией. На этом этапе наряду с разнообразием химических соединений огромным образоваться аминокислоты нуклеотиды, элементарными единицами современных белков и нуклеиновых кислот.

На следующем этапе происходит образование макромолекул (полинуклеотидов и белков) и возникновение механизма самовоспроизведения, являющегося необходимым атрибутом живой материи. Эволюция живого вещества происходила как по внутренним законам, так и в результате внешнего воздействия изменяющейся среды. Чем больше организмы воздействовали на окружающую среду, тем интенсивнее шла их эволюция. Закон исторического развития биологических систем, сформулированный биологом Э. Бауэром, гласит, что развитие биологических систем есть результат увеличения их внешней работы, а именно, воздействия на окружающую среду.

Для перехода от геохимической к биогеохимической эволюции с возникновением живого вещества были необходимы уникальные и неповторимые условия ранней Земли. И как только появились формы «преджизни», а затем и праорганизмов, начал действовать принцип Ф. Реди — все живое из живого. Между живым и неживым веществом существует непроходимая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие.

До тех пор пока атмосферного кислорода и озона было мало, жизнь могла развиваться только под защитой слоя воды. Возможно, первыми живыми существами были дрожжеподобные анаэробы, которые получали необходимую энергию путем брожения. Так как брожение гораздо менее эффективно, чем кислородное дыхание, примитивная жизнь не могла эволюционировать дальше одноклеточной стадии. Снабжение примитивных организмов пищей

также было ограничено и зависело от медленно опускавшихся на дно органических остатков, образующихся в верхних слоях воды.

Поэтому жизнь могла зародиться на дне небольших водоемов или закрытых морей, в которые из горячих источников поступала вода, богатая питательными веществами. Постепенное увеличение концентрации кислорода в воде и атмосфере вызвало огромные изменения в химии Земли и сделало возможным распространение жизни и развитие более сложных живых систем. Преобладавшие на Земле восстановительные условия стали меняться на окислительные. В результате такие минералы, как железо, окислились и образовали характерные геологические формации.

Появление эукариотной клетки является вторым зарождения значимости после самой жизни событием Благодаря биологической эволюции. ЭТОМУ резко возросла приспособляемость одноклеточных организмов, их способность адаптироваться К меняющимся условиям без внесения наследственных изменений в геном.

Все живые организмы, населяющие нашу планету, делятся на две большие группы: прокариоты (безъядерные) и эукариоты (ядерные). Прокариоты - бактерии, у которых наследственный материал представлен простой молекулой ДНК. Ядерными называются различные одноклеточные и многоклеточные организмы (простейшие, растения, животные и грибы), в клетках которых имеется оформленное ядро с хромосомами.

Именно благодаря возможности адаптироваться эукариоты смогли стать многоклеточными, так как в многоклеточном организме клетки с одним и тем же геномом, в зависимости от условий, образуют совершенно разные как по морфологии, так и по функции ткани.

Появление эукариот относят к 2,6-2,7 млрд лет назад, к времени самой крупной за всю историю Земли геофизической перестройки: выделение у Земли железного ядра, приведшее к образованию единого континента («Моногеи»), тектонической активности, резкому снижению содержания углекислого газа в атмосфере и похолоданию.

В результате величайшего в истории Земли кризиса эукариоты смогли занять прочное положение в биосфере и при

чрезвычайно резких колебаниях внешних условий более приспособляемые формы должны были получить огромное адаптивное преимущество.

Первой точкой отсчета в эволюции биосферы («точка Пастера») является момент, когда содержание кислорода в атмосфере планеты превысило 1% от его современного уровня. Это сделало возможной аэробную жизнь, и привело к вымиранию или изменению мест обитания анаэробных организмов, поскольку для них кислород является ядом. Хронологически это произошло между 3500 и 2500 млн лет назад и заняло эволюционно очень короткое время.

Затем наступило замедление Когда хода развития. концентрация кислорода превысила 10% от современного уровня, предпосылка образования ДЛЯ озонового защищающего поверхность Земли от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Появилась возможность жизни выйти сначала на мелководье, а затем и на сушу. Произошел эволюционный скачок в биосфере, для которого характерно резкое увеличение концентрации кислорода в атмосфере, которая затем изменялась мало.

Если минимальная концентрация кислорода, необходимая для поддержания устойчивого метаболизма эукариотной клетки, составляет 5% современного содержания кислорода в атмосфере, то для животных эта величина должна быть не менее 50%, и этот уровень был достигнут к концу протерозоя.

Почти идеальная сходимость темпов обогащения атмосферы литосферы биогенным кислородом, углеводородами глобальных свидетельствует взаимообусловленности этих оболочек взаимодействия Земли. Проявляется процессов периодичность колебаний масштабов производства кислорода при фотосинтезе и синхронных им темпов обогащения литосферы органическими остатками.

С начала формирования биосферы современного типа постепенно возрастало число видов организмов, увеличивалась их биомасса и продуктивность. И увеличение шло до тех пор, пока эти показатели не стали постоянными и характерными для эволюционного этапа развития планеты. Такое накопление и стабилизация могли произойти относительно быстро, например возможно, что предельное число видов в ходе эволюционного

процесса возникло всего за 70 млн лет после возникновения жизни на планете.

Живое вещество аккумулировало солнечную энергию. Ее излишки были депонированы: выведены из круговорота веществ в виде биогенных горючих ископаемых, осадочных горных пород и т.п. С ходом эволюции биосферы увеличивалось функциональное разнообразие органических форм - видов живого, сообществ, биоценозов, экосистем, т.е. ее информационная емкость. Такое увеличение регулировалось правилом постоянства числа видов, т.е. соблюдением равновесия числа вымирающих и возникающих форм, а также правилом общего роста разнообразия.

Значение живого вещества достигло максимума, биотические круговороты усложнились: вместо относительно единого глобального биосферного круговорота веществ на суше и столь же единым круговоротом веществ в Мировом океане образовалась многоступенчатая иерархия круговоротов в соответствии с иерархией экосистем планеты.

### 1.3. Экологические катастрофы

Эволюция биосферы шла как бы по двойному сценарию: менялись внешние условия, и одновременно действовали механизмы саморазвития живого. Протекание этих двух процессов не было бесконфликтным. В истории биосферы случались резкие убыстрения развития, относительно короткие периоды значительных перемен, которые принято называть эволюционными катастрофами.

Они возникают, в частности, при нарушении естественных процессов в биосфере, в результате которых происходят быстрые изменения природной среды. Широко известные эволюционные катастрофы отмечались в истории планеты 65, 230, 450 и 650 млн лет тому назад. Самая ранняя из них, имеющая космические причины, привела к внезапному исчезновению около 650 млн лет назад многих видов одноклеточных водорослей.

Затем примерно 450 млн лет назад вымерло большинство панцирных обитателей океана. На следующем этапе ускорения эволюции, около 230 млн лет назад, исчезли многие виды гигантских амфибий.

В поздний период 65 млн лет назад очень быстро по эволюционным меркам вымерли гигантские рептилии и многие виды других групп организмов. Этот период получил название эпохи вымирания динозавров, при котором произошло полное повсеместное исчезновение сотен или тысяч видов в короткий промежуток времен.

О массовом вымирании свидетельствуют окаменелости. Исследование окаменелостей показывает, что трагедия началась 65 млн лет назад. Одна из самых известных гипотез массового вымирания динозавров выдвигает в качестве причины падение огромного метеорита. По оценкам ученых диаметр космического тела составлял около 10 км, он врезался в Землю с силой, эквивалентной 100 млн мегатонных атомных бомб. В пользу этой гипотезы свидетельствуют обнаруженное в ряде районов Земли в слоях красно-серого глинозема большое содержание иридия. Этот благородный металл очень редок и обнаруживается либо на больших глубинах в Земле, либо в метеоритах и метеоритной пыли.

Гигантское облако пыли и газа, выброшенное при столкновении, могло распространиться над всей планетой и препятствовать проникновению солнечных лучей. На Земле воцарились холод и тьма на месяцы и даже годы. Без солнечного света погибли многие растения, являющиеся кормовой базой растительноядных животных, а после них и хищников. В то же время в конце мелового периода увеличилось количество спор папоротника, который, как известно, быстро адаптируется на самых бесплодных участках земли. После метеоритной катастрофы папоротники быстро распространились на суше, а со временем их место заняли цветковые растения.

Для ясности в последовательности эпох и продолжительности периодов в табл. 1.3 приводится геохронологии-ческая шкала.

В биосфере, как и в любой экосистеме, все взаимосвязано. Такие системы как бы «колеблются» перед выбором одного из нескольких путей эволюции. Небольшая флуктуация может послужить началом эволюции в совершенно новом направлении, которое резко изменит все поведение макроскопической системы. Например, вид никогда не исчезает один, исчезают еще в среднем от 7 до 11 связанных с ним других видов и на смену им приходят

другие виды. Возникает относительно кратковременное ускорение эволюции, воспринимаемое как эволюционная катастрофа. Фактически она подготовлена как изменениями среды, так и ходом медленного саморазвития жизни

Таблица 1.3 Геохронологическая шкала

Эра/Период	Развитие живой	Начало,	Продолжи-
	природы	млн лет	тельность,
			млн лет
Кайнозойская			
Четвертичный	Человек	1,8	1,8
Неогеновый	=	23	22
Палеогеновый	=	65	42,5
Мезозойская			
Меловой	Покрытосеменные	135	70
	растения		
Юрский	Летающие ящеры	190	55 - 60
	и птицы		
Триасовый	Млекопитающие	230	40 - 45
Палеозойская			
Пермский	Хвойные деревья	285	50 - 60
Карбон			
(каменноугольный)	Гигантские хвощи	350	60 - 70
	и плауны		
Девонский	Папоротники,	405	60
	земноводные		
Силурийский	Рыбы	435	25 - 30
Ордовикский	Наземные	480	50 - 60
	животные,		
	позвоночные,		
	кораллы		
Кембрийский	Наземные	570	90 - 100
	растения		
Протерозойская	Беспозвоночные	2600	1800 - 1900
		Начало	2000
Архейская	Начальные формы	образования	
	жизни	земной коры	
		4600	

В ходе этого ускорения устраняются противоречия между изменившимися условиями среды и живыми системами. Это явление называют правилом катастрофического толчка: природная или природно-антропогенная катастрофа есть результат саморазвития всех природных систем и всегда приводит к существенным эволюционным перестройкам, которые прогрессивны для биосферы, так как адаптируют ее к новым условиям среды. После таких перемен наступает сравнительно спокойный длящийся большой промежуток времени период.

Согласно оценкам, если бы эволюция шла методом случайных переборов вариантов, то для нее не хватило бы всего времени существования нашей планеты. На одну особь в эволюции человека с момента возникновения организмов пришлось бы огромное число переборов генетического кода, что абсолютно нереально. Следовательно, должен был существовать какой-то дополнительный эволюционный механизм.

Если учесть, что биосфера построена по иерархическому принципу (особь – популяция – сообщество – экосистема – экосфера – биосфера) и к тому же входит в иерархию систем космоса, то совершенно очевидна каскадность процесса эволюции. В результате меняется место нашей Галактики во всей Вселенной, эволюционируют Солнечная система, планета Земля, изменяется земная гравитация и ее магнитное поле, ритмы Солнца, т.е. происходит эволюция многих эволюций, и каждая из них накладывает ряд ограничений на направления развития.

Английский естествоиспытатель, автор знаменитой теории эволюции живых организмов Ч. Дарвин выявил механизм на нижних уровнях иерархии живого — эволюцию в ходе естественного отбора. Позднейшие исследователи обращали слишком малое внимание на отбор в рамках высоких уровней иерархии природных систем, хотя такой отбор играет немалую роль в эволюции, которая, несомненно, определяет существенную часть эволюционных перестроек во всей биосфере.

#### 1.4. Понятие экологической системы

Экосистема – любое единство, включающее все организмы на данном участке и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы.

С точки зрения трофических отношений экосистема имеет два компонента, разделенные во времени и пространстве.

- 1. *Автотрофный* (самостоятельно питающийся) с фиксацией световой энергии, использующий простые вещества для построения сложных.
- 2. Гетеротрофный (питающийся другими) с утилизацией, перестройкой и разложением сложных веществ. Гетеротрофы в свою очередь делятся на две категории:
  - биофаги поедающие другие живые организмы;
- *сапрофаги* питающиеся мертвым органическим веществом.

Экосистема включает в себя *биотоп* (от греческого bios – жизнь + topos - место) – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство в пределах водной, наземной и подземной частей биосферы, включающее элементы неорганической основы: рельеф, воды, грунт, почву, микроклимат, освещенность и т.д.

Абиотические факторы среды - компоненты и явления неживой, неорганической природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Основные из них: температура, свет, вода, соленость, кислород, магнитное поле земли, почва.

Биотоп совместно с *биоценозом* (совокупностью всех организмов данного биотопа) составляет единый *биогеоценоз*.

Элементарной единицей в экологии считается особь популяции. Совокупность особей одного вида, занимающая определенную территорию, способная обмениваться между особями генетической информацией и устойчиво поддерживать свое существование, носит название популяции.

Основными характеристиками популяции является ее *плотность* – среднее число особей на единицу площади или объема, численность, рождаемость, смертность, выживаемость, возрастное распределение.

Если обеспечить популяцию всем необходимым, она будет размножаться в соответствии с экспоненциальным законом, пока не займет все пространство. Но такая модельная система имеет ограниченное время существования. Безграничный рост популяции невозможен из-за нехватки продуктов питания, смертности отравления среды обитания продуктами из-за жизнедеятельности.

#### 1.4.1. Типы экосистем

Среди типов экосистем следует выделить наземные экосистемы (леса, степи, пустыни, горы и т.д.) и водные экосистемы (озера, реки, моря, водохранилища). Каждый тип экосистемы характеризуется комплексом растений и животных, приспособленных к определенным условиям окружающей среды и, в первую очередь, к климату.

В пределах той или иной территории экосистемы образуют закономерное сочетание, называемое *ландшафтом*. Экосистемы, образующие ландшафт, связаны между собой поверхностным и грунтовым стоком, ветровым переносом, а также активной миграцией животных.

Относительно крупная часть географического пояса, характеризующаяся господством какого-либо одного зонального типа ландшафта носит название *природной зоны*. На территории России выделяют следующие природные зоны: 1) ледяная зона; 2) зона тундры; 3) зона лесотундры; 4) зона тайги; 5) зона смешанных лесов Русской равнины; 6) зона муссонных смешанных лесов Дальнего Востока; 7) зона лесостепи; 8) зона степей; 9) зона полупустынь; 10) зона пустынь умеренного пояса; 11) зона пустынь субтропического пояса; 12) средиземноморская зона; 13) зона влажных субтропиков.

Для водных экосистем можно выделить относительно внутренне однородные водные массы и донные территории, разделенные слоями с более резкими изменениями экологических

факторов. Вследствие этого океаническая часть биосферы может быть представлена в виде мозаики из участков разной формы и размеров. Такие участки, представляющие собой отдельные экосистемы, связаны друг с другом процессами водообмена, гравитационного транспорта (оседания взвешенных частиц) и миграции организмов через переходные зоны. Обменные процессы внутри таких участков отличаются относительной замкнутостью и устойчивостью, что является необходимым признаком экосистемы.

Развитие экосистем управляется как внешними, так и внутренними факторами.

#### Для наземных экосистем

- І. Внутренние факторы:
- 1) состав приземного воздуха, содержание  $O_2$  и  $CO_2$ ;
- 2) почвенные температура, влажность, аэрация, физикохимические свойства, химический состав, содержание гумуса, доступность элементов минерального питания, окислительновосстановительный потенциал;
- 3) биотические плотность популяций разных видов, их возрастной и половой состав, морфологические, физиологические и поведенческие характеристики.
  - II. Внешние факторы:
  - 1) интенсивность солнечной радиации;
  - 2) температура и влажность воздуха;
  - 3) интенсивность атмосферных осадков;
  - 4) скорость ветра;
- 5) скорость заноса семян и других зародышей или притока взрослых особей из других экосисием;
  - 6) антропогенное воздействие.

## Для водных экосистем

- І. Внутренние факторы:
- 1) свойства активного слоя воздуха над водной поверхностью (температура, скорость ветра);
- 2) свойства водной толщи (освещенность, прозрачность (мутность), температура, соленость, содержание  $O_2$  и  $CO_2$ ,

биогенных элементов, растворенных и взвешенных органических веществ, кислотность);

- 3) механические и химические свойства донного грунта;
- 4) биотические свойства (плотность популяций, их возрастной и половой состав, морфологические, физиологические и поведенческие характеристики).
  - II. Внешние факторы:
  - 1) интенсивность солнечной радиации;
  - 2) скорость течения;
  - 3) поступление растворенного и взвешенного вещества;
  - 4) приток организмов;
  - 5) наличие притока и оттока воды;
  - 6) антропогенное воздействие.

# 1.4.2. Трофические уровни. Экологические пирамиды

Совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей цепи питания носит название *трофического уровня*. К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию через одинаковое число ступеней. Так, зеленые растения занимают первый трофический уровень (уровень продуцентов), они получают энергию от Солнца и запасают ее в виде энергии химических связей; травоядные животные — второй (уровень первичных консументов); первичные хищники, поедающие травоядных, - третий и т.д.

Организмы этих трофических уровней получают энергию от организмов предыдущих трофических уровней, запасенную в молекулах пищи. Трофических уровней может быть и больше, когда учитываются паразиты, живущие на консументах предыдущих уровней. Последовательность организмов, в которой каждый из них съедает или разлагает другой, называется пищевой цепью.

В результате последовательных превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов в экосистеме приобретает определенную трофическую структуру. Трофическая структура сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно каждых порядков) и редуцентами (микроорганизмами-разлагателями отмирающих организмов и продуктов их жизнедеятельности), выраженное количеством особей

живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, на единицу площади в единицу времени.

Трофическую структуру обычно изображают в виде экологических пирамид. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень – уровень продуцентов, а следующие этажи пирамиды образованы последующими уровнями консументов различных порядков. Высота всех блоков одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

Пирамида численностей отражает количество организмов на каждом уровне. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; а чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений.

Пирамида биомасс показывает соотношение масс организмов на разных трофических уровнях. Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов первого порядка больше, чем консументов второго порядка и т.д.

В водных экосистемах можно также получить обращенную, или перевернутую, пирамиду биомасс, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, чем консументов. 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). Это связано с малым периодом жизни организмов фитопланктона.

Пирамиды чисел и биомасс 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.

Пирамида энергии отражает скорость прохождения массы пищи через пищевую цепь. Установлено, что во многих пищевых цепях величина передаваемой энергии составляет всего лишь 1%, но в некоторых случаях максимальная величина энергии, передающей-

ся на следующий трофический уровень, может достигать 30% от предыдущего.

Американский эколог Р. Линдеман сформулировал закон пирамиды энергий (правило 10%), согласно которому с одного трофического уровня экологической пирамиды через пищевые цепи на другой переходит в среднем 10% энергии, поступившей на предыдущий уровень. Растения при фотосинтезе усваивают порядка 1% энергии, поступающей от Солнца, а от образованной первичной продукции растений консументы-растительноядные используют около 10% и т.д. Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения и на поддержание жизнедеятельности организмов.

Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 5-6 звеньев. К конечному звену пищевой цепи будет поступать так мало энергии, что ее не хватит в случае увеличения числа организмов. Именно поэтому большие хищные животные всегда редки.

Простые трофические связи редко существуют в природе. Так, лишь небольшое число растительноядных (фитофагов) питается одним видом растений или, наоборот, служит пищей лишь одному типу хищника. Наряду с фитофагами, существуют эврифаги (всеядные), имеющие смешанный тип питания. Трофическая структура экосистемы выражается в сложных взаимосвязанных пищевых отношениях между составляющими ее видами, что приводит к формированию пищевых сетей.

Перенос энергии в экосистемах происходит посредством двух типов пищевых сетей: пастбищной и детритной. В пастбищной сети растения поедаются пасущимися, которые, в свою очередь, являются пищей для хищников и паразитов. В детритной пищевой сети отходы жизнедеятельности и мертвые организмы разлагаются редуцентами и бактериями-детритофагами, и далее снова к хищникам. В природной экосистеме не существует отходов, так как все организмы (и живые, и мертвые) являются пищей для других организмов.

В этот естественный процесс вмешался человек. Как эврифаг, он отбирает часть первичной продукции всех консументов, что неизбежно ведет к исчезновению диких животных и других организмов. Человечество, чтобы обеспечивать себя пищей, должно увеличивать первичную продукцию растений путем роста площади возделываемых земель, применения различных способов повышения

урожайности, создания новых генетически модифицированных сортов. А поскольку биомасса животных консументов первого и второго уровней также ограничена правилом 10%, человечество вынуждено получать белковую пищу из других источников, например бобовых растений.

# 1.4.3. Образование органического вещества

Образование нового органического вещества представляет собой одно из фундаментальных свойств экосистем, определяющих их энергетику. Благодаря этому процессу при поглощении энергии солнечного света автотрофными организмами из таких простых неорганических молекул, как нитраты, фосфаты, сульфаты, углекислота, создается первичная продукция, служащая пищей для всех остальных живых существ.

Все живое вещество, образованное в экосистеме, вне зависимости от того, за какой период оно накоплено, называется *биомассой*, а способность экосистем создавать и наращивать биомассу – *продукцией*.

Биомасса живого вещества много меньше массы других земных сред (табл. 1.4).

Таблица 1.4

# Массы отдельных земных сред

Среда	Масса, т	Относительные
		единицы
Живое вещество	$2,4\cdot10^{12}$	1
Атмосфера	$5,2\cdot10^{15}$	2150
Гидросфера	$1,5\cdot 10^{18}$	602 500
Земная кора	$2,8\cdot10^{19}$	1 670 000

Структура биомассы живых организмов, единовременно находящихся в трофических сетях наземных и водных системах, значительно различается (табл. 1.5). Это объясняется тем, что фотосинтезирующие организмы В водных экосистемах фитопланктоном – мельчайшими представлены организмами, сосредоточенными В освещенной части водной толщи.

Фитопланктон имеет низкую концентрацию, малый период жизни (порядка одних суток) и является кормовой базой для растительноядных организмов (зоопланктона, рыб). Поэтому при низкой биомассе он имеет высокую продуктивность. Биомасса консументов также низка.

В наземных же экосистемах основная биомасса сосредоточена в зеленых растениях.

Биомасса организмов Земли

Таблица 1.5

Часть биосферы	Организмы	Биомасса, т	Доля в общей биомассе, %
Континенты	Зеленые	$2,4\cdot10^{12}$	99,2
	растения	,	,
	Животные и	$0.02 \cdot 10^{12}$	0,8
	микроорганизмы		
	Итого	$2,42\cdot10^{12}$	100
Океаны	Зеленые	$0,0002 \cdot 10^{12}$	6,3
	растения		
	Животные и	$0,0030 \cdot 10^{12}$	93,7
	микроорганизмы		
	Итого	$0,0032 \cdot 10^{12}$	100
Всего		$2,4232\cdot10^{12}$	

Общее количество энергии, которое связывается в результате фотосинтеза в органическом веществе зеленых растений в расчете на единицу площади и за единицу времени, называется валовой первичной продуктивностью. Та же ее часть, которая остается после вычетов расходов на дыхание самих растений и поддержание потребностей их обмена веществ, носит название чистой первичной продуктивности.

Чистая продукция оценивается либо в тоннах сухого органического вещества, синтезированного на единице площади за год, либо чаще в энергетическом выражении  $Дж/(год \cdot м^2)$ .

Вторичную продукцию определяют как процесс образования гетеротрофными популяциями (консументами и редуцентами) новой биомассы, измеряемой в граммах сухого органического вещества

или в единицах эквивалентной им энергии в расчете на единицу площади за единицу времени.

Образование нового органического вещества в основном осуществляется *автотрофами* — организмами, способными поглощать солнечную энергию, запасая ее в виде энергии химических связей с помощью сложного механизма, называемого фотосинтезом с выделением кислорода.

Значительно меньше органического вещества образуется при *хемосинтезе* — типе питания хемосинтезирующих бактерий, основанного на усвоении углекислого газа за счет окисления неорганических соединений.

#### 1.4.4. Фотосинтез

Фотосинтез означает запасание части энергии солнечного света в виде потенциальной или связанной энергии органических веществ. Реакция фотосинтеза происходит с участием светопоглощающих пигментов (хлорофилла и др.).

Суммарную реакцию фотосинтеза зеленых растений можно представить следующим образом:

$$6CO_2 + 6H_2O + hv \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$
 (1.1)

где hv = 2824 кДж/моль – энергия солнечного света, необходимая для образования органического вещества – глюкозы.

Обратный процесс, в котором происходит окисление органического вещества, называется *аэробным дыханием*. При этом высвобождается необходимая для организмов энергия, точно равная затраченной энергии в уравнении (1.1).

Тип дыхания, который происходит без участия кислорода, носит название *анаэробного дыхания* (брожения), — это малоэффективный способ выделения энергии для поддержания жизнедеятельности организма:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 6H_2O + 210 кДж/моль$$
 (1.2)

К анаэробному дыханию приспособлены денитрифицирующие бактерии, восстанавливающие нитраты до молекулярного азота,

некоторые кишечные паразиты, большинство гетеротрофных почвенных микроорганизмов. Человек при больших физических нагрузках также прибегает к этому типу дыхания (второе дыхание марафонца).

На каждый грамм хлорофилла в результате фотосинтеза за год образуется от 300 до 700 г сухого органического вещества, что в среднем соответствует запасанию энергии, равной 9 МДж. За год фотосинтезирующие организмы создают 170 - 200 млрд т сухого вещества. С учетом собственных расходов на дыхание эффективность фотосинтеза не превышает в среднем 1% от падающей солнечной энергии. Только для культурных растений при создании оптимальных условий она может быть поднята до 4 - 5%. Поэтому возможности поднятия урожайности растений (первичной продукции) весьма ограничены.

Биосфера стремится к устойчивому состоянию, при котором чистая первичная продукция равна сумме расходов на дыхание всех гетеротрофных консументов. Некоторые различия связаны с тем, что часть чистой продукции экосистем переходит в осадочные отложения. Считается, что 93% чистой первичной продукции поступает в распоряжение редуцентов (грибов, аэробных и анаэробных бактерий) на суше, и около 63% — в океане. Общая продукция редуцентов суши имеет величину порядка  $21\cdot10^9$  т/год. На рис. 1.2 показана средняя первичная продуктивность различных типов экосистем.

Органическое вещество разными путями покидает биосферу и формирует глобальный запас мертвой органической массы, которое называют некросферой. Одна из ее фракций – подстилка на поверхности почвы сообществ суши. Количество подстилки на единицу площади убывает от влажных к сухим местообитаниям, поскольку снижается продуктивность. Общая масса подстилки значительно меньше, чем «живая» биомасса суши и примерно равна чистой годовой первичной продукции. Масса гумуса (продукта разложения органики) в почве варьирует в зависимости от типа почв. Полагают, что она составляет  $3\cdot10^{12}$  т. Масса «мертвого» органического вещества в морях примерно на 3 - 4 порядка  $(\hat{1}\cdot 10^{13} \text{ т})$ превышает массу живого. Ископаемое топливо – результат аккумуляции чистой продукции экосистем прошедшие

геологические эпохи и состоит из органического вещества: нефть  $(5\cdot10^{11} \text{ т})$ , уголь  $(5\cdot10^{12} \text{ т})$ .

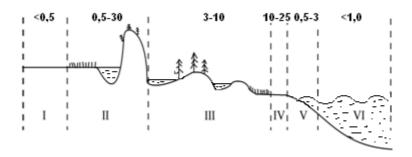


Рис. 1.2. Распределение первичной продукции, тыс. ккал/(м $^2$ -год): I — пустыни; II — степи, глубокие озера, горные леса; III — влажные леса и степи, мелководные озера, большая часть сельскохозяйственных угодий; IV — некоторые эстуарии, коралловые рифы, сельскохозяйственные угодья с удобрениями; V — воды континентального шельфа; VI — океаническая область

Другие органические вещества биогенного происхождения широко распространены в осадочных породах, их масса может быть оценена в  $10^{16}$  т, т.е. более чем в 5000 раз выше массы организмов биосферы.

Большая часть кислорода, продуцированного фотосинтезирующими организмами в прошлые геологические эпохи, была израсходована на окисление неорганических минералов горных пород. Кислород современной атмосферы представляет собой ту его часть, которая не связана в «мертвом» органическом веществе, состоящем из углеродных соединений в восстановленной форме.

На основании приведенных выше данных можно примерно оценить общую биомассу органической пленки Земли, которая поддерживает жизнь человечества и является объектом влияния человека (табл. 1.6).

Эффективность утилизации солнечного света первичной продукцией составляет 0,91% для лесов и 0,066% для сообществ морского фитопланктона. Средняя мировая эффективность чистой

первичной продукции оценивается в 0,27%, а соответствующая эффективность валовой первичной продукции не более 0,6%.

Сегодня человечество использует энергию с возрастающей интенсивностью из аккумулированных запасов продукции фотосинтеза прошлых эпох, сжигая и перерабатывая нефть, газ и уголь. Общее количество энергии, освобождаемое человеком в промышленности за счет этих источников, на несколько порядков величины меньше энергии, фиксируемой в чистой первичной продукции биосферы.

Но в отличие от продуктивности биосферы, которая миллионы лет поддерживалась на постоянном уровне, потребление ископаемых энергоресурсов человеком экспоненциально возрастает в среднем со скоростью 4% в год. Современный уровень использования энергии еще не столь велик, чтобы конкурировать с продуктивностью биосферы, но уже вполне достаточен для того, чтобы начать изменять ее параметры.

 Таблица 1.6

 Количество общей биомассы и продукции биосферы Земли

Показатель	Сухое вещество, млн т	
Биомасса:		
человечества	62	
домашнего скота	265	
сообществ суши	1800 000 (90% в лесах)	
морского растительного планктона	1,5	
Годовое потребление человеком:		
животных суши (включая		
молоко, яйца)	72	
растительной пищи 1 200		
обитателей водных бассейнов	16,5 (из них 88% из океанов)	
использование древесины	2,2	
Общая продукция биосферы	170 000	
сообщества суши	113 000	
урожая с пахотных земель (зерно)	1 200 (1% продукции суши)	

### 1.5. Формы биологических отношений в сообществах

Основу возникновения и существования сообществ представляют отношения организмов, их связи, в которые они вступают друг с другом, населяя один и тот же биотоп. Эти связи определяют основное условие жизни в сообществе, возможность добывания пищи и завоевания нового пространства.

Живые организмы поселяются друг с другом не случайно, а образуют определенные сообщества, приспособленные к совместному обитанию. Важнейшим фактором, ограничивающим рост, является недостаток пищи. В конкретных случаях при различных комбинациях экологических факторов их относительное влияние на отклик организмов может меняться как в результате взаимодействия факторов, так и в силу различий в адаптационных способностях организмов. Каждый из этих факторов имеет большое влияние на изменение функции отклика (рождаемость, смертность и др.) организмов.

Ю. Либих (1840 г.), изучавший влияние элементов питания на рост и развитие растений, сформулировал закон минимума, который затем был дополнен законом толерантности В. Шелфорда (1913 г.).

В соответствии с законом минимума лимитирующим считается тот фактор, по которому для достижения изменения функции отклика требуется минимальное относительное изменение этого фактора, т.е. росту урожайности препятствует не просто нехватка элементов питания, но всегда можно указать один конкретный элемент, дефицит которого сдерживает рост урожая. Например, малое содержание меди в торфяных почвах вызывает ломкость стеблей пшеницы и препятствует ее вызреванию.

Согласно закону Шелфорда, для каждого организма можно указать минимальное и максимальное значения экологического фактора, диапазон между которыми есть диапазон толерантности к этому фактору.

Реальный диапазон толерантности в природе значительно короче потенциального, так как биологические взаимоотношения и метаболические затраты на физиологическую регуляцию жизнедеятельности снижают его.

Эволюция приводит к существованию узких диапазонов толерантности, формируя специализацию, при которой большая эффективность достигается в ущерб адаптивности, и в сообществе увеличивается разнообразие. Существуют организмы — эвриэки, способные к существованию в широких диапазонах условий среды, и *стеноэки*, для которых необходимы специальные условия, например температура, соленость воды, наличие определенных организмов, которыми они питаются (рис. 1.3).

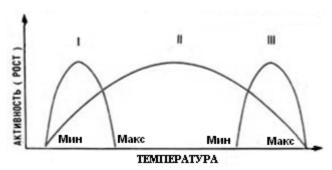


Рис. 1.3. Сравнение относительных пределов толерантности стенотермных (I и III) и эвритермных (II) организмов

Функциональное место биологического вила экологической системе называют экологической нишей. Каждый биологический вид обитает В определенных экосистемах. Экологическая ниша не может быть занята двумя и более видами (принцип конкурентного исключения). Вид занимает экологическую чтобы выполнять уникальную функцию только присущим способом, одновременно осваивая среду обитания и формируя ее. В равновесной экосистеме экологические ниши различных видов могут частично перекрываться, но никогда полностью не совпадают.

Экологическая ниша также не может долго пустовать. Долгое время считалось, что могут существовать экологические ниши. Ha ЭТОМ основании строилась теория акклиматизации и интродукции видов. Однако потом замечено, что опыт акклиматизации видов оказался безуспешным, более того, в ряде случаев привел к весьма негативным

последствиям. Численность вида резко падала или он, наоборот, интенсивно размножался, как, например, кролик в Австралии, и становился вредителем. В Европе к такому же печальному результату привел завоз ондатры из Америки, которая сильно вредит, строя норы в земляных дамбах. Борьба с воробьями в Китае в 50-е годы XX в. и их истребление привело к вспышке вредителей насекомых, поедаемых этим видом.

Ярким примером катастрофического нарушения экологической ниши является занесение колорадского жука из Америки в Европу, где он при отсутствии естественного врага, стал настоящим бичом выращивания картофеля, а последствия использования против него ядохимикатов оказались непредсказуемы для людей.

К позитивным отношениям относится *симбиоз* — весьма распространенная форма взаимоотношений, при которых оба партнера или один из них извлекает пользу от другого. Негативные отношения есть форма, при которой обе взаимодействующие популяции или одна из них испытывают отрицательное влияние.

Хищничество — одна из самых распространенных форм, имеющих большое значение в саморегуляции сообществ. Естественный отбор, действующий в популяции хищников, увеличивает эффективность средств поиска и ловли добычи, а жертвы совершенствуют средства защиты и избегания хищников.

Паразитизм – сосуществование организма за счет другого. Организмы могут использовать другие виды не только как место обитания (квартирантство), но и как постоянный источник питания. По существу паразитический характер имеют связи насекомыхвредителей с растениями. Известно несколько десятков тысяч видов паразитических форм, из них около 500 - паразиты человека.

Конкуренция – одна из важнейших составных частей борьбы за существование, играющая большую роль в эволюции видов. Конкуренция возникает между видами со сходными экологическими требованиями. Формы конкурентного взаимодействия могут быть самыми различными: от прямой физической борьбы до совместного существования. Тем не менее рано или поздно один конкурент вытесняет другого.

*Нейтральные отношения* – форма взаимоотношений, при которых обитающие на одной территории организмы не влияют

друг на друга. При этих отношениях особи разных видов не связаны друг с другом непосредственно, но, формируя биоценоз, зависят от состава сообщества в целом.

Аменсализм — форма взаимоотношений, когда для одного из двух взаимодействующих видов последствия совместного обитания отрицательны, другой от них не получает ни вреда, ни пользы, что чаще встречается у растений (например, светолюбивые травянистые виды, растущие под елью, испытывают угнетение в результате затенения).

Все перечисленные формы биологических связей между видами определяют степень устойчивости биоценоза. Видовой состав входящих в сообщество организмов и количественное соотношение видовых популяций является одним из важнейших показателей структуры сообщества. Видовое разнообразие — признак экологического разнообразия: чем больше видов, тем больше экологических ниш и тем больше устойчивость сообщества. Чем больше разнообразие, тем шире возможности адаптации сообщества к изменившимся условиям.

Таким образом, за счет видового разнообразия сообщество обеспечивает себе резерв выживаемости на случай неожиданных изменений условий жизни. В ходе совместной эволюции для обеспечения выживания сообщества приспосабливались к меняющимся условиям: климату, условиям питания и др.

# 1.5.1. Сукцессия

Сукцессия в широком смысле определяется как смена одного сообщества другим в результате нарушений, произошедших на данном участке местности. Экосистемы не могут существовать бесконечно долго в неизменном виде. Под воздействием глобальных изменений, колебаний естественных факторов происходят изменения растительности и сопутствующей ей жизни.

Одни фазы сукцессии длятся немногие годы и десятилетия и все средообразующие растения (эдификаторы) успевают дать всего одно или несколько поколений. Другие фазы протекают многими десятилетиями, эдификаторы дают за этот срок многие поколения. Такие сукцессии носят название *циклических*. Самые медленные

изменения экосистем это э*волюционные* сукцессии, связанные с общей эволюцией биосферы планеты.

Сукцессии протекают по определенным законам. Каждая их фаза изменяет среду настолько, что как бы вытесняет самое себя. На ее место приходит другая экосистема, тоже исчерпывающая экологические возможности среды и сменяемая последующей. Одновременно меняются биотоп и сопутствующий ему биоценоз. Процесс идет до тех пор, пока ряд экосистем не достигает равновесия со средой или климакса. Дальнейшие изменения возможны лишь в рамках циклических смен. Таким образом, биоценозы формируют закономерный ряд экосистем, ведущий к наиболее устойчивому в данных природных условиях климаксу. В этом смысл принципа сукцессионного замещения.

Но далеко не везде условия жизни на планете остались чисто природными. Местами они очень глубоко и необратимо изменены человеком. Во многих районах Земли люди настолько часто нарушают природу, что такие непрерывно нарушаемые биогеоценозы делаются конечными в цепи сукцессии, не достигая климакса. Чем глубже антропогенные нарушения в среде, тем на более ранних фазах сукцессии заканчивается развитие.

Результатом антропогенной сукцессии является резкое снижение видового разнообразия, длительное восстановление экосистем. Снижение видового разнообразия в результате антропогенной деятельности приводит к уменьшению устойчивости сообществ и делает среду обитания человека более уязвимой.

# 1.6. Техносфера, ноосфера, коэволюция человечества и биосферы

Тончайший сбалансированный механизм жизни на Земле складывался миллиарды лет. Он был отлажен внешними и внутренними факторами, развивался по строгим законам. Энергия, вещество и информация взаимодействовали так, что живое вещество адаптировалось к любым воздействиям среды. Появление человека внесло существенные изменения в этот процесс. Разнообразие форм организации жизни начало стремительно сокращаться: значительно быстрее, чем когда бы то ни было, исчезали виды, стирались с лица Земли экосистемы и их функциональные части, менялась вся

структура биосферы. Скорость антропогенного уничтожения и естественного вымирания видов ныне в десятки и даже сотни раз выше, чем в эпоху вымирания динозавров. Эволюция происходит в рамках мощных антропогенных воздействий и темпами, определяемыми интенсивностью этих воздействий.

Все эти изменения не могут не вести к сбою в динамике и эволюции биосферы и к изменению характеристик природных систем. Нижний порог допустимых изменений в энергетике природных процессов колеблется от десятых долей процента до нескольких единиц. Это наблюдение дало основание для формулировки правила 1% — изменение энергетики системы на величину одного процента выводит ее из стационарного состояния и может вызвать деструкцию и переход в иное качество.

Накопленные данные показывают, что ныне человечество уже изменило энергетику биосферы более чем на 1%, и этот порог был достигнут в начале XX столетия. В результате происходят сбои в действии многих закономерностей, в том числе не удовлетворяется принцип Ле Шателье: вместо того, чтобы под давлением антропогенных воздействий росло сопротивление им, системы жизни начинают саморазрушаться. И, как следствие, увеличивается опустынивание, возникают массовые размножения организмов или, наоборот, резко снижается их численность.

Вместе с тем важен порог – правило 10%, в соответствии с которым изъятие из уровня экологической пирамиды в среднем более 10% массы или энергии ведет природную систему к разрушению. История человечества изобилует локальными экологическими кризисами в тех районах, которые оказались подвержены интенсивной неумелой хозяйственной деятельности.

Можно говорить о приближении нового кризиса, но уже не локального, а глобального характера, если не произойдет перестройки отношений общества и природы. Глобальные проблемы с каждым годом проявляют себя все острее, о чем свидетельствует динамика происходящих в биосфере изменений.

Современная цивилизация, развивая технический прогресс, искусственно создала себе преимущества в борьбе с остальной биосферой. Искусственная среда обитания, созданная самим человеком и подчиненная логике его интересов, играет все большую роль в его жизни. Но эти интересы все чаще вступают в

противоречие с законами природы и становятся несовместимыми с ними. Однако человечество в своем развитии в этом направлении зашло уже слишком далеко и остановка развития техносферы равносильна гибели многих созданных человеком систем жизнеобеспечения. Поэтому техносфера является сферой приложения научно-технических знаний.

### 1.6.1. Ноосфера

Огромное влияние человека на природу и масштабные последствия его деятельности послужили основой для создания учения о ноосфере. Термин «ноосфера» (сфера разума), был введен французским ученым Э. Леруа в прошлом веке.

В.И. Вернадский в своих трудах пришел к необходимости анализа роли человека в процессе эволюции природы. В результате были разработаны основные положения учения, которое позднее получит название учения о ноосфере.

Появление на Земле человека означало огромный шаг в эволюции биосферы. Эволюционные процессы были многократно ускоряться ускорены продолжают мере ПО технической вооруженности производительных роста сил, человеческой цивилизации. Дальнейшее неконтролируемое, неуправляемое развитие деятельности людей чревато опасностями, которые сейчас трудно предвидеть ни по времени, ни по характеру и интенсивности проявления.

Неизбежно наступит время, когда дальнейшая эволюция планеты и, следовательно, человеческого общества должна будет направляться силой разума. При этом имеется в виду не некий высший разум, а коллективный разум цивилизации, развитый в результате образования и воспитания нового мировоззрения.

В настоящее время под ноосферой понимается сфера взаимодействия человека и природы, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится основным фактором развития. Ноосфера — это уже качественно другая, высшая стадия развития биосферы, связанная с преобразованием не только природы, но и самого человека. Это такой этап в жизни человечества, когда преобразующая природу деятельность человека будет основываться на строгом научном и разумном понимании всех

происходящих в природе процессов и обязательно сочетаться с интересами природы.

В учении о биосфере В.И. Вернадского живое вещество преобразует верхнюю оболочку Земли. Постепенное вмешательство человека все увеличивается, человечество становится основной планетарной преобразующей силой. Поэтому человек несет прямую ответственность за эволюцию планеты. Стихийность развития человечества сделает биосферу непригодной для жизни. Человеку необходимо соразмерять СВОИ потребности И масштабы преобразующей деятельности возможностями биосферы, c справляться с их последствиями.

Русский ученый Н.Н. Моисеев ввел понятие *«коэволюция человека и биосферы»*, смысл которого состоит в том, что развитие человечества должно быть согласовано с развитием биосферы. Поиски путей такого оптимального взаимодействия общества и природы направлены на изменение технологии производства, характера потребления, переосмысление прежних норм жизни и культурных традиций.

Человечество находится на пороге бифуркаций. Это означает, что путь, по которому идет цивилизация, разветвляется: некоторые ведут к быстрой гибели человечества, другие — к ноосфере. При этом действительный путь исторического развития зависит от поведения человечества в настоящее время. Это представление отличается от взглядов Вернадского, согласно которым образование ноосферы находится вне воли людей и не может быть остановлено человеческой историей.

#### 1.6.2. Концепция устойчивого развития

Термин *«устойчивое развитие»* был декларирован как принцип дальнейшего развития человечества на экологическом форуме в Рио-де-Жанейро (1992 г.). Под устойчивым развитием понимается такое развитие мирового сообщества, при котором улучшение условий жизни и удовлетворение потребностей человека осуществляется без ущерба для будущих поколений. Воздействие на окружающую среду должно оставаться в пределах возможностей биосферы.

Устойчивое развитие включает в себя два ключевых взаимосвязанных понятия:

- 1) понятие потребностей, в том числе необходимых для существования беднейших слоев населения;
- 2) понятие ограничений (обусловленных состоянием технологии и организацией общества), накладываемых на способность окружающей среды удовлетворять нынешние и будущие потребности человечества.

Основной задачей устойчивого развития провозглашается удовлетворение человеческих потребностей и стремлений. Важно подчеркнуть, что устойчивое развитие требует удовлетворения наиболее важных для жизни потребностей всех людей и предоставления всем возможности удовлетворять свои стремления к лучшей жизни в равной степени.

Концепция устойчивого развития основывается на пяти основных принципах.

- 1. Человечество действительно способно придать развитию устойчивый и долговременный характер, отвечающий потребностям ныне живущих людей, не лишая при этом будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности.
- 2. Имеющиеся ограничения в области эксплуатации природных ресурсов относительны. Они связаны с современным уровнем техники и социальной организации, а также со способностью биосферы справляться с последствиями человеческой деятельности.
- 3. Необходимо удовлетворить элементарные потребности всех людей и всем предоставить возможность реализовывать свои надежды на более благополучную жизнь. Одна из главнейших причин возникновения экологических и иных катастроф нищета, которая стала в мире обычным явлением.
- 4. Необходимо согласовать образ жизни тех, кто располагает большими средствами (денежными и материальными), с экологическими возможностями планеты, в частности относительно потребления энергии.
- 5. Размеры и темпы роста населения должны быть согласованы с меняющимся производительным потенциалом биосферы.

Особенно подчеркивается динамический характер устойчивого развития. Отмечается, что оно представляет собой не неизменное состояние гармонии, а скорее процесс изменений, в котором масштабы эксплуатации ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технического развития и другое согласуются с нынешними и будущими потребностями.

Во всем мире вокруг этого принципа возникло много спекуляций, связанных с его неоднозначной трактовкой, и этот научный термин постепенно приобрел еще и политический контекст. Привлечение внимания общества к задачам сохранения устойчивости развития имело позитивное значение, но дальше деклараций дело по существу не пошло. Понятие «устойчивого развития» приобрело характер моды и вошло в программные документы различных партий, но к каким-либо практически значимым результатам это пока не привело. В России неудачный перевод sustainable development породил опасные иллюзии, которые вылились в ряд решений правительственного уровня, трактующих современные экологические трудности как нечто преодолимое средствами относительно технологическими И простыми правительственными решениями. Если мы хотим достичь какого-то согласия с природой, нам в большинстве случаев придется принимать ее условия.

# Контрольные вопросы

- 1. Что общего и в чем различие между глобальной и локальной экологической катастрофой?
- 2. Дает ли гипотеза панспермии ответ на вопрос о самозарождении жизни на Земле?
- 3. Как трактуется понятие коэволюции человека и биосферы?
- 4. Как, по Вашему мнению, следует реализовывать практически идеи устойчивого развития?
- 5. Какие факторы будут ограничивать в ближайшем будущем увеличение производства продуктов питания.
  - 6. По какому принципу строятся экологические пирамиды?
- 7. Сможет ли человеческая популяция вписаться в пирамиды биомасс и энергии и правило 10%?

#### ГЛАВА 2

#### ПЕРЕНОС МАССЫ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВА

#### 2.1. Баланс веществ

Согласно закону сохранения массы при протекании химической реакции в замкнутом пространстве материя не возникает и не исчезает (при ядерной реакции возможно превращение массы в энергию). Этот подход позволяет отслеживать вещества, в частности, загрязнители, находящиеся в разных средах, с помощью уравнений баланса масс.

Рассмотрим уравнение баланса для загрязнителей в водной и воздушной среде. Первым шагом при анализе является определение исследуемой области. Область может включать объекты от простой химической колбы до озера, воздушного бассейна над городом или всего земного шара. Нарисовав воображаемую границу вокруг выделенного объема (рис. 2.1), можно фиксировать поток вещества (загрязнителя) через границу и накопление его внутри области. При этом загрязнитель может покинуть область в неизменном виде, частично накопиться в ней и превратиться в другое вещество (за счет окисления, радиоактивного или бактериального распада и т.д.). Учитывая все эти возможности, можно, как это показано на рис. 2.1, ДЛЯ записать следующее уравнение баланса массы любого интересующего вещества (загрязнителя):

$$\left( \begin{array}{c} {
m скорость} \\ {
m накопления} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} {
m скорость} \\ {
m проникновения} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} {
m скорость} \\ {
m вывода} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} {
m скорость} \\ {
m распада} \end{array} \right) \ (2.1)$$

В уравнении (2.1) член «скорость проникновения» включает в себя источники загрязнителя как вне, так и внутри исследуемой области. Часто уравнение (2.1) может быть упрощено, например тогда, когда наблюдается стационарное (равновесное) состояние, и концентрация загрязнителя не меняется во времени. В этом случае член «скорость накопления» обращается в нуль. Следующее упрощение имеет место, когда вещество сохраняется внутри

интересующей области, что означает отсутствие радиоактивного распада, химических реакций или бактериального разложения.

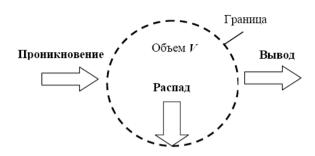


Рис. 2.1. Диаграмма баланса вещества в исследуемой области

Для такого консервативного случая слагаемое «скорость распада» также обращается в нуль. Примером консервативных веществ служат растворенные в воде твердые вещества или углекислый газ в воздухе.

Простейшими для анализа будут системы, находящиеся в стационарном состоянии, а интересующее нас вещество является консервативным. В таких случаях уравнение (2.1) переходит в следующее:

$$\begin{pmatrix} \text{скорость} \\ \text{проникновен} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{скорость} \\ \text{вывода} \end{pmatrix}$$
 (2.2)

Рассмотрим отдельные члены уравнения (2.1). Пусть проникающим компонентом будет поток воды или воздуха мощностью  $Q_S$  (объем/время) с концентрацией загрязнителя  $C_S$  (масса/объем). Тогда член «скорость проникновения» будет иметь вид  $(Q_S \cdot C_S + S)$ , где S – мощность источника загрязнения (скорость образования) внутри исследуемой области. Если имеется несколько источников проникновения, то вместо члена  $Q_S \cdot C_S$ 

следует рассматривать  $\sum_{i=1}^{n} Q_{S}^{i} \cdot C_{S}^{i}$  (n – число источников). Тогда, например, для (2.2) можно записать:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_S^i \cdot C_S^i = Q \cdot C , \qquad (2.3)$$

полагая при этом полное перемешивание загрязнений в рассматриваемом объеме  ${\it V}$  .

Во многих случаях вещества являются неконсервативными. Распад неконсервативных веществ обычно рассматривается как реакция первого порядка, т.е. полагается, что скорость убывания концентрации описывается уравнением:

$$dC/dt = -K \cdot C \,, \tag{2.4}$$

где K – коэффициент скорости реакции.

Решение этого уравнения имеет вид:

$$C = C(0) \cdot e^{-K \cdot t}, \tag{2.5}$$

где C(0) – начальная концентрация при t=0 .

Поскольку полная масса неконсервативного загрязнителя равномерно распределенного в объеме, равняется  $C\!\cdot\! V$ , то можно написать выражение для «скорости распада»:

$$\frac{d(C \cdot V)}{dt} = V \frac{dC}{dt} = K \cdot C \cdot V . \tag{2.6}$$

В нестационарном случае член «скорость накопления» в уравнении (2.1) отличен от нуля, и для равномерно распределенного по объему загрязнителя массой  $C \cdot V$  уравнение примет вид:

$$V\frac{dC}{dt} = Q_S \cdot C_s + S - Q \cdot C - K \cdot C \cdot V . \tag{2.7}$$

Решение для стационарного случая (равновесного состояния) легко найти, положив dC/dt=0 :

$$C(\infty) = \frac{Q_s \cdot C_s + S}{O + K \cdot V} \,. \tag{2.8}$$

Уравнение (2.7) можно решить с помощью перехода к новой переменной:

$$C' = \left(C - \frac{Q_s \cdot C_s + S}{Q + K \cdot V}\right) = \left[C - C(\infty)\right],\tag{2.9}$$

где  $C(\infty)$  есть концентрация загрязнителя для равновесного состояния. Тогда решение уравнения (2.7) будет иметь вид:

$$C(t) = \left[C(0) - C(\infty)\right] \cdot \exp\left[-\left(K + \frac{Q}{V}\right)t\right] + C(\infty), \qquad (2.10)$$

где C(0) – начальная концентрация.

Изложенный подход рассматривает однокамерную модель, включающую всю исследуемую область. Такую простую модель, схематически показанную на рис. 2.1, можно применить, например, для оценки качества воздуха в помещении. Однокамерная модель помещения приведена на рис. 2.2.

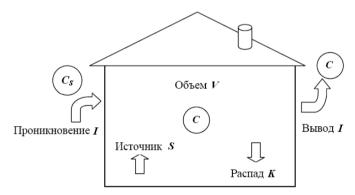


Рис. 2.2. Однокамерная модель для расчета загрязнения воздуха в помещении

Пусть проникновение воздуха в помещение и его вывод характеризуются величиной  $I \cdot V$ , где I — скорость воздухообмена. Тогда уравнение (2.7) примет следующий вид:

$$V\frac{dC}{dt} = S + C_S \cdot I \cdot V - C \cdot I \cdot V - K \cdot C \cdot V , \qquad (2.11)$$

где  $C_{\rm S}$  и C – концентрации загрязнителя вне и внутри помещения соответственно. Решение этого уравнения для стационарного состояния имеет вид:

$$C(\infty) = \frac{S/V + C_S \cdot I}{I + K} \,. \tag{2.12}$$

Решение для нестационарного случая имеет вид (2.10), где  $Q=I\cdot V$  . Такие загрязнители воздуха, как СО и NO, могут считаться консервативными (K=0). Тогда, если начальная концентрация в помещении C(0)=0, и можно пренебречь концентрацией загрязнителя вне помещения  $C_S=0$ , то нестационарное решение примет вид:

$$C(t) = \frac{S}{I \cdot V} [1 - \exp(-I \cdot t)]. \tag{2.13}$$

Оно может быть использовано, в частности, для определения концентрации СО в помещении при использовании различных нагревателей.

# 2.2. Общие закономерности биогеохимических круговоротов

Основой динамического равновесия И устойчивости биосферы являются круговороты веществ и превращение энергии. Живое вещество, используя солнечную энергию, организует преобразования окружающей среды основе процессы на динамических замкнутых круговоротов веществ. Большая часть поступающей от Солнца энергии рассеивается и теряется безвозвратно, за исключением той небольшой части, которая ассимилируется растениями и производит биомассу, небольшая часть энергии запасается в виде карбонатных отложений и мертвого органического вещества.

Потоки вещества, в свою очередь, являются замкнутыми и образовывают круговорот (или цикл). Речь идет о циклическом движении химических элементов и соединений, которое протекает внутри разных экосистем, при этом химические элементы попадают из окружающей среды в организм и обратно.

Подвижность химических элементов зависит от формы их нахождения в природе и от той роли, которую они выполняют в живых организмах. Так, миграционная способность продуктов выветривания и почвообразования определяется степенью дисперсности материала и его растворимостью. Растительные и животные организмы удерживают в своих тканях миллиарды тонн минеральных веществ. Чем больше биогенное значение химического элемента, тем в большей степени он захватывается живыми организмами и, следовательно, оказывается защищенным от выноса из почв грунтовыми и речными водами.



Рис.2.3. Схема геологического круговорота вещества континентальной земной коры

Рассмотрим самый масштабный из круговоротов – геологический, который имел место и на безжизненной планете, но с возникновением биосферы направляется совместным действием геохимических и биологических факторов (рис. 2.3). Заметим, что

интенсивность геологического круговорота невелика (постоянная времени составляет миллионы лет).

Океан и почвы представляют собой геохимически сопряженные планетарные суперландшафты. В настоящее время суша в целом является элювиальной системой, океан – аккумулятивной системой. Земная кора, кора выветривания почвы отдают в океан растворы, механические осадки, органическое вещество. В этом процессе участвуют наземные, подпочвенные и подземные воды. За счет этого океан получает ежегодно огромное количество механических осадков. Часть этих компонентов океан различными путями возвращает на сушу (инфильтрация, приливы, цунами и др.).

Таким образом, круговорот веществ в системе «суша – океан – верхняя мантия» обогащает океан химическими элементами. В табл. 2.1 приведен химический состав почв и океанических вод по степени их содержания.

Таблица 2.1 Сравнение химического состава почв и океанических вод, %

Поч	нва	Ок	еан
О	49	О	85,6
Si	33	Н	10,7
Al	7,3	Cl	1,89
Fe	3,8	Na	1,0
С	2,0	Mg	0,14
Ca	1,37	S	8,8.10-2
K	1,36	Ca	4.10-2
Н	1,0	K	3,8·10 <sup>-2</sup>
Na, Mg	0,6	N	6,7·10 <sup>-5</sup>
N	0,1	Si	5.10-5
Mn, S	0,09	Fe, P	5.10-6
P	0,08	С	2.10-6
Cl	0,01	Al	1.10-6

Видно, что химическую основу океана составляют «аквафилы»: H, O, Cl, Na, Mg. В почве аккумулируются такие жизненно важные элементы, как Si, Al, Fe, C, P, K, N, Ca.

Суша и океан находятся в состоянии непрерывного циклического обмена и с нижними слоями атмосферы — тропосферой. Они поставляют в атмосферу аэрозольные частицы и получают их обратно с осадками и в виде сухих выпадений.

С поверхности суши, в основном, выносятся пылевидные и илистые частицы почвы горных пород, вулканического пепла. Среди аэрозольных частиц морского происхождения преобладают растворимые в воде соли.

Можно выделить три типа биогеохимических круговоротов:

- круговорот воды;
- круговорот газов (газообразные элементы);
- круговорот элементов в твердой или осадочной фазе.

#### 2.2.1. Круговорот воды

Важнейшим среди круговоротов является, безусловно, круговорот воды. Вода играет большую роль в нашей жизни, на использовании воды основано существование биосферы и человека.

Вода покрывает около 70% территории планеты и обладает физическими и химическими свойствами, которые резко отличают ее от других известных жидкостей. Например, она увеличивается в объеме при охлаждении, имеет максимальную плотность при 4 °C. Значения температуры замерзания и кипения имеют большую разницу, что позволяет воде оставаться жидкой в большинстве областей Земли.

Среди существующих в природе жидкостей вода обладает наибольшей теплопроводностью, составляющей 4,18 кДж/(кг·К). Это предопределяет ее большое влияние на климат. Основным терморегулятором климата являются воды океанов и морей: накапливая тепло летом, они отдают его зимой. Благодаря влиянию океанов на значительной части земного шара обеспечивается перевес осадков на суше над испарением, и растения и животные получают нужное для жизни количество воды.

Именно из-за уникальных свойств воды появилась и поддерживается жизнь на Земле, содержание воды в живых организмах достигает 80% (биомасса в среднем на 2/3 состоит из воды).

Если представить, что вода равномерно распределена по поверхности земного шара в виде сферического слоя, то для отдельных составляющих мировых запасов воды толщина этого слоя составит:

Мировой океан, м	2700
Ледники, м	100
Подземные воды, м	15
Пресные воды,м	0,4
Атмосферная влага, м	0,03

Таким образом, 96% воды сосредоточено в океанах, а доступная для использования человеком пресная вода составляет лишь 0,6% от общих запасов. Это - пресные подземные воды, вода пресных озер и рек. Схема гидрологического цикла показана на рис. 2.4.

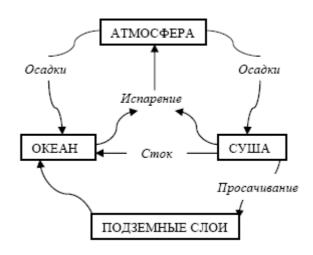


Рис. 2.4. Схема гидрологического цикла

В круговороте воды можно выделить три важнейших процесса: выпадение осадков и последующие испарение,

поверхностный сток воды в моря и озера, просачивание воды в подземные слои с образованием подземных вод.

Около половины достигающей земную поверхность солнечной энергии расходуется на испарение воды. Испарение с поверхности Земли дает за год такое количество воды, которое могло бы покрыть земной шар слоем толщиной один метр. При этом около 80% воды испаряется из океана с образованием облаков, но, в то же время на сушу выпадает больше осадков. Разница в выпадении осадков над сушей и океаном возвращается в океаны в виде стока рек и грунтовых вод. Половина осадков, выпадающих на сушу, попадают в атмосферу за счет испарения, а другая половина или стекает в океан (в виде ручьев и рек) или становится грунтовыми водами.

Сток является возобновляемым источником пресной воды, в настоящее время человеком используется более 10% от его объема. По континентам ресурсы речных вод распределены неравномерно: в Европе и Азии, где проживает 70% населения планеты, сосредоточено лишь 40% мировых запасов речных вод.

В пределах экосистемы происходит четыре процесса, включающиеся в общий круговорот воды.

- Перехват процесс, при котором растения перехватывают часть выпадающей в осадках воды до того, как она достигнет почвы, и испаряют ее в атмосферу. Этот процесс максимален при слабом дожде и достигает в умеренных широтах 25% общей суммы осадков.
- *Инфильтрация* процесс, при котором часть воды, просачиваемая в почву, используется растениями, другая часть по капиллярам поднимается на поверхность и затем испаряется.
- Транспирация испарение воды растениями, биологическое испарение воды (не дождевой). Количество транспирированной воды велико: одна береза в день испаряет около 75 л воды. При этом на фотосинтез уходит доли процента от общего количества прокачиваемой воды.
- Сток потери воды, вызванные этим процессом, увеличиваются с крутизной склонов и при уменьшении плотности растительного покрова.

Время обновления воды в различных компонентах гидросферы очень различно: для океана время полного оборота воды составляет две с половиной тысячи лет, в реках и озерах — 1 год, в атмосфере — около 80 сут. В процессе круговорота значительное количество воды попадает в живые растения, и в результате фотосинтеза за два миллиона лет происходит полное расщепление воды.

# 2.3. Биогеохимические циклы важнейших химических элементов

Наибольший интерес представляют циклы биологически значимых элементов. В биомассе господствуют лишь четыре элемента – углерод, кислород, водород и азот. Причем наибольшая доля (около 80%) в составе живого вещества приходится на кислород и водород. Эти же элементы, как это видно из табл. 2.1, являются основными составляющими океанических вод и почвы. Заметная доля принадлежит фосфору и сере, являющимися важнейшими компонентами белка, хотя присутствуют в биомассе в меньших количествах (0,1-1,0%). Следующую группу элементов, содержание которых в организме колеблется в пределах 0.01 - 0.1%, составляют калий. натрий, магний И кальций. микроконцентрациях всем организмам необходимы так называемые микроэлементы (медь, железо, алюминий, цинк, кремний, кобальт и др.). На сегодня установлена биологическая роль примерно двадцати двух элементов.

Одним из важных показателей биологической значимости является время круговорота химического элемента, которое определяется как отношение биомассы (живого и мертвого вещества) к годичной продукции.

# 2.3.1. Круговорот углерода

Круговорот углерода, показанный на рис. 2.5, является самым интенсивным из всех важных биогеохимических циклов. Время круговорота углерода в биосфере составляет примерно 30 лет

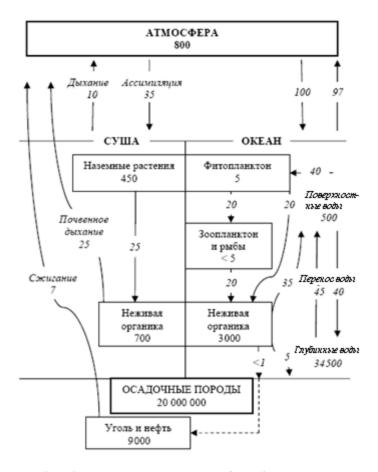


Рис. 2.5. Круговорот углерода в биосфере. Запасы в миллиардах тонн, потоки в миллиардах тонн в год (данные на конец XX в.)

Содержание углерода в атмосфере Земли по массе составляет 0,046% в форме диоксида углерода и 1,0·10<sup>-4</sup>% в форме метана. Эти соединения в соответствии с Киотским протоколом являются первым и вторым по значимости парниковыми газами. При этом диоксид углерода относится к малым радиационно-активным составляющим атмосферы, формирующим за счет парникового эффекта ее температурный режим.

Биосферный цикл углерода связан с кислородным циклом и разделяется на два круговорота – наземный и морской (рис. 2.5).

В земной коре содержится 0,35% углерода, а в живом веществе около 18%. С углеродом связан процесс возникновения и развития биосферы, он обусловливает разнообразие и сложность строения веществ, так как этот элемент способен соединяться с большинством из элементов самыми разнообразными способами.

Через поверхность океана оба круговорота объединяются благодаря растворимости диоксида углерода в воде. Диоксид углерода и углекислота, находящиеся в атмосфере или в растворенном состоянии в воде, служат сырьем для фотосинтеза растений и переработки углерода в органическое вещество живых существ. Углерод в природе находится, в основном, в двух формах: диоксид углерода и карбонаты (CaCO $_3$ , BaCO $_3$  и др.). И хотя содержание углерода в виде диоксида значительно меньше, чем в карбонатной форме, но  $\mathrm{CO}_2$  является быстро мигрирующей формой, вовлеченной в процесс фотосинтеза и дыхания.

За геологический период с момента появления жизни на Земле углерод атмосферы и гидросферы неоднократно прошел через живые организмы. В течение 3 – 5 лет растения потребляют столько углерода, сколько его содержится в атмосфере.

Основная масса углерода биосферы аккумулирована в карбонатных отложениях дна океана, торфа и гумуса. Именно этот углерод принимает участие в медленном геологическом круговороте. Цикл оборота углерода в почвах охватывает 300 – 500 лет.

## 2.3.2. Круговорот кислорода

Кислород — самый распространенный элемент земной коры (содержание 47%), а его содержание в мировом океане составляет 85,6%. В живом веществе его содержится более 70%, и он составляет основу живой материи. Источником свободного кислорода является фотосинтез, поэтому баланс кислорода непосредственно связан с круговоротом углерода. Из-за высокой химической активности кислород играет исключительно важную роль в земной коре.

Эволюция процессов на Земном шаре сопровождается увеличением содержания кислорода. Признаки деятельности фотосинтезирующих организмов обнаружены в древних осадочных отложениях возрастом около 3,6 млрд лет. В настоящее время атмосфера Земли на 21% состоит из свободного кислорода (более  $10^{15}$  т), который является продуктом фотосинтеза цианобактерий, водорослей и высших растений. Накопление кислорода в атмосфере результат непрерывного ухода из биологического круговорота органического углерода.

Второй миграционный цикл свободного кислорода связан с массообменном в системе природные воды — тропосфера. В мировом океане холодная вода высоких широт поглощает кислород, а поступая с океаническими течениями в тропический пояс, она его выделяет. В газовый оборот между тропосферой и океаном вовлекается около  $10^{10}$  т кислорода.

Кислород расходуется в разнообразных окислительных реакциях, в которых высвобождается энергия, поглощенная в ходе фотосинтеза. В почвах, илах, водоносных горизонтах развиваются микроорганизмы, использующие кислород для окисления органических соединений. Кислород входит в состав кристаллических решеток минералов и высвобождается из них живым веществом.

Таким образом, общая схема круговорота кислорода в биосфере складывается из двух основных ветвей:

- образование кислорода при фотосинтезе;
- поглощение кислорода в окислительных реакциях.

Помимо участия в разнообразных химических процессах в биосфере, кислород играет важнейшую роль в образовании озонового слоя, защищающего живые организмы от жесткого ультрафиолетового излучения.

# 2.3.3. Круговорот азота

Азот и его соединения играют в жизни биосферы, в формировании почвенного покрова и плодородия экосистемы такую же важную роль, как и углерод.

Общая направленность биогеохимического круговорота азота на планете — аккумуляция в молекулярной форме в атмосфере, которая на 78% состоит из молекул  $N_2$ . Начальное появление азота в

атмосфере, вероятно, было связано с дегазацией верхней мантии, магмы и вулканическими выделениями.

В атмосфере планеты сосредоточена большая часть запасов молекулярного азота, что связано с направлением биогеохимических потоков соединений азота, образующихся при денитрификации. Соединения азота образуются в атмосфере в основном за счет биологической фиксации в результате деятельности азотфиксирующих бактерий. Кроме того, часть азота фиксируется в результате электрических и фотохимических реакций, вулканической деятельности и поступает на сушу и в океан с атмосферными осадками.

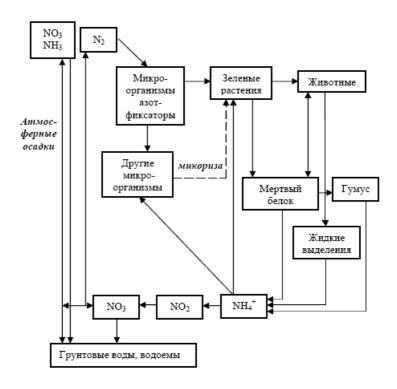


Рис. 2.6. Схема цикла азота в сухопутных системах, где микориза — симбиоз гриба с корнем высшего растения

Этот азот включается в общий биогеохимический поток растворенных соединений, мигрирующих с водными массами, участвует в почвообразовательных процессах и формировании биомассы растений. В результате биосфера содержит большое количество азота в связанном виде: в органическом веществе почвенного покрова (более  $10^{11}$  т), а также в биомассе растений и животных.

Большинство живых организмов нуждается в получении азота в химически связанном состоянии, что обеспечивают азотфиксирующие бактерии, усваивающие молекулярный азот. На рис. 2.6 приведена схема круговорота азота в сухопутных системах.

Вместе с тем, вследствие высокой растворимости солей азотной кислоты и аммония, азота в почве почти всегда недостаточно для питания растений. Поэтому большое количество азота вносится человеком в почву в виде минеральных удобрений. Это, в свою очередь, приводит к загрязнению окружающей среды и заболеваниям человека и животных.

## 2.3.4. Круговорот фосфора и серы

Фосфор и сера играют важную роль в круговороте веществ биосферы. Круговорот фосфора сильно отличается от биогеохимических циклов углерода, кислорода и азота, так как газовая форма соединений фосфора практически не участвует в биогеохимическом цикле. Этот круговорот входит в общий осадочный цикл, циркуляция в котором поддерживается путем образования осадков, эрозии, вулканической деятельности, а также биологического переноса.

Фосфор совершает кругооборот в наземных экосистемах в качестве важной и необходимой составной части живых клеток. Как и в других биогеохимических циклах, после усвоения неорганического фосфата растениями он переходит в органические соединения и по цепям питания попадает к организмам более высоких трофических уровней. Биоредуценты минерализуют органические соединения фосфора из отмерших организмов в фосфаты, которые вновь потребляют корни растений и клетки водорослей.

Резервуаром фосфора в отличие от азота служит не атмосфера, а изверженные (апатиты) или осадочные (фосфориты)

горные породы. В процессе разрушения горных пород огромные запасы фосфора, накопившиеся за геологические эпохи, передаются наземным экосистемам.

Фосфаты в большом количестве оказываются вовлеченными в круговорот воды, когда происходит их выщелачивание водой и вынос в моря и океаны. Необходимо отметить, что дефицит фосфора довольно скоро может стать актуальной проблемой для сельского хозяйства.

Сера определяет многие биохимические процессы клетки, является компонентом питания растений и микрофлоры. Соединения серы участвуют в формировании химического состава почв, содержатся в подземных водах, что играет важную роль при засолении почв.

Существуют многочисленные газообразные соединения серы (оксид и диоксид серы, сероводород). Однако преобладающая часть круговорота этого элемента имеет осадочную природу и происходит в почвах и воде, хотя перенос серы в атмосфере также имеет определенное значение для биосферы.

Основной источник серы, доступный организмам, – сульфаты, значительная часть которых хорошо растворима в воде. Экосистеме требуется не так много серы, как азота или фосфора. Тем не менее круговорот серы является ключевым в процессе продукции и редукции биомассы.

Осадочные породы в биосфере содержат главные запасы серы (пирит, сульфаты кальция и магния), некоторое количество серы поступает в результате вулканической деятельности.

В биогеохимическом круговороте серы можно выделить четыре стадии (рис. 2.7):

- усвоение минеральных соединений серы растениями и бактериями с включением ее в состав белков и аминокислот и других соединений;
- превращение органической серы животными и бактериями в сероводород;
- окисление минеральной серы живыми организмами (серобактериями) при сульфатредукции;
- восстановление минеральной серы десульфоредуцирующими бактериями до сероводорода.



Рис.2.7. Биогеохимический цикл серы: I – десульфофикация; II - минерализация органической серы живыми организмами до сероводорода

## 2.3.5. Круговороты микроэлементов

Из элементов, содержащихся в земной коре, более 99% массы приходится на девять элементов: кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, калий, магний и титан. Около 70 элементов, содержание которых не превышает 0,14% общей массы, известны как микроэлементы.

С точки зрения суточной потребности для человеческого организма элементы условно можно разделить на следующие группы по масштабу поступления в сутки:

Элемент	Поступление	
	в сутки	
C, O, H, N, S, P	КΓ	
Ca, Mg, Na, K	Γ	
Cu, Zn, Co, Cr, Sn, Fe	МΓ	
As, Se, Br, I, Ge	мкг, нг	

Элементы первых двух групп относятся к макроэлементам и их содержание в живых организмах стремится к постоянному значению независимо от содержания этих элементов в окружающей среде. Элементы последних двух групп называют микроэлементы, и они могут накапливаться в организме в зависимости от содержания этих элементов в окружающей среде.

Такие макроэлементы, как фосфор, сера, калий, кальций, магний, натрий, жизненно необходимы организму растений и животных и выполняют в организмах более чем одну функцию.

Биологические функции большинства микроэлементов непосредственно связаны с деятельностью ферментов, и их суточная потребность не превышает нескольких микрограммов или даже нанограммов. В пище животных должно содержаться не менее 15 микроэлементов, причем для некоторых из них биологические функции еще не установлены. Так, в крови насчитывается 78 элементов, за исключением инертных газов и трансурановых элементов.

Кроме того, как повышенное, так и пониженное содержание многих элементов приводит к серьезным нарушениям в организме. Например, отличие от оптимальной концентрации фтора (0,0005%) ведет к разрушению эмали зубов при меньших значениях, или к флюорозу при больших величинах.

Микроэлементы распространяются в окружающей среде в результате первичного (вулканическая деятельность) и вторичного (выпадения осадков, сток в реки и моря, перенос ветром, миграция вглубь почвы и др.) рассеивания. Третичное рассеивание возникло в результате антропогенной деятельности, что привело к перераспределению элементов и возникновению областей загрязнений.

В отличие от макроэлементов, содержание которых в различных геологических формациях отличается не более, чем в два раза, содержание микроэлементов в разных областях Земли может отличаться на порядок и более. Это связано с изменчивостью скоростей потоков вторичной миграции в условиях земной поверхности. На ней возникают участки, где резкое изменение условий миграции приводит к накоплению тех или иных веществ на отдельных участках.

Территории, на которых имеется аномальное содержание элементов, называются *геохимическими провинциями*. Например, Уральская геохимическая провинция – повышенное содержание Си, Сг, Ni, Co, Ti; Финляндия – пониженное содержание Se; Забай-калье – недостаток Са, но избыток Sr.

Геохимические провинции разбросаны ПО земной поверхности не хаотически, а образуют систему, связанную со структурой поверхности. Некоторые из них имеют техногенное происхождение, это - осушенные и обводненные территории, плотины, дамбы Богатые месторождения И пр. определяются пространственной дифференциацией вещества на земной поверхности.

Кларки земной коры

Таблица 2.2

О	47
Si	29,5
Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti	от 8,05 до 0,45
Н	0,14
Mn	0,1
P	0,092
F, Ba, S, Sr	от 0,066 до 0,034
С	0,023
Cl, Zr	0,017
V, Cr, Zn, Ce, Ni, Cu,	от 0,009 до 0,0019
Li, Y, La, Nb, Ga, N	
Co, Pb, Th, Se, Be, Cs, U,	от 0,0018 до 0,00003
Sn, Br, As, Ge, W, Mo, Sb, I	
Cd, Hg, Ag, Au	от 1,3·10 <sup>-5</sup> до 4,3·10 <sup>-7</sup>

Для учета способности элементов концентрироваться или рассеиваться в отдельных местах планеты вводится понятие кларка. Кларк — среднее значение содержания элемента в земной коре в целом или в других природных телах, выраженное в процентах. Кларки некоторых элементов земной коры в порядке убывания показаны в табл. 2.2.

Знакомство с кларками показывает, что широко распространено неверное мнение о представительстве отдельных элементов

земной коры. Например, кларк меди в 100 раз меньше, чем кларк титана, а кларк галлия в 300 раз больше, чем кларк ртути.

Микроэлементы, как и макроэлементы, вовлекаются в водную, воздушную и биологическую миграции и образуют круговороты. Однако интенсивность миграции разная для различных элементов.

Для характеристики вовлечения химического элемента вводится понятие коэффициента биологического поглощения, показывающего активность перехода данного элемента в растение.

Замечательно, что этот коэффициент не связан с распространенностью элемента в земной коре. Наиболее активно мигрирует йод (содержание в земной коре 0,00003%), в то время как кремний, составляющий почти треть земной коры, мигрирует в 1000 раз менее интенсивно. Все типы растительности хорошо поглощают Mn, Zn, Mo, Cu, Ni, Ag.

В результате водной миграции усердно вымываются из почвы Mg, Ca, а с океаническими воздушными массами на большие расстояния переносятся Cl, I, B.

# 2.4. Антропогенное воздействие на биогеохимические круговороты

В глобальном масштабе геохимическую роль живого вещества следует рассматривать как мощный исторически сложившийся фактор массопереноса.

Абиогенные циклы сложились на нашей планете намного раньше биогенных. Они включают в себя весь комплекс геологических, геохимических, гидрологических и атмосферных процессов. В условиях развитой биосферы круговорот веществ направляется совместным действием биологических, геологических и геохимических факторов. Именно в этом смысле употребляются термины — биогеохимический круговорот веществ, биогеохимические пиклы.

Ненарушенные биогеохимические циклы практически замкнуты. Таким образом, поддерживается постоянство и равновесие состава и концентрации компонентов, вовлеченных в круговорот, а также генетическая и физиологическая приспособленность организмов и окружающей среды. Из-за неполной

замкнутости биогеохимических циклов наблюдается биогенное накопление азота и кислорода в атмосфере, биогенное и хемогенное накопление соединений углерода в земной коре (нефть, уголь). Неполная замкнутость циклов в отсутствии антропогенного фактора проявляется в геологическом времени, измеряемом, как правило, тысячелетиями.

Однако хозяйственная деятельность человека привела к тому, что антропогенный фактор приравнялся к природным биогеохимическим факторам миграции вещества, а в некоторых звеньях природных круговоротов стал главенствующим. Особенно сильное воздействие антропогенного фактора на массоперенос веществ начинает проявляться со второй половины прошлого века.

Проиллюстрируем воздействие антропогенного фактора на массоперенос на примере рассмотренных ранее биогеохимических циклов.

#### 2.4.1. *Чистая вода*

Антропогенное воздействие на гидрологический цикл, например, тесно связано с проблемой чистой воды. Поскольку вода является не только источником, но и стоком, ее использование ограничено степенью загрязнения поверхностных и грунтовых вод.

Объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов примерно равен годовому стоку пресной воды на континентах — 40700 км<sup>3</sup>. Это и есть те ресурсы, которыми располагает человечество для удовлетворения своих потребностей в воде. Кажется, что у человечества имеются большие запасы, так как потребление воды составляет малую долю (4430 км<sup>3</sup>) предельного количества. Однако многие источники носят сезонный характер, поэтому только 11 000 км<sup>3</sup> воды остаются устойчивым стоком.

Наиболее доступные являются речные ресурсы воды, которые используются для создания оросительных систем, гидроэлектростанций, служат важнейшим источником водоснабжения для промышленности и сельского хозяйства.

По данным Всемирной организации здравоохранения грязная и непригодная для питья вода — причина каждого десятого заболевания в мире и 6% всех смертей. Необходимо инвестировать в системы очистки воды, так как по расчетам каждый вложенный в

это рубль позволит сэкономить до 8 руб. на медицинское обслуживание и принесет дополнительную прибыль за счет повышения производительности труда.

За прошедший XX в. промышленное потребление воды возросло примерно в 20 раз и достигло около 10% от годового стока. В глобальном масштабе основная масса используемой человечеством пресной воды идет на орошение, другим важным потребителем является промышленность. Затраты воды на производство некоторых видов продукции огромны, например для получения одной тонны алюминия необходимо затратить 10 тыс. т воды. Значительная часть забранной из водоемов воды возвращается в эти водоемы, но в большинстве случаев эта вода уже не пригодна для дальнейшего использования из-за загрязнения.

В то же время потребляемым природным ресурсом является не вода вообще, а именно чистая пресная вода (особенно питьевая вода). По данным ООН более 1 млрд чел. все еще испытывает нехватку питьевой воды, а половина населении мира не обеспечена канализацией.

Рассмотрим в качестве примера водоем-охладитель атомной электростанции (АЭС). На АЭС, в отличие от ТЭС, основная часть теплового сброса осуществляется охлаждающими турбины водами. На охлаждение конденсаторов турбин АЭС мощностью 1 ГВт(эл.) требуется 50 м $^3$ /с воды, при этом ее температура повышается примерно на 10 °С. Минимальная площадь зеркала водоема-охладителя составляет около 5 кв. км на 1 ГВт (эл), а если водоем используется для разведения рыб и отдыха — не менее 10 кв. км.

Дополнительный подогрев воды приводит к изменению ее физико-химических свойств (растворимости газов, плотности, вязкости и др.), увеличению испарения. Кроме изменения водного баланса в экосистеме водоема, происходят изменения, связанные с заменой организмов более теплолюбивыми видами. Хладолюбивые диатомовые водоросли, являющиеся кормовой базой зоопланктона и рыб, сменяются сине-зелеными водорослями, которые, быстро развиваясь и отмирая, отравляют воду токсичными цианистыми соединениями.

Снижение растворимости кислорода при повышении температуры приводит к ухудшению разложения органических остатков в придонных слоях и образованию «заморных» зон,

массовой гибели водных организмов и рыб. В результате водоем может значительно снизить свой рекреационный статус и хозяйственное значение.

При нормальном режиме эксплуатации АЭС основное воздействие на окружающую среду определяется тепловым сбросом, а не выбросом радиоактивных веществ в водоем.

# 2.4.2. Парниковый эффект

Рассмотрим результаты антропогенного воздействия на примере круговорота углерода. Важной частью этого круговорота является оборот углекислого газа ( $\mathrm{CO}_2$ ). Солнечную энергию, аккумулированную в ископаемом топливе, человек интенсивно высвобождает при его сжигании, при этом в атмосферу поступает огромное количество  $\mathrm{CO}_2$ . В настоящее время количество углерода, поступающего в атмосферу при сжигании топлива, превышает 20% от его естественного оборота между атмосферой и биотой Земли. В результате за последнюю треть прошлого века объемная концентрация  $\mathrm{CO}_2$  в атмосфере возросла с 0,029% до 0,036% (почти на 25%).

Накопление СО2 в атмосфере ученые в настоящий момент «парниковым эффектом», связывают т.е. c постоянным повышением температуры на земной поверхности. Этому росту температуры в меньшей степени способствует накопление и других парниковых газов - метана, оксидов азота, хлорфторуглеродов (ХФУ). Углекислый газ почти не поглощает видимую и ультрафиолетовую области спектра солнечного излучения, которое проходит через атмосферу на поверхность Земли. В то же время инфракрасное излучение от разогретой земной поверхности интенсивно поглощается СО2 в атмосфере и не пропускается в космос.

Это энергобаланса Земли, приводит нарушению температуры вблизи поверхности. Многие повышению ee климатологи рассматривают длительную жару в последние годы как последствия парникового эффекта. Хотя задерживание тепла вблизи Земли является очень важным поверхности процессом для поддержания жизни на планете, перспективы быстрого повышения температуры (глобальное потепление) очень опасны, так как приведут к росту уровня Мирового океана за счет таяния ледников и целому ряду других нежелательных для человеческой цивилизации эффектов.

Нынешний уровень концентрации парниковых газов в атмосфере, согласно полученным данным, побил все рекорды за последние 800 тыс. лет. В табл. 2.3 приведены данные по первым десяти странам с наибольшими выбросами  $\mathrm{CO}_2$  в основном за счет сжигания органического топлива.

Таблица 2.3 Страны с наибольшими выбросами  ${
m CO_2}$  в 2001 г.

Страна	CO <sub>2</sub> , тыс. т
США	1528796
Китай	761586
Россия	391664
Япония	323281
Индия	292265
Германия	214386
Англия	154979
Канада	118957
Италия	116859
Корея	116543

В последнее время появляются новые технологии по уменьшению выбросов парникового газа на предприятиях. Так, Австралия одна из первых стран мира ввела технологию улавливания выбросов предприятия, которые затем будут подвергаться компрессии и переводиться на хранение в подземный естественный газовый резервуар и тем самым избавлять от них атмосферу планеты.

Широкое использование атомной энергетики также будет способствовать сокращению выбросов. В настоящее время во всем мире атомная энергетика позволяет уменьшить выброс углекислого газа почти на 4 млрд т в год, из них более 200 млн т вклад действующих российских АЭС.

#### 2.4.3. Кислород и озоновый слой

В современных условиях установившиеся в биосфере потоки кислорода нарушаются техногенными миграциями. Сброшенные предприятиями природные химические загрязнители В воды связывают растворенный воле кислород. В атмосферу В выбрасывается большое количество углекислого газа и различных аэрозолей, что также нарушает нормальный кислородный оборот. Загрязнение почв, вырубка на огромных территориях лесов уменьшают обмен кислорода и углекислого газа между атмосферой Огромное количество атмосферного кислорода расходуется при сжигании органического топлива: промышленно развитых стран кислорода сжигают больше, чем его образуется за счет фотосинтеза.

Помимо участия в разнообразных химических процессах в биосфере кислород играет важную роль в образовании озонового слоя, защищающего живые организмы от жесткого ультрафиолетового излучения.

Озон постоянно образуется в атмосфере при поглощении коротковолнового ультрафиолетового излучения. Слой наибольшей плотности озона расположен в стратосфере на высоте  $22-25\,$  км. В то же время озон постоянно расходуется в процессе химических реакций, превращающих его обратно в молекулярный кислород. Механизм образования озона можно кратко описать следующей формулой:

$$O_2 + hv \rightarrow O^* + O^*$$
  $u \qquad O^* + O_2 \rightarrow O_3 \qquad (2.14)$ 

где  $O^*$  - свободный радикал кислорода, являющийся очень активной частицей. В дальнейшем может произойти замыкание цикла с образованием молекул кислорода:

$$O_3 + O^* \rightarrow 2O_2$$
 (2.15)

Поскольку при нормальных условиях концентрация кислорода поддерживается на постоянном уровне, концентрация озона также постоянна

Роль озона в приземном слое тропосферы (где он, кстати, является парниковым газом) и в стратосфере различна. Озон в приземном слое тропосферы делят на озон чистого воздуха, возникающий в лесных массивах и горах, и смоговый озон, способствующий образованию фотохимического смога. Термином «фотохимический смог» обозначают вредную для организма смесь газов, образующихся при воздействии солнечного излучения на антропогенные газообразные примеси. Содержание озона в фотохимическом смоге может составлять до 99%. Таким образом, в стратосфере Земли, где сосредоточено 90% атмосферного озона, он играет положительную роль, а тропосферный смоговый озон оказывает вредное воздействие на живые организмы.

Механизм защитного действия стратосферного озона основан на резком ослаблении солнечной радиации при длинах волн меньше 0,32 мкм. Постоянство концентрации озона определяется равенством скоростей его образования и расхода. На равновесие между образованием и распадом озона влияют стратосферные концентрации хлора, азота, водорода и брома.

K важному типу озоноразрушающих газов относятся производимые человеком  $X\Phi V$ , которым принадлежит также важная роль в создании парникового эффекта. Под действием ультрафиолетового излучения молекулы  $X\Phi V$  могут разрушаться, высвобождая хлор, который служит катализатором в реакциях разрушения озона.

ХФУ или фреоны, использующиеся в промышленности с 1930 г. как хладагенты, растворители и т.д., оказались недорогими в производстве, и, казалось, безвредными для окружающей среды. В 80-х годах прошлого столетия их ежегодное производство достигло 1 млн т. Долгое время считалось, что они - самые полезные и экономически выгодные вещества, изобретенные человечеством в XX столетии.

Однако в последнее тридцатилетие установлено разрушительное влияние  $X\Phi Y$  на стратосферный озон. Все это привело к истощению озонового слоя и образованию «озоновых дыр», основная из которых обнаружена над Антарктидой. Затем было отмечено также общее снижение концентрации озона над протяженными областями в Северном полушарии, включая США, Канаду и европейские страны. Еще в 80-х годах ведущими

промышленными странами были подписаны некоторые международные документы о поэтапном сокращении производства и потребления основных разрушающих озон веществ.

## 2.4.4. Азотные удобрения

Для обеспечения нормального питания сельско-хозяйственных культур и повышения их урожайности в почву в виде минеральных удобрений вносится более 30 млн т азота в год, что составляет около 30% от общих поступлений азота на сушу и в океан. Это часто приводит к загрязнению окружающей среды, тяжелым заболеваниям человека и животных. Особенно велики потери от нитратных форм азота, так как они плохо сорбируются почвой, легко вымываются водами, а азот восстанавливается до газообразной формы, и до 30% его теряется для питания растений. Все это, естественно, сказывается на биогеохимическом цикле азота.

Существенным и тревожным нарушением цикла азота является сильное увеличение отходов животноводства, отходов и стоков городов, поступления в атмосферу аммиака и оксидов азота при сжигании органического топлива. Опасно также проникновение оксидов азота в стратосферу от выхлопов самолетов и ракет, служащих причиной разрушения озонового слоя. В этих условиях основная задача человека в настоящий момент - повышение культуры применения азотных удобрений.

# 2.4.5. Технобиологические циклы микроэлементов

В настоящее время природные и техногенные потоки слились, образовывая практически объединенные техногенные геохимические аномалии. В результате производственразличных участках суши деятельности на повышенные концентрации тяжелых металлов. процессе техногенной деятельности металлы не только интенсивно перекачиваются из недр на земную поверхность, но и рассеиваются, высокоактивное мелкодисперсное и растворимое переходя в состояние.

За всю историю человечество выплавило примерно 20 млрд т железа, из них почти половина рассеяна в окружающей среде. На

протяжении года рассеивается более 25% произведенного железа. Другие металлы рассеиваются еще интенсивнее, например для свинца и ртути это 80 – 90% годового производства. Промышленное производство некоторых металлов уже сейчас превышает потоки их техногенной миграции. Примером могут служить железо и медь, а добыча свинца в 25 раз превышает его потоки в природной миграции. Мощная воздушная миграция металлов возникает при сжигании органического топлива, сотни тысяч тонн тяжелых металлов в виде мелких аэрозольных частиц поступают в атмосферу и на поверхность водной среды, загрязняя их.

#### Контрольные вопросы

- 1. Чем отличаются уравнения баланса массы для консервативного и неконсервативного вещества? Приведите примеры консервативных веществ.
- 2. Как будет зависеть от времени t концентрация консервативного загрязнителя в помещении, где находится источник загрязнения, если скорость воздухообмена равна I?
- 3. Какова доля доступной для использования человеком пресной воды в мировом водном ресурсе? Где она сосредоточена?
- 4. Назовите основные источники поступления диоксида углерода в атмосферу.
- 5. За счет каких процессов поддерживается современное равновесие между поступлением кислорода в атмосферу и его изъятием?
- 6. Объясните роль диоксида углерода в парниковом эффекте. Какие еще находящиеся в атмосфере газы относят к парниковым?
- 7. В чем различие роли озона в тропосфере и стратосфере? В каких слоях атмосферы содержится наибольшее количество озона?

#### ГЛАВА 3

#### ЭНЕРГИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

# 3.1. Термодинамика биосферы. Естественный баланс энергии в биосфере

Эволюционно сложившийся термодинамический баланс биосферы нашей планеты испытывает в последние сто пятьдесят лет серьезные антропогенные нагрузки. Возможным последствием этого процесса является глобальное потепление климата.

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2 — 3 мкм. При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды и ультрафиолетового излучения озоном, а также за счет его рассеяния молекулами газов, частицами пыли и аэрозолями.

Параметром, отражающим влияние атмосферы на интенсивность и спектральный состав солнечного излучения, доходящего до земной поверхности, является атмосферная (или воздушная) масса. При нулевой воздушной массе интенсивность излучения равна 1367 Вт/м² (внеатмосферное излучение или солнечная постоянная). Единичная воздушная масса соответствует прохождению солнечного излучения через безоблачную атмосферу до уровня моря при расположении Солнца в зените. Воздушная масса для любого уровня земной поверхности в любой момент дня определяется исходя величины угла высоты Солнца над горизонтом при перпендикулярном падении лучей на площадку.

Земля перекрывает потоки солнечного излучения площадью поперечного сечения, поэтому при расчете на единицу площади земной поверхности при моделировании геометрической формы планеты сферой эта величина уменьшается в 4 раза до 340  $\mathrm{Bt/m}^2$ .

Отраженные потоки солнечной энергии от различных компонент планетной системы — от безоблачной атмосферы, от облаков, от поверхности планеты, в частности от ее ледяного покрова, и т.д. — составляют альбедо планеты. Альбедо Земли оценивается величиной  $\sim 30\%$ .

На рис. 3.1 приведено спектральное распределение энергии фотонов внеатмосферного и наземного солнечного излучения при перпендикулярном падении лучей на приемную площадку и под углом  $30^{0}$  к горизонту.

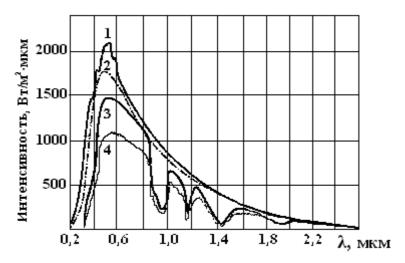


Рис. 3.1. Спектральное распределение энергии солнечного излучения: I — внеатмосферное излучение; 2 — спектр излучения абсолютно черного тела при 5800 К; 3 — наземное излучение на экваторе; 4 — наземное излучение (Солнце под углом  $30^0$ )

Оставшееся после отражения и поглощения ( $\sim 25\%$ ) в атмосфере Земли излучение составляет приповерхностные потоки солнечной энергии или потоки на автотрофном слое планеты. В среднем потоки солнечной энергии после прохождения атмосферы уменьшаются практически вдвое. Средняя освещенность единицы площади земной поверхности солнечной энергией принимается равной  $167~{\rm BT/m^2}$ .

Для сравнения приведем значения плотности потоков энергии, вызванных солнечной радиацией, а также другими источниками вместе с современным энергопотреблением всего человечества.

# Значения плотности потоков энергии, ТВт

#### Солнечная радиация:

Поглощение атмосферой и земной поверхностью	100 000
Поглощение океаном	80000
Расход на испарение в атмосферу	40000
Турбулентные потоки тепла	10000
Перенос теплоты с экватора к полюсам:	
атмосферой	10000
океаном	2000
Поглощение сушей	20000
Испарение:	
сушей	5000
растениями (транспирация)	3000
Энергия ветра	2000
Океанские волны	1000
Фотосинтез	100
Гравитационная энергия падения всех видов осадков	100
Энергия волн	3
Другие виды энергии:	
Геотермальная	30
Вулканы и гейзеры	0,3
Приливы океанов	1
Лунный свет, падающий на поверхность Земли	0,5
Свет, падающий на Землю от всех звезд	0,001
Современное мировое энергопотребление	10

Тепловой баланс, как частный случай проявления закона сохранения энергии, обязан выполняться для любой компоненты рассматриваемой системы «космическое пространство — поверхность планеты — атмосфера», а также для потоков различного спектрального состава: солнечного коротковолнового излучения или теплового излучения Земли.

При переносе теплоты излучением испускаемую энергию несут электромагнитные волны. Каждый объект излучает тепло. Мощность испускаемого излучения абсолютно «черного» тела описывается законом Стефана – Больцмана:

$$I = \sigma \cdot S \cdot T^4 \,, \tag{3.1}$$

где I — мощность излучения,  $Bт/м^2$ ; постоянная Стефана — Больцмана,  $\sigma = 5,67\cdot 10^{-8},\ Bt/(m^2\cdot K^4)$ ; S — площадь излучающей поверхности,  $M^2$ ; T — температура поверхности, K.

Длина волны, на которой спектр излучения достигает своего максимума, определяется законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b \,, \tag{3.2}$$

где  $\lambda$  — длина волны, м; T — температура, K; постоянная Вина, b =  $2.90\cdot10^{-3}$ , м· K .

Составление баланса между поглощаемой планетой за вычетом альбедо солнечной радиацией и энергией, излучаемой планетой по закону Стефана — Больцмана, позволяет получить соотношение для определения так называемой эквивалентной температуры:

$$T_{_{9K6}} = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha) \cdot C_{_S}}{4 \cdot \sigma}} . \tag{3.3}$$

Здесь  $\alpha$  — альбедо планеты;  $C_{\mathcal{S}}$  — плотность потока солнечной энергии на орбите планеты.

Сравнение эквивалентных температур, полученных по соотношению (3.3), с реальными температурами различных планет показывает резко отличающиеся результаты. Для одних планет (Марс) эквивалентная температура является адекватной оценкой реального теплового уровня, для других говорить даже об относительной корреляции результатов не представляется возможным. Реальная температура Венеры более чем в три раза превышает значение эквивалентной. Для Земли разница между реальной и эквивалентной температурами составляет в наши дни 33°. Очевидно. что анализ только интегральных поглощаемой и излучаемой энергии не позволяет составить корректный тепловой баланс планеты.

Об этом свидетельствует и оценка по закону Стефана – Больцмана для реальной температуры суммарной излучаемой Землей энергии. Оказывается, что с единицы площади земной поверхности излучается большая энергия, чем поглощаемая из

космического пространства. Указанные противоречия теплового баланса разрешаются наличием и составом атмосферы данной планеты и ее способностью в разной степени пропускать различные участки спектрального состава излучения. Относительно плотная атмосфера в той или иной степени свободно пропускает жесткое коротковолновое излучение, составляющее значительную долю в спектре солнечной радиации, и практически полностью задерживает тепловое излучение планеты.

Подобное явление получило название парникового эффекта, компоненты атмосферы, способные существенное влияние на данный процесс, - парниковыми газами. Фактически между реальной эквивалентной разница И количественной оценкой служит температурами парникового эффекта.

# 3.2. Влияние атмосферы на формирование климата и условий жизни на Земле. Изменение состава атмосферы под влиянием человеческой деятельности

Таким образом, тепловой баланс планеты складывается и регулируется под значительным влиянием атмосферы. Спектр солнечного излучения близок к спектру абсолютно «черного» тела с температурой  $\sim 6000~\rm K$ . Видимое излучение (с длинами волн от  $400~\rm do~770~\rm hm$ ) может достигать поверхности Земли в безоблачный день почти без потерь. Однако жесткая часть ультрафиолетового излучения (с длинами волн короче  $300~\rm hm$ ) отфильтровывается в верхних слоях атмосферы в первую очередь молекулами озона  $-\rm O_3$ , образующими защитный озоновый экран. В другой, длинноволновой части спектра с длиной волны более  $1~\rm mkm$  излучение поглощается в основном водяными парами, капельками воды в облаках и частицами пыли.

Свой вклад в поглощение инфракрасного излучения как идущего от Солнца, так и испускаемого Землей, вносят и газовые компоненты атмосферы — *парниковые газы*. К основным антропогенным парниковым газам в нашей атмосфере относятся углекислый газ ( $CO_2$ ), метан ( $CH_4$ ), закись азота ( $N_2O$ ) и хлорфторуглеродные соединения ( $X\Phi Y$ ).

Достаточно длительное время концентрации основных парниковых газов в атмосфере колебались в относительно узком диапазоне (рис. 3.2).

Начиная с индустриального периода концентрации всех парниковых газов начинают неуклонно возрастать. Этот процесс с нарастающей скоростью продолжается и в наши дни.

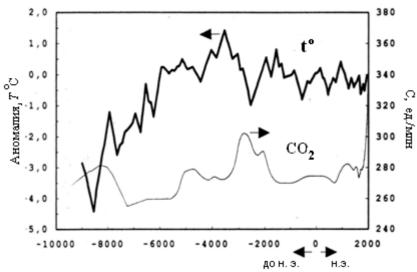


Рис. 3.2. Отклонения среднегодовой температуры Северного полушария от климатической нормы 1951-1980 гг. и концентрация  $\mathrm{CO}_2$  в атмосфере за последние 11000 лет

Основным парниковым газом в атмосфере Земли является углекислый газ  $CO_2$ . В природную компоненту парникового эффекта в целом вклад еще больший чем  $CO_2$  вносит водяной пар. Однако изменений его концентрации в атмосфере пока не зарегистрировано.

Считается, что вклад  $CO_2$  в антропогенный парниковый эффект составляет более 60%. Его концентрация к 2005 г. увеличилась по сравнению с доиндустриальным периодом с 280 до 380 ед./млн.

Напомним, что концентрация парникового газа измеряется в объемных или массовых долях данного газа, содержащегося в миллионе или миллиарде долей атмосферного воздуха (ед./млн или

ед./млрд). Концентрацию в 280 ед./млн принято называть равновесной концентрацией СО<sub>2</sub> до промышленной революции.

характеризуются большим Парниковые газы нахождения в атмосфере и хорошо там перемешиваются. В результате парниковый эффект не зависит от конкретного места выброса этого газа. Время жизни углекислого газа в атмосфере, скоростью поверхностью определяемое обмена c оценивается в 10 лет, но при учете перемешивания океанских вод и поглощения углерода осадочными породами реальное релаксации его концентрационных изменений может достигать многих десятков и даже сотен лет. Половина всех выбросов СО2 остается в атмосфере от 50 до 200 лет, тогда как вторая половина сушей растительностью, поглощается океаном. И преобладающем значении океана. Потребуется примерно 30 лет, чтобы только 30% СО2 было выведено из атмосферы в результате естественных процессов; еще 30% может быть удалено за несколько столетий, и, наконец, 20% останутся в ней на многие тысячи лет.

Метан СН<sub>4</sub> — второй по значимости парниковый газ. Его вклад в антропогенное изменение климата оценивается величиной 20%, а время жизни в атмосфере составляет примерно 10 лет. Концентрация метана по сравнению с доиндустриальным периодом увеличилась в 2,5 раза с 700 до 1800 ед./млрд.

Установлено, что в результате таяния вечной мерзлоты на севере Сибири в атмосферу ежегодно поступает около 4 млн т метана. Этот парниковый газ образуется в результате разложения органики, которая находилась в вечной мерзлоте свыше 30 тыс. лет. Выбросы метана в свою очередь способствуют дальнейшему потеплению климата. Выделение метана происходит из талых озер на севере Сибири, число и площадь которых быстро растут в результате таяния вечной мерзлоты. Так, с 1974 по 2000 г. площадь талых озер увеличилась на 15%, а эмиссия метана из них на 60%. Изотопный анализ показал, что весь выделяющийся метан имеет биогенное происхождение. Следовательно, в атмосферу поступают газообразные продукты разложения органики, законсервированной в грунте в эпоху, когда на месте нынешней бесплодной тундры паслись гигантские стада крупных травоядных животных.

Концентрация закиси азота  $N_2\mathrm{O}$  за тоже время возросла с 270 до 320 ед./млрд. Фреоны являются практически полностью

антропогенными соединениями, не наблюдавшимися в атмосфере до 50-х годов. В связи с их ролью в разрушении стратосферного озона, в соответствии с Монреальским протоколом (1987 г.), их производство резко сокращено, но из-за очень большого времени нахождения в атмосфере (50–100 лет) их концентрация будет медленно сокращаться в течение всего XXI столетия.

На рис. 3.3 представлено поведение концентрации углекислого газа за последние 10000 лет в атмосфере Земли. Отмечено резкое увеличение скорости роста его концентрации уже с 1750 г.

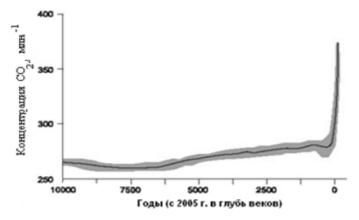


Рис. 3.3. Поведение атмосферной концентрации диоксида углерода (ед./млн) за последние 10000 лет, восстановленной по измерениям содержания  $\mathrm{CO}_2$  в ледовых колонках Гренландии и Антарктики и полученной по наблюдениям за последние 100 лет

Увеличение концентрации  $CO_2$  на 2 ед./млн в год и более, наблюдаемое в последние несколько лет, беспрецедентно по своим темпам прироста. Скорость увеличения концентраций углекислого газа и метана достигла исключительных величин: для углекислого газа она в 200 раз выше, чем когда бы то ни было.

Примерно 65% антропогенного влияния на изменение концентрации углекислого газа в атмосфере связано с дополнительной эмиссией  $CO_2$  от сжигания ископаемого топлива – нефти, газа, угля и др., и 35% — с уменьшением его поглощения, вызванного массовой вырубкой лесов и освоением новых земель.

На рис. 3.4 показано сравнение реальных климатических данных с прогнозом по различным моделям за последние 15 лет.

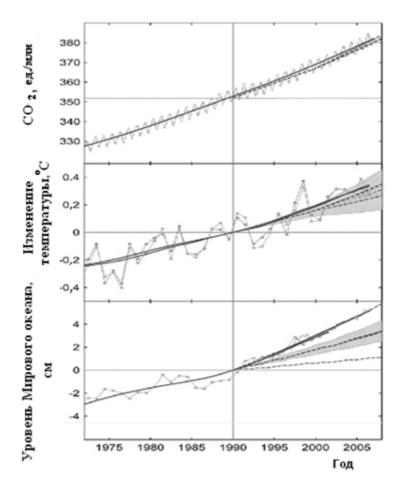


Рис. 3.4. Изменения содержания в атмосфере  $\mathrm{CO}_2$ , средней температуры на поверхности Земли и среднего уровня Мирового океана. Тонкие сплошные линии — реальные данные, толстые сплошные — усредненные реальные данные. Пунктирными линиями обозначены данные прогнозов и доверительные интервалы (области, закрашенные серым цветом). За начало отчета приняты соответствующие данные 1990 г.

Газовый состав атмосферы будет меняться и далее за счет роста концентрации парниковых газов, по крайней мере, в течение первой половины XXI в.

Как видно из рисунка были удовлетворительно предсказаны на 15-летний период времени тенденции изменения содержания в атмосфере СО<sub>2</sub> и средней температуры на поверхности Земли. Наименее удовлетворительным оказался прогноз уровня Мирового океана (нижняя часть графика). За последнее время этот уровень возрастал заметно быстрее, чем предполагалось разработанными моделями. С 1990 по 2005 г. уровень Мирового океана увеличился примерно на 4 см вместо предсказанных 2 см. Динамика содержания углекислого газа с 1990 г. хорошо соответствовала предсказанной тенденции.

На графике хорошо видны также ежегодные небольшие, но регулярные колебания содержания  $CO_2$ , возникающие как результат сезонных изменений в активности наземной растительности. Интенсивный фотосинтез растений в конце весны и летом приводит к тому, что концентрация  $CO_2$  в воздухе достигает минимума в начале осени. Сезонный максимум содержания  $CO_2$  в атмосфере приходится на начало весны.

Необходимо остановиться еще на одной тенденции, характеризующей дальнейшее увеличение выбросов парниковых газов и продемонстрированной на рис. 3.5. И хотя, начиная с 1950 г., промышленно развитые страны несут ответственность за 75% мировых выбросов основного парникового газа, самый большой рост выбросов в последние годы происходит в развивающемся мире, где индустриализация только набирает обороты. И эта тенденция в будущем будет только усиливаться, существенно затрудняя попытки мировой общественности согласовать решения о сокращении выбросов парниковых газов.

В абсолютных цифрах эмиссия углерода в результате человеческой деятельности только от сжигания ископаемых видов топлива достигла уже к  $2000~\rm r.$  значения примерно в 7 млрд т, что в 4 раза превысило уровень  $1950~\rm r.$ 



Рис. 3.5. Мировые выбросы углерода от сжигания ископаемых видов топлива

# 3.3. Парниковый эффект. Естественная цикличность изменения климата и влияние деятельности человека

Изменения концентрации парниковых газов воздействуют на поглощение, рассеяние и излучение тепловой радиации в климатической системе. Это, в свою очередь, вызывает изменения глобального радиационного баланса. Глобальное потепление климата стало очевидным фактом и тревожит не только ученых, но также общественные и правительственные организации во всем мире. Тем не менее к настоящему времени нет единого мнения о причинах, обусловливающих и доминирующих в этих процессах. Специалисты разделились на два лагеря, пытающихся убедить друг друга и широкую общественность в том, что потепление климата обусловлено либо только естественными причинами, либо только антропогенными нагрузками.

Уже на рис. 3.2 было продемонстрировано, что климатическое равновесие в биосфере не является статическим и без

влияния человека. Средняя температура поверхности нашей планеты испытывает сложные колебания под воздействием естественных причин космического и планетарного масштаба. При этом исторические данные по глобальной температуре показывают, что периоды первичных циклов ее колебания достигают величин около 100 000 лет. За 650 тыс. лет Земля прошла восемь ледниковых периодов, перемежавшихся короткими межледниковыми периодами потепления порядка 10 000 лет. В одном из них и оказалась вложенной вся современная цивилизация человеческого общества (см. рис. 3.2).

К важным причинам, естественным влияющим глобальную климатическую систему, относятся периоды колебаний отдельных параметров орбиты Земли и солнечной активности, вулканическая активность планеты, автоколебания в системе «атмосфера – океан». Например, на рис. 3.6 показаны данные экспериментальных исследований антарктических реставрации климата Земли, которые свидетельствуют, что потепление, вызванное другими причинами, в минувшие эпохи приводило повышению концентрации углекислого Наблюдается корреляция между подъемами и спадами глобальных температур и концентрацией углекислого газа в атмосфере.

Оценки показывают, современное содержание углерода в атмосфере приближается к величине  $800\,$  млрд т, а ежегодные антропогенные выбросы углерода только от сжигания ископаемых источников энергии превышают  $7\,$  млрд т в год. Даже с учетом воздушной фракции очевидно, что за промежутки времени в  $100\,$  лет человек способен внести изменения, сопоставимые с реально произошедшим увеличением концентрации  $CO_2$  в атмосфере.

С другой стороны, как показывают исследования, подъем Аппалачского горного массива около 450 млн лет назад вызвал похолодание климата. Выветривание горных пород этого массива привело к резкому снижению уровня углекислого газа в атмосфере и вместо парникового наблюдался «ледниковый» эффект. Ученые предполают, что последнее оледенение, начавшееся 40 млн лет назад, было вызвано аналогичной причиной, связанной с подъемом Гималаев. Выветривающиеся силикатные горные породы реагируют с водой и углекислым газом, переходя в карбонатные породы. При

этой реакции из атмосферы изымается очень значительное количество углекислого газа.

При подъеме Аппалачских гор процесс изменения содержания углекислого газа произошел, в геологическом масштабе, очень быстро — за 7-8 млн лет. Соответственно, очень быстро изменился и климат планеты. Поэтому ученые приходят к выводу, что только геологические события такого масштаба, как поднятие горных массивов, могут быть реальным и действенным фактором снижения уровня углекислого газа в атмосфере Земли.

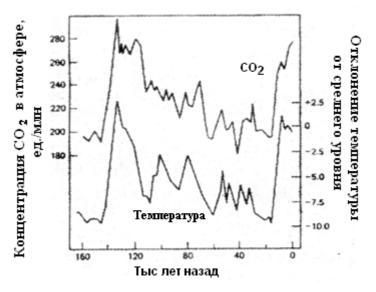


Рис. 3.6. Концентрации CO<sub>2</sub> и температуры в Антарктиде по данным, полученным на станции Восток

Параллели с современностью можно найти только в гораздо более далеком прошлом — в конце палеозоя (см. табл. 1.3), когда концентрация углекислого газа возросла (но не столь быстро) в десять раз и достигла той величины, которая прогнозируется в отдельных сценариях к моменту времени, когда на Земле будет сожжено все ископаемое топливо.

Многие ученые считают, что только рост антропогенных парниковых газов вызвал глобальное потепление, начиная со второй половины XX в., так как маловероятно, что наблюдаемое глобальное потепление атмосферы и океана, уменьшение массы ледников в различных регионах земного шара вызвано только естественной изменчивостью климатической системы.

Глобальная температура продолжает увеличиваться (рис. 3.7), и за последние сто лет она выросла на 0,75 °C. Средняя скорость потепления, рассчитанная за последние 50 лет, составила  $0,13\pm0,03$  °C за 10 лет, что в 2,5 раза выше, чем для всего столетнего периода времени.

Это хорошо согласуется с расчетами по современным климатическим моделям, учитывающим рост парниковых газов и аэрозоля в атмосфере. Однако если подставить в те же модели постоянные значения концентрации парниковых газов и аэрозоля, соответствующие доиндустриальному периоду, то роста температуры не будет.

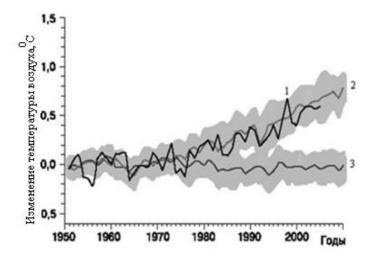


Рис. 3.7. Изменения глобальной приземной температуры воздуха, по отношению к норме с 1951 по 1970 г.: I — данные наблюдений; 2 — полученные по модели; 3 — расчет для доиндустриального периода. В показанные полосы разброса попадают 68% модельных значений

Изменение климата на Земле регионально происходит неравномерно. Широко известны опасения об альтернативном изменении климата на Европейском континенте. Возможное похолодание в странах Западной Европы связывают с ожидаемым изменением направления океанического течения Гольфстрим.

Средняя температура воздуха в арктическом бассейне в то же время за последние несколько десятков лет увеличивалась в два раза быстрее, чем возрастала глобальная температура.

На территории России потепление климата за последние 35 лет оказалось тоже более резким по сравнению с глобальным. По сравнению с климатической нормой за 50 лет температура выросла на  $1,5\,^{\circ}\mathrm{C}$ .

За 16 лет, начиная с 1990 г., средняя температура на Земле возросла на 0,33 °C. Эта величина соответствует прогнозам модели, но находится у верхней границы коридора допустимых значений (см. рис. 3.3). Модель предполагает, что при увеличении содержания  $CO_2$  в атмосфере в два раза температура возрастет на 3 °C, а крайние значения доверительных интервалов соответствуют возрастанию средней температуры на 1,7 °C и 4,2 °C при удвоении концентрации  $CO_2$  в атмосфере.

Используя в качестве эталонного параметра температурное изменение вследствие удвоения концентрации  $CO_2$ , в атмосфере изменения равновесной поверхностной температуры в других случаях описываются следующим образом:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_d}{\ln 2} \cdot \ln \left( \frac{K}{K_0} \right), \tag{3.4}$$

где  $\Delta T$  — изменение равновесной глобальной температуры воздуха у поверхности;  $\Delta T_d$  — изменение равновесной глобальной температуры воздуха у поверхности, рассчитываемое для удвоения содержания диоксида углерода в атмосфере; K — концентрация диоксида углерода в некоторый момент в будущем;  $K_0$  — начальная концентрация диоксида углерода.

За величину начальной концентрации диоксида углерода, как правило, принимают значение содержания  $CO_2$  в атмосфере до промышленной революции, т.е. 280 ед./млн.

Климат на Земле никогда не был неизменным во всех временных масштабах, начиная от десятилетий до миллиардов лет, он был подвержен колебаниям. Ранее эти циклы вызывались естественными причинами. Если посмотреть на кривую климата, то на протяжении последних 3 млрд лет шло неуклонное снижение Особенно четко температуры. можно говорить 0 изменения климата, когда стали очевидны астрономические наиболее значительные причины, ИЗ которых определяются регулярными изменениями параметров земной орбиты (циклы Миланковича).

Форма земной орбиты не круглая, а эллиптическая и эксцентриситет эллипса колеблется с периодом около 100000 лет. Флуктуирует также угол наклона земной оси — сейчас он равен 66°33′ к плоскости орбиты. Изменения происходили с периодичностью в 41000 лет. Третьим глобальным параметром является прецессия. Прецессия земной оси определяет, в каком месте орбиты в данном полушарии наступает лето. Период колебания этой величины — 23000 лет. На протяжении последнего миллиона лет было порядка 20 эпизодов потепления и похолодания. Таким образом, климат ведет себя все время как переменная, но не периодическая, а циклическая.

В результате исследований выяснилось, что за 800 тыс. лет на Земле было восемь ледниковых и восемь межледниковых периодов. Причем, каждый ледниковый период длился в среднем 100 тыс. лет, а межледниковый — всего 10 тыс. Сейчас человечество и живет в таком коротком межледниковом периоде, в процессе перехода от одного ледникового периода к другому. Климат идет постоянно к похолоданию и примерно через 5 тыс. лет орбита Земли займет снова такое положение, когда наступит холод.

Но скорость изменений крайне мала — порядка  $0.02~^{\circ}\mathrm{C}$  за  $100~\mathrm{net}$ . Вопрос, соответственно, в скорости процесса и масштабах перемен. С начала промышленной революции изменение климата происходит резко ускоренными темпами, по порядку величины в  $50~\mathrm{pas}$  быстрее, чем движение к очередному ледниковому периоду.

Много миллионов лет назад, во времена динозавров, климат был намного теплее, в среднем на 7 °C по планете в целом (рис. 3.8). Затем климат постепенно становился холоднее, причем в истории

Земли были резкие изменения (в основном, похолодания), которые сопровождались массовым вымиранием живых организмов.

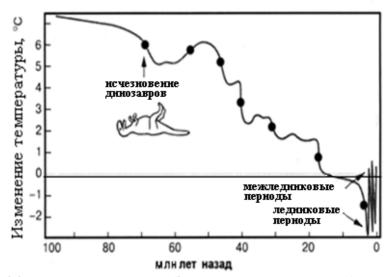


Рис. 3.8. Изменение температуры Земли в планетарном масштабе времени. За нулевой уровень принята средняя температура за 1961 — 1990 гг. Крупные точки — времена массового вымирания организмов

За последние 10-11 тыс. лет наблюдалось несколько периодов относительно быстрого естественного потепления. Два последних произошли около 6,5 и 4,5 тыс. лет назад. Далее в целом средняя глобальная температура начала снижаться. Естественная максимальная изменчивость за последние несколько тысяч лет не превышала  $1,5\,^{\circ}\mathrm{C}$ .

Естественные факторы изменения климата включают колебания параметров орбиты Земли (эксцентриситет, прецессия, угол наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики); изменения солнечной активности; вулканические извержения; апериодические колебания в системе атмосфера — океан (явления Эль-Ниньо). К факторам, вызываемым в последние 200 лет в основном антропогенной деятельностью, относятся изменения концентрации парниковых газов в атмосфере и концентрации тропосферных аэрозолей.

В течение последнего миллиона лет ледниковые и межледниковые периоды менялись в большей степени в зависимости от параметров орбиты нашей планеты. В последние 10 тыс. лет наблюдались меньшие колебания орбиты, с чем связывают относительно стабильный климат планеты. В любом случае колебания орбиты — явление достаточно долгосрочное, в то время как антропогенное воздействие на климат имеет гораздо более короткий временной масштаб.

Крупнейшее за XX в. извержение вулкана Пенатубо на Филиппинах (1991 г.) выбросило в стратосферу 30-млн т серы. В результате средний уровень солнечной радиации снизился на 2,5 Вт/м², что соответствует глобальному охлаждению на 0,5 – 0,7 °С. При извержении вулканов радиационный эффект определяется количеством аэрозолей, заброшенных на большую (более 10 км) высоту. Но, несмотря на это, последнее десятилетие XX в. было самым теплым за предшествующий период наблюдений.

Из природных явлений планетарного масштаба к числу наиболее мощных и оказывающих серьезные последствия следует отнести явление Эль-Ниньо (Южное колебание) – двухгодичная циркуляция атмосферы и океана в южной части Тихого океана. Этот сопровождается значительным нагревом экваториальной зоне Тихого океана и перераспределением масс воздуха в низких широтах Южного полушария между Индийским и Тихим океанами. Явления Эль-Ниньо оказывают влияние не только региональный климат. возмушают атмосферную но И циркуляцию на всем земном шаре. Наступление Эль-Ниньо сопровождается заметным повышением средней глобальной температуры. В частности, мощное и сильное протекание процесса Эль-Ниньо в конце XX в. оказало существенное влияние на погодные условия 1997 – 1998 гг.

Оценка вклада различных естественных причин в радиационное воздействие (прогрев атмосферы) показывает, что имеется комбинация разнонаправленных факторов, каждый из которых значительно слабее, чем рост концентрации в атмосфере парниковых газов (рис. 3.9).

Для фундаментального решения проблемы оценки теплового баланса Земли и выяснения первостепенных причин потепления

климата необходимо создание глобальной скоординированной сети наземных и спутниковых наблюдений, оснащенной соответствующими техническими и алгоритмическими средствами.

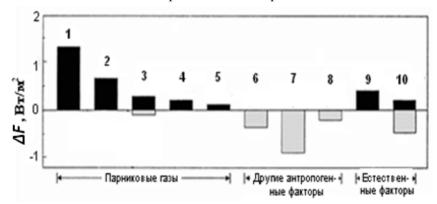


Рис. 3.9. Изменение теплового потока ( $\Delta F$ ), достигающего земную поверхность, за счет различных факторов ( $I-\mathrm{CO_2}$ ;  $2-\mathrm{CH_4}$ ;  $3-\mathrm{фреоны}$ ;  $4-\mathrm{тропосферный}$  озон;  $5-\mathrm{оксиды}$  азота;  $6-\mathrm{тропосферные}$  аэрозоли;  $7-\mathrm{изменение}$  облачного покрова;  $8-\mathrm{изменениe}$  состояние поверхности;  $9-\mathrm{солнечная}$  радиация;  $10-\mathrm{вулканическиe}$  аэрозоли)

Среди альтернативных гипотез глобального потепления серьезное внимание привлекала версия о значительном влиянии на современный климат Земли процессов изменения солнечной активности. Однако анализ наблюдений за Солнцем показал, что изменение солнечного потока в десять с лишним раз меньше воздействия всех парниковых газов и аэрозолей антропогенного происхождения на атмосферу. Поэтому столь небольшие колебания яркости не могут внести существенный вклад в глобальное потепление.

Суммарное антропогенное радиационное воздействие на глобальный климат определяется величиной потока  $1,6~{\rm Bt/m^2}.$  Расчеты радиационного поля Земли показали, что нарушение среднего глобального радиационного баланса Земли достигло в настоящее время уровня  $0,85~{\rm Bt/m^2},$  отображающего происходящее потепление климата.

При отсутствии антропогенных воздействий должна соблюдаться сбалансированность усредненных за большие

промежутки времени значений прихода (поглощенная солнечная радиация) и расхода (длинноволновая уходящая радиация) энергии. Нарушение теплового баланса планеты отображает начало опасного процесса потери экологического равновесия в глобальных масштабах.

Внеатмосферный интегральный поток солнечной радиации составляет  $340~{\rm Bt/m^2}$ , а среднее глобальное значение альбедо Земли принято считать равным  $\sim 0.30$ . Изменение альбедо всего на 0.01 эквивалентно соответствующему изменению радиационного баланса на  $3.4~{\rm Bt/m^2}$ , что не только превосходит современные оценки суммарного радиационного воздействия всех парниковых газов на климатическую систему, но сравнимо с эффектом удвоения концентрации  ${\rm CO_2}$  в атмосфере.

При выходе потребления энергии всего человечества на уровень наиболее развитых стран в будущем потребуется многократный рост производства энергии. Это может стать фактором нарушения радиационного баланса Земли и повышения ее глобальной температуры.

Среди антропогенных причин именно концентрация углекислого газа в атмосфере является основным фактором, определяющим температуру на планете. Установлен трехкратный рост среднегодового ускорения общемировых выбросов углекислого газа за 2000 – 2004 г. по сравнению с 1990 г. Негативная тенденция вызвана увеличением как энергетической интенсивности экономики энергии на производство единицы (расходом национального продукта), валового так углеродной И интенсивности энергетических систем (количеством углерода на единицу энергии).

Первая характеристика связана с внедрением и распространением энергосберегающих технологий, вторая – с нынешней структурой и возможными изменениями топливно-энергетического баланса в будущем. В табл. 3.1 приведены коэффициенты эмиссии углерода от сжигания основных органических источников выработки энергии.

Очевидно, что и с точки зрения парникового эффекта уголь является самым «грязным» видом топлива. Сжигание всех подтвержденных мировых запасов органических источников сырья реально может удвоить доиндустриальную концентрацию углекислого газа в атмосфере, а сжигание всех гипотетических

ресурсов ископаемого топлива может привести к угрожающему росту  $\mathrm{CO}_2$ , и, в первую очередь, этот эффект будет обусловлен использованием угля.

Таблица 3.1 Коэффициенты эмиссии углерода для различных видов топлива

Эмиссия	Природный	Нефть	Уголь
углерода	газ		
млрд т/ $Q$	14,5	20,8	25,2

Единица измерения энергии – 1  $Q = 1,055 \cdot 10^{21}$  Дж.

В конце палеозойской эры (см. табл. 1.3), в самом начале пермского периода, на смену долгодлившемуся (почти 0,5 млрд лет) и охватившему большую часть Земли оледенению пришло глобальное потепление. Оно сопровождалось резким возрастанием содержания  $CO_2$  в атмосфере: от уровня в 250 до 1000 и далее до 3000 млн<sup>-1</sup>. Анализ событий, имевших место в ту далекую эпоху, может пригодиться при прогнозировании ситуации в будущем. Например, в качестве возможного сценария, допустив, что если человечество сожжет все литосферные запасы ископаемого топлива, содержание  $CO_2$  в атмосфере может подняться вплоть до 0,2%, т.е. примерно до уровня конца палеозойской эры.

При этом жизнь на Земле в ту эпоху продолжала существовать и развиваться, хотя глобальное потепление, произошедшее примерно 250 млн лет тому назад, могло стать причиной массового вымирания на земле. В результате погибло почти 75% флоры и фауны на суше и до 90% всего живого в Мировом океане.

Существует точка зрения, что вымирание сильно затормозило развитие живого вещества на нашей планете. С другой стороны, катаклизм, радикально преобразивший планету, изменил соотношение в экологическом балансе Мирового океана между простыми примитивными организмами (морские лилии, губки, кораллы) и более сложными высокоорганизованными существами (рыбы, моллюски, ракообразные). До вымирания соотношение двух типов сообществ в Мировом океане было примерно 1:1, а сразу после него — 3:1 в пользу более сложных. Это соотношение

сохранилось и до наших дней. Вместо плавного эволюционного развития произошел положительный революционный скачок.

Поэтому изучение геологического прошлого Земли может стать главным аргументом в спорах о возможных причинах и последствиях современных изменений климата. Изучение геологического прошлого планеты доказывает, что похолодания климата всегда происходили в периоды снижения концентрации углекислого газа в атмосфере, а потепления, наоборот, во время подъема его уровня.

При этом прогнозируется, что в основном средняя глобальная температура будет расти за счет накопления парниковых газов в атмосфере, в то время как большинство естественных факторов будут действовать в противоположном направлении, тем самым ослабляя антропогенное воздействие. Но даже по всем оптимистическим прогнозам ожидается дальнейшее потепление на  $1-2~^{\circ}\mathrm{C}$  за текущий XXI в.

# 3.4. Киотский протокол

Для возможного решения возникших глобальных противоречий в 1997 г. представители более 160 стран в японском городе Киото подписали исторический протокол к Рамочной конвенции по изменению климата, ранее принятой в 1992 г. в Риоде-Жанейро и вступившей в силу в 1994 г.

К основным парниковым газам, подпадающим под действие Киотского протокола, относятся шесть отдельных газов или групп химических соединений:  $CO_2$  (углекислый газ),  $CH_4$  (метан),  $N_2O$  (закись азота),  $\Gamma\Phi Y$  (гидрофторуглероды),  $\Pi\Phi Y$  (перфторуглероды),  $SF_6$  (гексафторид серы). Кроме них парниковым газом является водяной пар, но он не рассматривается в Протоколе ввиду своего преимущественно природного происхождения, сложности контроля и отсутствия данных о росте его концентрации в атмосфере.

Контролируемые Киотским протоколом парниковые газы сильно различаются не только по своей концентрации в атмосфере, но и по коэффициентам поглощения инфракрасного излучения. Для оценки относительного влияния различных газов на климат обычно используют величину глобального парникового потенциала, определяемого как усредненное изменение достигающего

поверхности теплового потока за счет изменения концентрации данного газа в атмосфере.

Потенциал глобального потепления — параметр, численно определяющий разогревающее воздействие определенного парникового газа относительно молекулы углекислого газа. Значения потенциала глобального потепления приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 Потенциалы глобального потепления парниковых газов, контролируемых Киотским протоколом

Парниковый газ	Потенциал
Диоксид углерода (СО2)	1
Метан (СН <sub>4</sub> )	21
Закись азота (N2O)	310
Гидрофторуглероды	140-1170
Перфторуглероды	6500-9200
Гексафторид серы (SF <sub>6</sub> )	23900

Например, одна тонна метана производит такой же парниковый эффект, что и 21 т  $CO_2$ , и для расчетов используется осреднение парникового эффекта за 100 лет в единицах по отношению к газу  $CO_2$ .

Киотский протокол закрепил количественные обязательства развитых стран и стран с переходной экономикой, включая Россию, по ограничению и снижению поступления парниковых газов в атмосферу.

В основе Киотского протокола лежат идеи экономической теории прав собственности, разработанной экономистом Рональдом Коузом, предложившим принципиально новый подход к борьбе с загрязнениями, поскольку сложилась ситуация, когда:

- предприятие, не превышая предельно допустимых концентраций (ПДК) и предельно допустимых выбросов (ПДВ), все равно загрязняет окружающую среду и не несет за это никаких издержек;
- значения ПДК и ПДВ определяются одинаково для различных предприятий независимо от того, насколько полезной для общества является выпускаемая ими продукция.

Вместо того, чтобы разрабатывать нормативы ПДК и ПДВ, государство должно лишь определить максимально допустимый объем загрязнений, выпустить соответствующее количество лицензий на загрязнения, организовать их распродажу с аукциона и затем контролировать соответствие фактического объема загрязнений величине лицензий.

Киотский протокол вступил в силу 16 февраля 2005 г. через 90 дней после официальной передачи документа о ратификации его Россией, поскольку для вступления его в силу была необходима ратификация государствами, на долю которых приходилось бы не менее 55% выбросов парниковых газов.

Отметим, что ведущей страной, ответственной за выбросы углекислого газа являются США, которые до настоящего времени не ратифицировали этот согласованный международный документ.

Согласно Киотскому протоколу подписавшие его страны берут на себя обязательства к 2008 – 2012 гг. сократить свои выбросы парниковых газов не менее чем на 5% от уровня 1990 г., а для России требуется не превышать этот уровень выбросов.

Поскольку в России выброс в ближайшем времени не достигнет уровня базового года, то можно продавать соответствующие квоты другим странам. Кроме того, меры по снижению выбросов для России обойдутся гораздо дешевле, чем в развитых странах из-за наличия большого внутреннего потенциала по энергоэффективности и энергосбережению.

В настоящее время Россия выполнила обязательства по нейтрализации выбросов парниковых газов не только за себя, но даже за другие государства. Сейчас Россия выбрасывает всего лишь 6% от всего глобального цикла и помимо этого треть мирового стока углеродов идет через ее леса, т.е. порядка 500 млн т вредных веществ перерабатывают деревья России.

Суммарная цифра по эмиссии у Китая составляет 24%, США – 21%, Евросоюза – 12%, Индии – 8%.

Рис. 3.10 демонстрирует величину выбросов на единицу внутреннего валового продукта (ВВП) для некоторых стран мира. Удельный выброс в России существенно больше, чем в любой из развитых стран, причем в 90-е годы наблюдался его рост, что отражало снижение энергоэффективности в то тяжелое экономическое время.

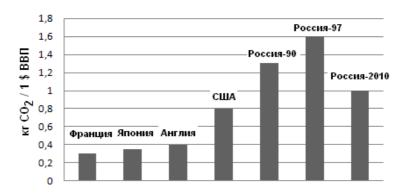


Рис. 3.10. Удельный выброс  $CO_2$  на единицу ВВП для различных стран мира

В заключение отметим, что в 2008 г. лидеры стран «восьмерки» подтвердили свою решимость сократить к 2050 г. вредные выбросы в атмосферу на 50%.

# Контрольные вопросы

- 1. Как выполняются начала термодинамики в атмосфере? Какова при этом роль и влияние атмосферы?
- 2. Укажите основные естественные причины, влияющие на изменение климата. Чему равны периоды и темпы естественного изменения климата?
- 3. В чем состоит физическая сущность парникового эффекта, и какова его количественная оценка?
- 4. Какие диапазоны длин волн поглощаются основными естественными газовыми компонентами атмосферы?
- 5. Какие антропогенные газы называются парниковыми? Как различается их доля в парниковом эффекте? Что такое потенциал глобального потепления?
- 6. Почему парниковый эффект в первую очередь связывают с эмиссией углекислого газа в атмосферу?
- 7. Как изменялась концентрация углекислого газа и температура Земли за последние 100 лет и прогнозы на XXI век?
- 8. К каким соглашениям привело международное сотрудничество в области сохранения климата?

#### ГЛАВА 4

# АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Современное человечество живет в эпоху научнотехнического прогресса, сопровождающегося активным воздействием на природную среду. И хотя в последние десятилетия принимаются меры по ее охране и оздоровлению, тем не менее общее состояние окружающей среды продолжает ухудшаться.

Масштабы воздействия хозяйственной деятельности на природную среду стали поистине гигантскими. Согласно оценке специалистов общее число химических соединений, широко распространенных и употребляемых человеком, составляет 63000 ед. В это число входят все виды химикатов, пестицидов, промышленных отходов и загрязнителей воздуха.

Ежегодно из недр Земли извлекается свыше 100 млрд т полезных ископаемых, выплавляется 800 млн т различных металлов, производится более 60 млн т неизвестных в природе синтетических материалов, вносится в почвы полей свыше 500 млн т минеральных удобрений и примерно 3 млн т различных ядохимикатов, треть которых смывается поверхностными стоками в водоемы или задерживается в атмосфере (при рассеивании с самолетов).

Количество железа, поступающего антропогенным путем в природную среду, составило за последние 150 лет около 10 млрд т, а возможные последствия рассеяния железа «ожелезования» в поверхностном слое земной коры пока не известны. В десятки раз увеличилось поступление в окружающую среду свинца и кадмия – элементов с высокими токсическими свойствами.

Человечество использует для ирригации, промышленного производства и бытового снабжения более 10% речного стока и сбрасывает в водоемы ежегодно более 500 млрд м³ промышленных и коммунальных стоков. Если стоки предварительно не очищаются до допустимых уровней, то они требуют разбавления природной чистой водой, что может приводить к суммированию загрязнений от стоков отдельных предприятий и увеличению общего загрязнения.

Почти вдвое повысился сток твердого вещества в океан, который составляет сейчас 17,4 млрд т/год. Только в водохранилищах накопление продуктов размыва суши составляет

13,4 млрд т/год. В целом под воздействием антропогенного фактора снос с суши возрос примерно в 2,5 раза и составляет ежегодно 50 млрд т вещества в твердой, жидкой и газообразной форме.

Опасный характер загрязнителей проявляется в их токсическом, мутагенном или канцерогенном эффектах.

## 4.1. Проблема сохранения качества окружающей среды

Качество окружающей среды — состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и их совокупностью. Для решения вопросов управления и регулирования качества окружающей среды необходимо иметь следующее:

- 1) представление о том, какое качество (состояние загрязнения) природных сред можно считать приемлемым;
- 2) информацию о наблюдаемом состоянии окружающей среды и тенденциях его изменения;
- 3) оценку соответствия (или несоответствия) наблюдаемого и прогнозируемого состояния окружающей среды приемлемому.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Существует три уровня мониторинга окружающей среды для оценки антропогенного воздействия.

- 1. Локальный мониторинг на относительно небольшой территории в зонах высокой интенсивности воздействия (города, промышленные районы).
- 2. Региональный мониторинг включает более обширные области в зонах со средним уровнем воздействия.
- 3. Глобальный мониторинг практически по всей территории земного шара.

Загрязнение окружающей среды — поступление в окружающую среду вещества или энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Для снижения негативного воздействия загрязняющих веществ на биосферу в целом и ее компоненты — атмосферу, литосферу, гидросферу — необходимо знать их предельные уровни.

В соответствии с законодательством Российской Федерации устанавливаются в области охраны окружающей среды нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на нее, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при длительном воздействии не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме человека и неблагоприятных наследственных изменений у потомства, обнаруживаемых современными методами.

Определение ПДК основывается на пороговом принципе действия химических соединений. *Порог вредного действия* — минимальная доза вещества, при превышении которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Введение таким образом нормативов основано на принципе антропоцентризма, т.е. приемлемых для человека условий среды, что является основой санитарно-гигиенического нормирования. Однако человек не самый чувствительный из биологических видов, и нельзя считать, что если защищен человек, то защищены и экосистемы.

Экологическое нормирование предполагает учет допустимой антропогенной нагрузки (ДАН) на экосистему. *Допустимой* считается такая нагрузка, под воздействием которой отклонение от нормального состояния экосистемы не превышает естественных изменений, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведет к ухудшению качества среды.

К настоящему времени известны лишь некоторые попытки ввести такой учет нагрузки для суши и для сообществ водоемов рыбохозяйственного назначения.

Важнейшими законодательными актами являются Федеральные законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999), «Об охране окружающей среды» (2002), «Об экологической экспертизе» (2006). На территории России действуют федеральные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, утвержденные и введенные в действие федеральным органом исполнительной власти.

## 4.2. Загрязнение атмосферы

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей природной среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных. Загрязнение приземной атмосферы — самый мощный, постоянно действующий фактор воздействия на окружающую среду.

загрязняет атмосферу уже Человек тысячелетиями, счет сжигания топлива, масштабы основном 3a однако были последствия незначительными, вплоть ЛΟ девятнадцатого века. Лишь за последние сто лет бурное развитие промышленности привело к таким масштабным производственным процессам. Возникли города с миллионным населением и своими экологическими проблемами. Мощным загрязнителем атмосферы становится транспорт, особенно автомобильный. Его вклад в загрязнение атмосферы в крупных городах достигает 70 – 90 %.

Существует два вида загрязнений атмосферы: естественный и искусственный. Источники этих загрязнений различаются по мощности и высоте выброса, составу загрязнителей и температуре.

К естественным источникам относятся земные процессы, приводящие к образованию вулканической пыли и газов, продуктов выветривания, продуктов сгорания при пожарах, а также органические соединения растительного и животного происхождения, например метан, выделяющийся из болот.

Крупные извержения вулканов приводят к глобальному и долговременному загрязнению атмосферы газами и аэрозолями, о чем свидетельствуют летописи и современные данные. Продолжительность загрязненного состояния атмосферы после крупных вулканических извержений достигает нескольких лет и приводит к некоторому похолоданию.

К искусственным загрязнениям относятся аэрозоли и газы, образующиеся в промышленности и сельском хозяйстве, при работе транспорта, добыче полезных ископаемых.

Наиболее распространенные выбросы промышленности – летучая зола, пыль, оксиды металлов, оксиды серы, азота, углерода, сероводород и другие сложные соединения, техногенные радионуклиды, вирусы и микробы.

Концентрации ряда химических соединений антропогенного происхождения по своим масштабам становятся сопоставимыми с природными и часто даже превышают их.

Наиболее опасны широко распространенные в воздушном бассейне (особенно в городах) диоксин, бенз(а)пирен, фенолы, формальдегид, сероуглерод и тяжелые металлы.

Основной вклад в общее загрязнение воздуха вносят четыре главных загрязнителя: диоксид серы, оксиды азота, оксиды углерода, твердые частицы — аэрозоли. Вклад каждого из них сильно различается в зависимости от сезона, местности. Наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство: ТЭС, металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, химические и цементные заводы.

Атмосферные загрязнители разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом преобразования первичных в результате различных физико-химических реакций между загрязняющими веществами и компонентами атмосферы.

К основным вредным примесям относятся следующие.

- Оксиды углерода, образующиеся при сгорании углеродсодержащих веществ и попадающиеся в атмосферу в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий. Оксид углерода (СО), или угарный газ, является продуктом неполного сгорания. Диоксид углерода (СО<sub>2</sub>), или углекислый газ, является одним из главных парниковых газов.
- Сернистый ангидрид  $(SO_2)$ , выделяющийся в процессе сгорания органического топлива, содержащего серу, или переработки сернистых руд, и серный ангидрид  $(SO_3)$ , образующийся на воздухе при окислении  $SO_2$ . Конечным продуктом

реакции является раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву.

- Сероводород  $(H_2S)$ , поступающий в атмосферу с нефтеперерабатывающих заводов и нефтепромыслов. В атмосфере подвергается медленному окислению до серного ангидрида.
- Оксиды азота (NO<sub>x</sub>), поступающие в атмосферу в основном с предприятий, производящих азотные удобрения.
- Соединения фтора, поступающие в атмосферу в виде газа фтороводорода. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, стекла, фосфорных удобрений.
- Соединения хлора, поступающие в атмосферу от химических предприятий.
- Хлорфторуглероды (ХФУ), проникающие в тропосферу и разрушающие озоновый слой. ХФУ широко используются в качестве хладоагентов, распылителей, растворителей и др.
- Аэрозольное загрязнение атмосферы происходит твердыми или жидкими мелкими частицами (аэрозолями), находящимися во взвешенном состоянии в воздухе. В атмосфере аэрозольные загрязнения присутствуют в виде дыма, тумана, мглы или дымки. Ежегодно в атмосферу Земли поступает около 1 км<sup>3</sup> пылевидных частиц искусственного происхождения.
- При некоторых погодных условиях могут образовываться особо большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей в приземном слое воздуха. Обычно это происходит в тех случаях, когда в слое воздуха непосредственно над источниками газопылевой эмиссии существует инверсия слой более холодного воздуха расположен под более теплым слоем, что препятствует перемешиванию воздушных масс и задерживает перенос примесей вверх. В результате происходит образование ранее неизвестного в природе фотохимического смога, наносящего ущерб здоровью людей.
- Время пребывания газов и аэрозолей в атмосфере колеблется в очень широком диапазоне (от 1-3 мин до нескольких месяцев).

В рамках санитарно-гигиенического нормирования основные критерии вредности атмосферного загрязнения формулируются следующим образом.

- 1. Допустимой может быть признана только такая концентрация или интенсивность воздействующего фактора, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного воздействия, не снижает его работоспособности, не влияет на самочувствие и настроение.
- 2. Привыкание к вредным веществам должно рассматриваться как неблагоприятный момент и являться доказательством недопустимости данного уровня воздействия.
- 3. Недопустимы такие концентрации вредных веществ, которые неблагоприятно влияют на растительность, климат местности и бытовые условия жизни населения.

Для каждого вещества, загрязняющего атмосферный воздух населенных пунктов, установлены два норматива:

- 1) максимальная разовая ПДК за 20 мин измерения (осреднения),  $M\Gamma/M^3$ ;
- 2) среднесуточная ПДК, осредненная за длительный промежуток времени (вплоть до года),  $\text{мг/м}^3$ .

Нормируется также ПДК для рабочей зоны предприятия, а также ПДК для крупных городов и курортов, которая значительно ниже остальных нормативов.

ПДК вредного вещества в атмосфере — максимальная концентрация, отнесенная к определенному периоду времени (20 — 30 мин, 24 ч, месяц, год), которая не оказывает ни прямого, ни вредного косвенного воздействия на человека и санитарногигиенические условия жизни. При длительном воздействии малых концентраций атмосферных загрязнений в организме, прежде всего, развиваются неспецифические изменения со стороны центральной нервной системы, крови, ферментных систем и др.

При действии на организм одновременно нескольких вредных веществ, обладающих суммарным действием, сумма отношений фактических концентраций каждого вещества  $(C_1, C_2, ..., C_i)$  в воздухе к их пороговым значениям (ПДК<sub>1</sub>, ПДК<sub>2</sub>, ..., ПДК<sub>i</sub>) не должна превышать единицы:

$$\sum_{i} \frac{C_{i}}{\Pi \coprod K_{i}} \le 1. \tag{4.1}$$

При такой ситуации характер сочетанного воздействия оценивается как проявление аддитивности, т.е. общий эффект оценивается как независимое суммирование эффектов отдельных загрязнителей.

Обнаружение порогового эффекта при сумме указанных отношений меньше единицы (4.1) свидетельствует об усилении действия одного загрязнителя другим (эффект синергизма). При значениях суммы больших единицы происходит ослабление действия одного загрязнителя другим (эффект антагонизма). Гигиенические нормативы установлены в России примерно для 700 веществ и 40 их комбинаций.

Основываясь в качестве базовых значений на значениях ПДК, оценивают санитарно-гигиеническое и экологическое состояние окружающей среды. Контроль над источниками вредного воздействия и регулирование его функционирования выполняют применением нормативов предельно допустимого выброса (ПДВ) для атмосферного воздуха или предельно допустимого сброса (ПДС) для водных сбросов вредных веществ.

ПДВ определяют по каждому источнику выбросов или сбросов, которых может быть несколько на одном предприятии. При этом должно соблюдаться правило, что выбросы вредных веществ от источника, а при наличии других источников — от их совокупности не создадут приземную концентрацию, превышающую ПДК.

### 4.3. Экологические проблемы в связи с загрязнением почв

Почвенный покров представляет собой важнейший компонент биосферы Земли. Именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере. Важнейшее значение почв состоит в накоплении органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет также функции биологического поглотителя и разрушителя различных видов загрязнения.

Почва обеспечивает человечеству 95-97% продовольственных ресурсов. Площадь земельных ресурсов мира составляет почти  $129\,$  млн  $\,$  км $^2\,$  или  $\,86,5\%\,$  площади суши, а пригодных для ведения сельского хозяйства от  $25\,$  до  $32\,$  млн  $\,$  км $^2\,$ .

Почвенный покров является важнейшим природным биокосным образованием, обладающим рядом свойств, присущих живой и неживой природе. Почва — та среда, где взаимодействует большая часть компонентов биосферы: вода, воздух, живые организмы. Почву можно определить как продукт выветривания, реорганизации и формирования верхних слоев земной коры под влиянием живых организмов, атмосферы и обменных процессов. Для всех почв характерно уменьшение содержания органических веществ и живых организмов от верхних горизонтов вглубь почвы. Плодородие почвы определяется содержанием гумуса, который представляет собой смесь различных органических веществ — остатков разложения отмирающих организмов.

Хозяйственная деятельность человека в настоящее время становится доминирующим фактором в разрушении почв, снижении и повышении их плодородия. Под влиянием человека меняются параметры и факторы почвообразования — рельеф, микроклимат, создаются водохранилища, проводится мелиорация. В разрушении почв и снижении их плодородия выделяют следующие процессы.

Аридизация суши — уменьшение влажности обширных территорий и вызванное этим сокращение биологической продуктивности экологических систем под действием примитивного земледелия и нерационального использования пастбищ, в результате чего почвы превращаются в пустыни.

Эрозия почв — разрушение почв под действием ветра, воды, техники и ирригации. Наиболее опасна водная эрозия — смыв почвы талыми, дождевыми и ливневыми водами. Ветровой эрозии способствует уничтожение растительности на территориях с недостаточной влажностью, сильными ветрами, непрерывным выпасом скота. Техническая эрозия связана с разрушением почвы под воздействием транспорта, землеройных машин и техники.

Ирригационная эрозия развивается в результате нарушения правил полива при орошаемом земледелии. Засоление почв в основном связано с этими нарушениями. За последние десятилетия 50 млн га стали непригодны для любого вида сельскохозяйственных культур по причине засоления, из них не менее 50% площади орошаемых земель. Считается, что одной из причин падения богатейшей Римской империи было засоление и опустынивание ранее богатых пахотных земель.

На Земле сейчас около 11,4 млрд га продуктивной площади суши и моря или по 1,9 гектара на каждого из 6 млрд людей. При этом каждый человек потребляет ресурсов, в среднем эквивалентных 2,3 га. Притом, что среднее потребление в странах Африки и Азии снижено до 1,4 га на человека, в Западной Европе составило 5 га, а в Северной Америке – 9,6 га на человека.

Особое место занимают пахотные угодья, т.е. земли, обеспечивающие питание человека. Пахотные земли неуклонно сокращаются в результате нарушения и деградации почвенного покрова, отвода земель под застройку городов, поселков и промышленных предприятий.

Процессы почвообразования протекают очень медленно, со скоростью примерно  $0,1\,$  мм в год. Глубина почвенного покрова невелика: в среднем от  $20\,$  см в тундре до  $100\,$  см в черноземах. Естественное плодородие формируется очень длительное время, а его уничтожение может происходить всего за  $5-10\,$  лет. Поэтому почвы можно считать невозобновляемым ресурсом и должны рассматриваться как мировая ценность, которую необходимо охранять.

При бесконтрольном использовании орошаемых земель огромные площади превращаются в бесплодные пустыни. В связи с этим около 30% площади Земли находится под угрозой опустынивания. Ежегодные потери земель в связи с опустыниванием составляют около 50 тыс. км² с ущербом в 40 млрд дол.

Интенсивное развитие промышленного производства приводит к росту промышленных отходов, которые в совокупности с бытовыми отходами существенно влияют на химический состав почвы, приводят к изменению содержания микроэлементов и возникновению техногенных пустынь.

Почвы вокруг больших городов и крупных предприятий загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими токсичными веществами, оседающими или вымываемыми осадками из атмосферы. Повышенное содержание свинца в почве происходит за счет выхлопных газов автомобилей; пестициды, фунгициды и инсектициды представляют угрозу для птиц, животных и для людей.

Негативное влияние оказывает вырубка леса, поскольку уничтожается лесной покров, предохраняющий почву от эрозии и

удерживающий почвенную влагу. Кроме того, леса эффективно усваивают элементы питания, освобожденные при разложении детрита.

Воздействие интенсивного земледелия на природную среду проявляется также в уничтожении природной растительности и местообитаний диких животных. Происходят изменения радиационного и водного баланса, гидрологического режима территорий, а также загрязнение поверхностных и грунтовых вод и океана усиленным стоком с сельскохозяйственных территорий.

Почвы настолько разнообразны, что не существует даже их единой классификации. Поэтому нормирование загрязнений почв является очень сложной задачей. Основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почвы вредными веществами является предельно допустимая концентрация химических веществ в почве.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в пахотном слое почвы — концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на контактирующие среды (воду, воздух), и на здоровье человека, а также на способность почвы к самоочишению.

Нормативные значения ПДК разработаны для веществ, которые могут попасть в атмосферный воздух или грунтовые воды, снижать урожайность или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции.

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов проводится по разработанным показателям, которыми являются коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ .

Коэффициент концентрации  $K_c$  определяется как отношение реального содержания элемента в почве C к фоновому значению  $C_b$ .

Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими веществами, то для них рассчитывают суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , отражающий суммарный эффект воздействия:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_{ci} , (4.2)$$

где  $K_{ci}$  — коэффициент концентрации i-го вещества в пробе из n учитываемых веществ.

Оценка опасности загрязнения почв группой веществ по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв (табл. 4.1).

Таблица 4.1 Оценочная шкала загрязнения почв

Категория загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения				
Допустимая	До 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений				
Умеренно опасная	16 – 32	Увеличение общего уровня заболеваемости				
Опасная	32 – 128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей; детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечнососудистой системы				
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детей; нарушение репродуктивной функции женщин				

#### 4.4. Проблема бытовых отходов

Проблема бытовых отходов стара как мир. В древние времена, когда население было немногочисленным, а человек вел натуральное хозяйство, природа была в состоянии справляться с отходами. В средние века в связи с ростом городов, развитием ремесел и торговли проблема отходов уже стала значимой, особенно для городских жителей. Средневековые города утопали в грязи и нечистотах, отсутствие канализации приводило к тому, что в жаркое

время года отбросы разлагались и, попадая в почву и водоемы, становились источниками тяжелых болезней и зачастую таких эпидемий, как чума, холера.

В XIII–XIV вв. в Англии, а затем во Франции появились первые законы, обязывающие содержать дом и улицу перед ним в чистоте. Появились профессии мусорщика и специальные повозки. Однако проблема бытовых отходов со временем приобретала все большую остроту, так как горожане не выполняли предписания, а городские власти не контролировали этот процесс.

Уже к концу XIX в. в крупных городах вошло в практику применение фильтрации для очистки сточных вод, сжигание отходов, контролируемое размещение отходов на свалках и закапывание отходов. В середине XX в. проблема отходов признана одной из наиболее серьезных, требующих применения сложных технологий.

В настоящее время в развитых странах производится от 1 до 3 кг бытовых отходов на душу населения в день. По данным Американского агентства по защите окружающей среды общий годовой объем твердых бытовых отходов (ТБО) в США за период 1960-2005 гг. вырос почти в 3 раза и составил около 250 млн т. На сегодняшний день большую часть ТБО составляет тара и упаковка.

В России ежегодно накапливается примерно 130 млн т ТБО, из них промышленной переработке подвергается только 3,5% отходов, остальные размещаются на свалках. На территории страны в отвалах и хранилищах накоплено около 80 млрд т только ТБО.

На полигоны под размещение отходов в России ежегодно отчуждается примерно 10 тыс. га земель. Дефицит свободных земель приводит к тому, что свалки удаляются от города на 50–100 км, что приводит к удорожанию перевозки отходов.

Свалки являются источником загрязнения окружающей среды: атмосферы, почвы, поверхностных и подземных вод, однако часто они просто засыпаются слоем земли и используются затем для строительства и других нужд.

Хранение и переработка отходов приводит к загрязнению природных сред самыми разнообразными соединениями (табл. 4.2), находящимися в различных агрегатных состояниях.

ТБО современного города содержат более 100 различных токсичных и канцерогенных соединений, среди них красители,

растворители, пестициды, соединения ртути, свинца, кадмия, мышьяка, лекарственные препараты и др.

Таблица 4.2 Отходы как один из источников загрязнения природной среды

Природная	Источник и вид	Токсичные компоненты				
среда	загрязнения					
Воздух	Сжигание мусора –	Кадмий, ртуть, свинец,				
	дымы, аэрозоли, пыль	диоксины, оксид углерода,				
		оксид азота и др.				
	Полигоны	Метан, металлы, летучие				
	захоронения отходов	органические вещества				
Вода	Полигоны	Нитраты, аммоний, кадмий,				
	захоронения отходов	микроорганизмы				
	Стоки станций	Органические вещества,				
	водоочистки	фосфаты, нитраты и др.				
Почва	Илистые отходы	Аммоний, металлы (в том				
	станций водоочистки	числе токсичные)				
	Металлический лом	Металлы (в том числе				
		токсичные)				
	Аэрозоли	Диоксины, хлорпроизводные органических веществ				
	мусоросжигательных					
	заводов					
	0	D				
	Открытое складирова-	Разнообразные вещества (в				
	ние бытовых и про-	том числе токсичные)				
	мышленных отходов					
	Полигоны	Нитраты, аммоний, кадмий,				
		хлорорганические вещества,				
	захоронения отходов	микроорганизмы				
		микроорі апизмы				

Проблема отходов является более сложной, чем просто нехватка площадей для новых свалок. Закапывая отходы в землю или сбрасывая их в море, мы перекладываем наши проблемы на плечи будущим поколениям.

Примерное время жизни различных отходов в окружающей среде может варьировать от нескольких месяцев до тысяч лет в зависимости от состава отходов, типа почв, климата и др.

Традиционные методы управления отходами ориентировались на уменьшение опасного влияния на окружающую среду путем изоляции свалок от воздействия на грунтовые воды, очистку выбросов мусоросжигательных заводов. Иной взгляд на проблему ориентирован на то, что гораздо проще контролировать то, что попадает на свалку, а не со свалки в окружающую среду. Что касается жидких стоков, их прямой сброс в природные водоемы запрещен без очистки до предельно допустимых уровней, при этом вредные вещества из водной среды фактически переходят в категорию твердых отходов.

Управление или обращение с отходами включает организацию сбора отходов, их утилизацию (включая переработку, извлечение энергии, захоронение остатков), а также меры по уменьшению количества отходов и их вторичному использованию.

При правильно разработанной и осуществляемой системе утилизации отходов уменьшается ущерб, наносимый окружающей среде, сохраняются ресурсы, и производится энергия. Промышленные отходы, как правило, менее разнообразны по составу, более четко классифицируются и контролируются. Очевидно, что полностью свести отходы к нулю невозможно, но значительно уменьшить их количество и объем человечеству по силам.

Для осуществления качественного управления отходами необходимо выполнить ряд условий в порядке приоритета.

- 1. Использовать все возможности для предотвращения образования отходов.
  - 2. Вторично использовать все полезные фракции отходов.
- 3. Сжигать с соблюдением мер экологической безопасности все горючие неутилизируемые фракции отходов.
- 4. Проводить экологически безопасное захоронение остатков, шлаков и других неутилизируемых продуктов их переработки.
  - 5. Развивать рынок вторичных ресурсов.
- 6. Осуществлять жесткий контроль за нелегальным захоронением отходов.

7. Осуществлять принцип «загрязнитель платит». На утилизации отходов можно зарабатывать, а также извлекать из них вторичное сырье, перерабатывая и продавая его. Некоторые крупные свалки в США имеют обороты в сотни тысяч долларов в день.

Для твердых бытовых отходов экономически наиболее привлекательным могла бы быть сортировка смешанного мусора, в том числе на автоматизированных сортировочных комплексах, с последующим возвращением значительной части составляющих в производство. Этот чрезвычайно трудоемкий процесс позволяет отсортировать только около 30% мусора.

Однако при исходном разделении мусора в местах его образования можно отобрать до 80% полезного продукта. Но уровень отбора (сортировки) в значительной степени зависит от общей культуры и дисциплинированности населения. В разных странах доля повторного использования отходов колеблется от 20 (Япония) до 32% (США).

Можно предположить, что в ближайшее время роль мусорных свалок не уменьшится. В этой связи такой технологический подход к обезвреживанию отходов как санитарная земляная засыпка, позволяющая получение биогаза, будет весьма актуальным, хотя для этого требуется несколько лет после создания свалки и достаточно большой объем мусора.

Сжигание не может рассматриваться, как и экологически безопасный, экономически оправданный или ресурсосберегающий процесс, поскольку многие органические вещества, которые могли бы быть использованы, сжигаются с дополнительными затратами энергии. К тому же существующие мусоросжигательные установки образуют вторичные чрезвычайно токсичные отходы, выделяемые в окружающую среду с дымовыми газами. К подобным веществам относятся диоксины — крайне устойчивые хлорорганические соединения, входящие в группу из 12 наиболее опасных веществ.

В шлаках и золе после сжигания содержание тяжелых металлов, как правило, на 2-3 порядка выше, чем в сжигаемых отходах, поэтому использовать его для утилизации или захоронения без дополнительной переработки нельзя.

Наиболее полная деструкция продуктов, содержащихся в мусоре, осуществляется в процессе высокотемпературного пиролиза

или газификации при температуре 1650-1930 °C. В последнее время начала развиваться технология переработки отходов на основе низкотемпературной плазмы (2000-9000 °C). Недостатками методов является их высокая стоимость.

Таким образом, проблема загрязнения городов отходами своей жизнедеятельности и ее решение оказалась чрезвычайно сложной научно-технической и социально-экономической задачей.

### 4.5. Загрязнение водной среды

Согласно определению Всемирной организации здравоохранения, воду следует считать загрязненной, если в результате изменения ее состава или состояния она становится менее пригодной для любых видов водопользования, в то время как в природном состоянии она соответствовала предъявляемым требованиям. Это определение включает физические, химические и биологические свойства воды, а также наличие в ней посторонних жидких, газообразных, твердых и растворенных примесей.

Россия обладает одним из самых высоких водных ресурсов в мире: на каждого жителя приходится свыше 30 тыс. м<sup>3</sup>/год пресной воды. Снабжение питьевой водой становится для России одной из проблем. наиболее острых экологических России либо загрязнены, водоемов поверхностных В непригодны для использования в качестве источников питьевой воды, в результате чего почти половина населения потребляет загрязненную воду. Даже такая жемчужина природы как озеро Байкал, входящее в список ЮНЕСКО охраняемых природных объектов, подверглась загрязнению. Только за последние 20 лет было загрязнено более 100 км<sup>3</sup> байкальской воды.

загрязнения Основными источниками поверхностных является регулярный сброс бассейнов водных В водоемы или недостаточно очищенных неочищенных сточных промышленными предприятиями, коммунальным И сельским хозяйством, а также с поверхностным дренажным стоком с сельскохозяйственных угодий. Последний источник наиболее значимым в связи с ростом применения удобрений, пестицидов, строительством ирригационных сооружений, в то время как промышленные и коммунальные стоки все более эффективно очищаются и более тщательно контролируются.

Загрязнению, как правило, подвергаются поверхностные воды. Подземные воды более чистые, поскольку почва является хорошим биологическим и химическим фильтром.

Установлено, что более 400 типов веществ могут вызвать загрязнение вод. Вода считается загрязненной, если хотя бы по одному из трех показателей: санитарно-токсикологическому, общесанитарному или органолептическому (запах, привкус, цветность, мутность) превышены допустимые нормы.

Среди многих загрязняющих веществ, поступающих в Мировой океан, наибольшую потенциальную угрозу несут те соединения, которые имеют глобальное химические непрерывный характер распространение, поступления выраженный отрицательный эффект воздействия организмы.

Сегодня почти во всех районах Мирового океана можно обнаружить наиболее массовые вещества, загрязняющие морскую среду, — нефть и нефтепродукты, образующиеся как в результате аварий танкеров, так и при бурении нефтяных скважин. Опасность нефтяного загрязнения в том, что на поверхности воды образуется тонкая нефтяная гидрофобная пленка, препятствующая свободному газообмену с атмосферой, и все живые организмы, оказавшиеся под этой пленкой, задыхаются. Известно, что даже кратковременное воздействие нефти на птиц и рыб опасно. В местах разлива нефти наблюдается массовая гибель морских обитателей.

Нефть, попавшая в водную среду, подвергается микробиологическому распаду, но он протекает очень медленно, так что нефть в течение месяцев находится на поверхности воды. За это время ее легколетучие компоненты испаряются, а оставшиеся подвергаются медленному окислению.

Крупнейшая из известных в истории экологических катастроф произошла у берегов Великобритании с супертанкером «Тори Каньон» в 1967 г., ее результатом явился разлив в море 120 тыс. т сырой нефти. Другая катастрофа произошла у берегов Аляски в 1990 г., в результате нефтяное пятно растянулось на 2000 км вдоль побережья и привело к гибели более 500 тыс. птиц. Нефтяное

загрязнение Мирового океана оценивается от 3 до 15 млн т в год, причем значительная часть его выносится реками.

Океан до сих пор рассматривается как даровая свалка отходов — антропогенный сток уже стал гораздо больше природного. Так по свинцу и по нефти его доля составляет 90%, по ртути — 70%. Скорости поступления загрязняющих веществ в Мировой океан в последнее время резко возросли. Ежегодно в океан сбрасывается до  $300\,$  млрд  $\,$  м $^3\,$  сточных вод,  $90\%\,$  которых не подвергается предварительной очистке.

Морские экосистемы подвергаются все большему антропогенному воздействию химических токсикантов, которые, накапливаясь гидробионтами по пищевой цепи, приводят к неблагоприятным последствиям для здоровья человека.

К основным процессам в морских экосистемах, ведущим к экологическим последствиям, относятся:

- эвтрофикация;
- появление «красных приливов»;
- накопление химических токсикантов в биоте;
- снижение биологической продуктивности;
- микробиологическое загрязнение воды прибрежных районов моря.

Эвтрофикация — избыточная концентрация в воде питательных минеральных веществ, необходимых для роста водных растений. Их нехватка обычно ограничивает рост одноклеточных водорослей (фитопланктона), населяющих поверхностную толщу вод и являющихся пищей для зоопланктона.

Помимо процесса эвтрофикации прибрежных вод, неочищенные стоки выносят в море токсичные для морских организмов синтетические моющие средства, часто покрытые густыми шапками разноцветной пены.

Название «красные приливы» происходит от цвета воды, вызванной стремительным размножением одноклеточных водорослей, содержащих опасные нейротоксины, которые по пищевым цепочкам могут попасть в организм человека. Цветение охватывает, как правило, наиболее продуктивные области океана, используемые для промысла рыб. Часто «красные приливы»

наблюдаются у берегов Восточного Китая, Индонезии, Японии, и иногда по нескольку раз в год.

К числу важнейших факторов, обусловливающих загрязнение воды, относятся тяжелые металлы. Наибольшее загрязнение океана металлами наблюдается в прибрежных водах и внутренних морях как результат речных выносов, промышленных и бытовых стоков. Кроме того, некоторые металлы, прежде всего ртуть, свинец, кадмий, переносятся с атмосферными потоками и попадают в морскую среду. Глобальный характер переноса некоторых металлов подтверждается фактом выявления ртути даже в Гренландских льдах.

Поступая в морскую среду, ртуть соединяется с твердыми неорганическими и органическими частицами и оседает на дно. В донных отложениях ртуть под воздействием некоторых микроорганизмов переходит в высокотоксичные и достаточно устойчивые химические формы, которые активно накапливаются в рыбах, моллюсках, их концентрация в рыбах в тысячи раз превышает содержание в воде.

Сильнейшее отравление ртутью произошло в Японии в результате потребления рыбы. Катастрофа случилась в городе Минамата на химическом заводе в результате стока содержащего ртуть, которая попала в реку, а из нее в бухту моря. Рыба, накопившая ртуть в огромных количествах, была уже не в состоянии нормально плавать и поэтому становилась легкой добычей жителей. Только после смерти двух сотен людей и тысячи людей заболевших было установлено, что «болезнь Минамата» является ртутным отравлением.

Источниками загрязнения водных объектов могут быть хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, смывы удобрений с полей и с территорий предприятий транспорта.

Бактериальное заражение воды патогенными организмами может быть либо результатом природных процессов в связи с теми или иными особенностями природного комплекса, либо результатом действий человека, особенно в связи со сбросом коммунальных или животноводческих отходов.

При непосредственном контакте человека с загрязненной водой различные бактерии могут проникнуть через кожу и вызвать тяжелые заболевания, а при ее употреблении спровоцировать

эпидемические заболевания как холера, дизентерия и другие кишечные инфекции. Холерный вибрион интенсивно размножается при высокой температуре в прудах и озерах, богатых органическими вешествами и солями.

В России за основу приняты «естественные» нормативы качества воды, базирующиеся на биологической оценке степени вредоносности нормируемого вещества как при разработке санитарно-гигиенических норм, так рыбохозяйственных И нормативов. Такие биологические нормативы дают возможность оценивать реальное состояние водных экосистем и применять эффективные методы ликвидации загрязнений. По времени действия загрязнение водоемов может быть постоянным, периодическим и разовым.

Общесанитарные показатели включают в себя изменение трофности водоемов, снижение концентрации растворенного кислорода, изменение солености и температуры среды, механическое загрязнение твердыми и жидкими веществами.

Одним из важнейших параметров является количество растворенного в воде кислорода, концентрация которого обычно составляет от 8 до 15 мг/л, а значение 3 мг/л является минимально необходимым для существования популяции рыб. Этот показатель уменьшается с ростом температуры воды, а также с повышением концентрации загрязнителей.

Токсикологические показатели отражают прямое токсическое действие веществ на водные организмы.

Хозяйственные показатели оценивают порчу товарного качества промысловых водных организмов.

Для загрязняющих веществ, поступающих в водную среду, существует две группы нормативов.

- 1. Нормативы содержания, при которых охраняемые свойства водоема не нарушаются предельно допустимая концентрация (ПДК).
- 2. Нормативы поступления загрязняющих веществ, при которых сохраняются охраняемые данным нормативом свойства водоемов предельно допустимый сброс (ПДС).

Значения ПДК устанавливаются по наименьшей пороговой концентрации с учетом стойкости вредных веществ в воде,

способности водоемов к самоочищению, влияния на органолептические свойства воды, а также влияния на здоровье населения, использующего воду. Данные показатели относятся к санитарно-гигиеническим.

Существует еще один вид ПДК, отражающий не только указанные требования к качеству воды, но и экологические – ПДК рыбохозяйственных Рыбохозяйственная ПДК водоемов. максимальная концентрация загрязняющего вещества, при наличии которой водоеме не наблюдается постоянном В отрицательных последствий его рыбохозяйственного ДЛЯ использования.

Следует учитывать, что загрязняющие вещества в водоемах не всегда присутствуют постоянно. В этом случае используют значения предельно допустимых разовых концентраций — максимальная первоначально созданная в водоеме концентрация однократно попадающего туда вещества, при которой это вещество и вредные продукты его распада не вызывают отрицательных последствий для рыбохозяйственного использования водоема.

Рыбохозяйственное нормирование включает в себя оценки влияния вещества на гидрохимический режим водоема: концентрация растворенного в воде кислорода, окисляемость, биологическое потребление кислорода за 5 и 20 сут (БПК $_5$  и БПК $_{20}$ ) и др.

Важнейшим показателем ПО микробиологическим является величина БПК паразитологическим свойствам воды потребность необходимом биологическая В кислороде, примесей, микроорганизмам ДЛЯ разложения определяющая количество бактерий в объеме воды.

Часто используется величина  $БПК_5$  — общее количество кислорода, потребляемое микроорганизмами за первые пять суток разложения при температуре 20 °C. По санитарным нормам значение этой величины для природных водоемов не должно превышать 3—6 мг/л, в сточных водах значение составляет уже от 200 до 3000 мг/л, и поэтому такие воды необходимо очищать или сильно разбавлять.

В табл. 4.3 приведена часть требований к качеству питьевой воды и водоснабжение населенных мест, взятые из санитарных правил, устанавливающих критерии безопасности для человека

факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности, по наличию органических и неорганических веществ.

Другим нормируемым показателем, используемым для охраны водной среды от загрязнения, является предельно допустимый сброс (ПДС). ПДС – 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 пункте.

Значения ПДК для питьевой воды

Таблица 4.3

Вещество	ПДК,			
	мг/л			
Нефтепродукты	0,1			
Алюминий	0,5			
Бериллий	0,0002			
Железо	0,3			
Кадмий	0,001			
Медь	1,0			
Мышьяк	0,05			
Нитраты	45			
Нитриты	3,0			
Ртуть	0,0005			
Свинец	0,03			
Хлориды	350			

ПДС разрабатывается и утверждается для предприятий и организаций, имеющих самостоятельные выпуски сточных вод в водные объекты, прежде всего в зонах повышенного загрязнения в целях соблюдения ПДК в контрольных створах водопользования.

# 4.6. Экологический мониторинг. Проблема нормы и патологии состояния природной среды

Центральная методологическая проблема экологического нормирования — вопрос о норме экосистем и критериях

нормальности. Можно выделить два основных понимания нормы — статистическое (оценка тенденции изменения доминирующего показателя за некоторый период времени) и функциональное (выполнение системой определенных функций). Принятая в настоящее время позиция — антропоцентризм, при котором область состояний экосистемы, удовлетворяющих существующие представления человека о высоком качестве среды обитания.

Норма детерминирована конкретным регионом и временем. Однако это не означает, что формулирование критериев нормальности произвольно. Только эксперты-экологи могут задавать критерии качества, поскольку они обладают знанием о закономерностях функционирования и устойчивости экосистем.

Объектами экологического нормирования могут быть и вся биосфера, и небольшой участок леса, и территория города, и среда обитания человека в узком смысле (жилище, производственные помещения).

Внешняя по отношению к объекту нормирования среда представляется как совокупность агентов воздействия на объект, например промышленные выбросы, глобальные атмосферные выпадения, транспортные средства, приводящие к механическим нарушениям почвы или растительного покрова, люди (охотники и собиратели), изымающие определенную долю популяций охотничьих животных или лекарственных растений.

Любое изменение внешней среды, которое осуществляет субъект управления (преднамеренно или непреднамеренно) и которое приводит к изменению состояния объекта нормирования, носит название управляющего воздействия.

Нормальное состояние объекта нормирования — часть области пространства возможных состояний, в пределах которой реализуется удовлетворительное качество объекта. Когда это не достигается, имеет место патологическое состояние объекта.

Под экологической нагрузкой понимается изменение внешней среды, приводящее к ухудшению качества объекта.

Экологическое нормирование — нахождение граничных значений экологических нагрузок для того, чтобы можно было установить ограничения для управляющих воздействий на объект нормирования и достигнуть целей нормирования.

Основой экологического нормирования является допустимая антропогенная нагрузка (ДАН) — максимальная нагрузка, которая не вызывает ухудшения качества объекта нормирования.

Таким образом, экологическое нормирование является частным случаем регулирования управляющих воздействий, касающихся только определенного класса воздействий, которые могут снизить качество объекта. Другой случай регуляции управляющих воздействий – оптимизация, цель которой улучшить качество объекта управления.

Нормировать можно только индуцируемые субъектом управления изменения внешней среды, а естественно обусловленные изменения внешней среды нормировать бессмысленно.

В общем виде решение задачи нахождения экологических нормативов можно представить в виде системы двух уравнений:

$$\begin{cases}
Z = f_1(X); \\
Z = f_2(Y),
\end{cases}$$
(4.3)

где Z — качество экосистемы; X, Y — наборы параметров, описывающих состояние и нагрузки на экосистемы соответственно;  $f_1$  — функция, описывающая связь качества экосистемы с ее состоянием;  $f_2$  — функция, связывающая нагрузки и состояние экосистемы.

Следует обратить внимание на то, что качество экосистемы — одномерная величина с небольшим (от 3 до 7) числом градаций на шкале «хорошо — плохо», тогда как состояние экосистемы и нагрузки на нее описываются существенно многомерным (до 1000) набором переменных.

Установить величину ДАН — значит найти такой набор нагрузок, при котором сохраняется определенное фиксированное значение оценки качества экосистемы Z («хорошее» или «удовлетворительное»).

Государственная экологическая экспертиза является обязательной мерой охраны окружающей среды и направлена на реализацию конституционного права граждан России на благоприятную окружающую среду посредством предупреждения

негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду.

Экологическая экспертиза — установление соответствия документов, обосновывающих намечаемую хозяйственную и иную деятельность, экологическим требованиям, установленным техническими регламентами и законодательством в области охраны окружающей среды, в целях предотвращения негативного воздействия такой деятельности на окружающую среду.

Экологическая экспертиза основывается на следующих 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;
- независимости экспертов экологической экспертизы при осуществлении ими своих полномочий в области экологической экспертизы;
- гласности, участия общественных организаций, учета общественного мнения.

Оценка воздействия на окружающую среду (OBOC) — вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления.

В отличие от экологической экспертизы ОВОС – процедура учета экологических требований на стадии проектирования. ОВОС является процессом исследования воздействия проектируемой деятельности и прогноза его последствий для окружающей среды и здоровья человека.

ОВОС разрабатывается, как правило, в рамках проекта, и состоит из совокупности оценок по видам объектов воздействия (атмосфера, воды, почвы, биота, человека), сводимых к итоговой интегральной оценке.

#### Контрольные вопросы

- 1. Считаете ли Вы, что возможности почв по обеспечению населения Земли продуктами питания исчерпаны?
- 2. Сможет ли сельское хозяйство прокормить 10 млрд человек?
- 3. Какую роль могут сыграть генетически модифицированные культуры в обеспечении продовольствием?
  - 4. Назовите основные виды загрязнений водной среды.
  - 5. Что такое мониторинг окружающей среды?
- 6. Чем отличается экологическое нормирование от санитарно-гигиенического?
- 7. Возможно ли создание земной техносферы, управляемой человеком?
  - 8. Чем отличается ОВОС от экологической экспертизы?
- 9. Назовите примеры проектов, которые не прошли экологическую экспертизу.
- 10. Какие экологические факторы принимаются во внимание при составлении ОВОС?

#### ГЛАВА 5

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

# **5.1.** Экологический прогноз и моделирование (классификация моделей)

В современной экологии математическое моделирование играет важную роль. Математические модели - это язык, на котором формулируются наши представления о явлениях в живой и неживой природе, в изучении и моделировании живых систем, которые по своей природе являются открытыми для потоков вещества и энергии. С помощью математической модели можно и обобщать представление формализовать свойствах 0 системы. Использование характеристиках сложной является полезным и плодотворным методическим приемом в экологии и природопользовании.

Фундамент математической экологии – математическая теория динамики популяции.

Хорошо известны модели роста популяций, которые основаны на предположении пропорциональности скорости роста численности популяции. Впервые такое поведение популяции было описано Томасом Мальтусом (1798 г.) в виде закона о неограниченном экспоненциальном росте:

$$N = N_0 \cdot e^{r \cdot t}, \tag{5.1}$$

где  $N_0$  — начальная численность популяции; r — коэффициент скорость роста, часто выражается в процентах за год.

Для большинства популяций существуют ограничивающие факторы, при которых рост прекращается. Единственным исключением является человеческая популяция, которая на протяжении исторического времени растет даже быстрее, чем по экспоненте.

Закон роста населения планеты до середины XX в. хорошо описывался гиперболой, являющейся решением уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{1}{C} \cdot N^2, \tag{5.2}$$

в котором скорость роста населения Земли пропорциональна квадрату его численности, а C — определяющий коэффициент. Решением уравнения (5.2) является зависимость, определяющая гиперболический рост населения:

$$N(t) = \frac{C}{t_0 - t},\tag{5.3}$$

где  $t_0$  — момент времени, когда население мира стало бы бесконечным, если бы продолжило расти и далее. В данной модели обычно полагают  $t_0$  = 2025 год, а  $C = 2 \cdot 10^{11}$ .

Эта формула хорошо согласуется с данными демографии и описывает рост населения в течение приблизительно нескольких десятков тысяч лет. Тем не менее область ее применимости принципиально ограничена как в будущем, так и в прошлом.

Одной из причин ограничения роста может быть недостаток пищи. Базовой моделью, описывающей ограниченный рост, является модель Ферхюльста (1848 г.).

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \left(1 - \frac{N}{K}\right),\tag{5.4}$$

где N — размер популяции, а K — максимально возможная в данных условиях численность популяции (потенциальная емкость экологической системы).

Наличие определенной емкости среды, ограничивающей рост популяции, является важной экологической закономерностью. Множитель (1-N/K) часто называют *сопротивлением окружающей среды*. Решение уравнения (5.4) имеет вид:

$$N = \frac{K}{1 + e^{-r(t - t^*)}},\tag{5.5}$$

где  $t^* = \frac{1}{r} \ln \left( \frac{K}{N_0} - 1 \right)$  соответствует моменту времени, когда

численность популяции достигнет величины N=K/2.

Зависимость численности популяции от времени (5.5) в естественных условиях описывается *S*-образной логистической кривой, показанной на рис. 5.1. Кривая роста предполагает плавный переход от экспоненциального роста популяции к стационарной фазе.

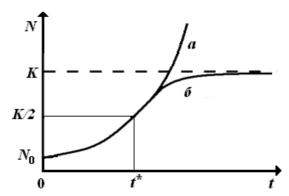


Рис. 5.1. Кривые роста популяции: a – экспонента;  $\delta$  – логистическая кривая

Использование рассмотренных законов для моделирования взаимодействий между двумя видами было предложено в работе В. Вольтерра, в частности для системы «хищник - жертва» при различных допущениях.

1. Число особей жертвы  $N_1$  растет со скоростью  $r_1$ , а убыль со скоростью, пропорциональной числу их встреч с хищником  $N_2$ . Наоборот, популяция хищника увеличивается за счет этих встреч, а убыль происходит только в результате естественной смерти. Тогда:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 \cdot N_1 - p_1 \cdot N_1 \cdot N_2; \\ \frac{dN_2}{dt} = p_2 \cdot p_1 \cdot N_1 \cdot N_2 - d_2 \cdot N_2, \end{cases}$$

$$(5.6)$$

где  $\,p_1^{}$ , - коэффициент хищничества  $\,p_2^{}$  - рождаемость хищников за счет съеденных ими жертв;  $\,d_2^{}$  - коэффициент смертности хищника.

Из решения (5.6) вытекает, что система «хищник - жертва» совершает периодические колебания вокруг положения равновесия, а средняя численность популяций за период колебаний равна их равновесному значению.

2. Более реальный случай, когда жертва и хищник ограничены допустимыми размерами  $K_1$  и  $K_2$ . Тогда каждое уравнение приобретает логистическую зависимость:

$$\begin{cases} \frac{dN_{1}}{dt} = r_{1} \cdot N_{1} \cdot \left(1 - \frac{N_{1}}{K_{1}}\right) - p_{1} \cdot N_{1} \cdot N_{2}; \\ \frac{dN_{2}}{dt} = p_{2} \cdot p_{1} \cdot N_{1} \cdot N_{2} \cdot \left(1 - \frac{N_{2}}{K_{2}}\right) - d_{2} \cdot N_{2}. \end{cases}$$
(5.7)

3. Если учесть предельное число жертв, которые хищник в состоянии потребить, и за счет этого сокращение гибели жертвы, то этот предел приблизится к фактору насыщения  ${\it C}$ , тогда:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 \cdot N_1 \cdot \left(1 - \frac{N_1}{K_1}\right) - p_1 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot C; \\ \frac{dN_2}{dt} = p_2 \cdot p_1 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot C - d_2 \cdot N_2. \end{cases}$$
(5.8)

Система (5.8) описывает взаимодействия, которые в большинстве случаев будут иметь устойчивую точку равновесия или колебаться в устойчивом предельном цикле в зависимости от величины входящих коэффициентов. Изменение системы по сравнению с рассмотренной моделью будет приводить либо к возникновению устойчивых состояний, либо к ее дестабилизации.

Т. Мальтус противопоставлял модным в начале XIX в. оптимистическим идеям гуманистов, предсказывающих человечеству грядущее счастье и процветание. Он стал первым ученым, который на основании результатов моделирования предупреждал человечество об опасности, связанной с противоречием быстрого роста населения планеты и недостатком продуктов питания.

Во второй половине XX в. такую же роль сыграли работы Римского клуба и, в первую очередь, «модель глобального роста» Дж. Форрестера.

При построении модели экосистем применяют методы общесистемного анализа. В первую очередь это — выделение таких отдельных структурных элементов, как живые и косные компоненты, затем среди живых — трофические уровни, виды, возрастные группы и другие, взаимодействие которых и будет определять поведение всей системы.

Любая экосистема состоит из нелинейно взаимодействующих подсистем, которые можно упорядочить в некоторую иерархическую структуру. По мере объединения компонентов в более крупные функциональные единицы у них возникают новые свойства, отсутствующие у составляющих его компонентов.

Особенно быстро развивается направление имитационного моделирования, позволяющее воспроизводить поведение сложных систем, исходя из представлений о свойствах и законах взаимодействия их элементов.

Современные математические модели в экологии можно разбить на три класса. Первый — описательные модели, не претендующие на раскрытие механизма описываемого процесса. Второй — модели качественные, которые способны воспроизвести наблюдаемых динамические эффекты в поведении систем. Третий класс — имитационные модели конкретных экологических систем, учитывающие всю имеющуюся информацию об объекте. Работа с имитационной моделью требует знания величин параметров модели, которые могут быть оценены только из наблюдения и эксперимента.

*Цель построения таких моделей* (детерминированных или вероятностных) — детальное прогнозирование поведения сложных систем. Чем лучше изучена сложная экологическая система, тем более полно может быть обоснована математическая модель.

Особое значение имеют математические модели, в которых рассматриваются глобальные изменения биоты в результате различного рода антропогенных воздействий или изменения климата в результате космических или геофизических причин. Модели мира — математическое моделирование будущего развития

человечества, его взаимоотношения с природными ресурсами и биосферой в целом.

Результатом работы, выполненной Римским клубом, стала построенная на основе идей Дж. Форрестера компьютерная модель World3, описанная в работе Д. Медоуза. В модели Земля была рассмотрена как единая система, в которой происходят процессы, связанные с ростом населения, индустриализации, продуктов питания, потребления ресурсов и загрязнения окружающей среды.

Результаты моделирования привели к печальному выводу (рис. 5.2), что при существующих тенденциях пределы роста на нашей планете будут достигнуты в течение ближайшего времени.

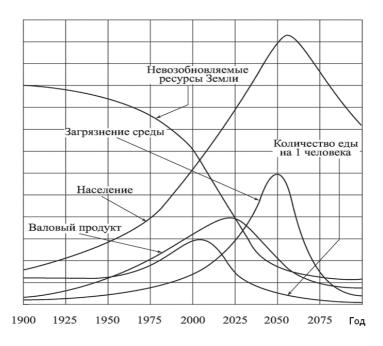


Рис. 5.2. Прогноз развития земной цивилизации при сохранении существующих тенденций развития

Для того, чтобы осуществился сценарий устойчивого развития (рис. 5.3), необходимо принятие программы стабилизации численности населения и объема промышленного производства,

уменьшения выбросов загрязняющих веществ и повышения эффективности использования природных ресурсов.

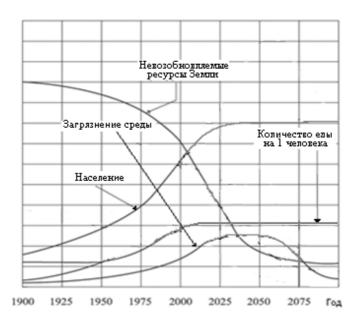


Рис. 5.3. Прогноз развития земной цивилизации по программе стабилизации численности населения и по принятым другим мерам

В настоящее время имеются и разрабатываются глобальные модели по прогнозированию изменения климата, расходованию энергии, изменению растительного покрова и др.

### 5.2. Демографический взрыв

Если современные тенденции мирового развития сохранятся, то в ближайшем будущем человечество окажется в демографической ситуации, в которой на протяжении всей своей истории никогда ранее не существовало. Депопуляция одних народов и стремительный рост численности других, изменение социального статуса института семьи и принципов принятия решения о количестве детей в семье, кардинальное изменение

пропорций между городским и сельским населением, между молодыми и пожилыми людьми потребуют от человеческого общества новых культурологических подходов и новых исторических решений.

Необходимо отметить четыре основные тенденции в динамике изменения численности населения планеты в ближайшей перспективе до 2050 г. По мнению большинства экспертов, будет продолжен дальнейший рост численности человеческой популяции. К 2050 г. численность населения Земли увеличится почти на 40%: с настоящих 6,6 до 9,1 – 9,2 млрд чел. Сейчас ежегодно население планеты увеличивается примерно на 80 млн чел., однако ожидается, что темпы прироста численности населения замедлятся, и при этом коренным образом изменится соотношение между городским и сельским населением, а также между количеством пожилых и молодых людей.

Исходя из данных, приведенных в табл. 5.1, легко проследить не только дальнейшее увеличение численности населения мира, но и еще одну наметившуюся уже во второй половине XX в. тенденцию. Значительное смещение демографического баланса между развитыми и развивающимися регионами планеты.

Таблица 5.1 Рост населения мира и темпы прироста с 1950 по 2025 г.

Время, год	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2025	
Всего,	2,5	3,0	3,7	4,5	5,3	6,1	6,8	7,8	
млрд чел.	2,3	3,0	3,7	т,Э	5,5	0,1	0,0	7,0	
БРС <sup>*</sup> ,	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1.2	
млрд чел.								1,2	
MPC*,	1.7	2,1	2,7	3,4	4,2	4,9	5,6	6.6	
млрд чел.	1,7	۷,1	2,7	3,4	4,2	4,9	3,0	6,6	
Период,	1965	5 —	1985 –	1	995 –	2000 -		2020 -	
годы	1970		1990	2	2000	000 200		5 2025	
Прирост,	2,06		1,74		1,63	1,1 - 1,2		0,99	
% в год			,.		,		,	, -	

<sup>\*)</sup> БРС – более развитые страны; МРС – менее развитые страны.

Если в 1950 г. численность населения в развивающихся странах была примерно вдвое больше, чем в развитых, то к 2050 г. это соотношение может стать шесть к одному.

Прирост населения в ближайшие 45 лет будет фактически полностью происходить в менее развитых странах. При этом почти половина прироста населения планеты будет приходиться всего на девять стран: Индия, Пакистан, Нигерия, Демократическая Республика Конго, Бангладеш, Уганда, США, Эфиопия и Китай. Важнейшей тенденцией динамики населения мира во второй половине XX в. был взрывоподобный рост численности населения развивающихся стран на фоне стабилизации численности населения развитых стран на уровне чуть более 1 млрд чел. Дальнейший рост численности населения в развитых странах практически прекратился (рис. 5.4).

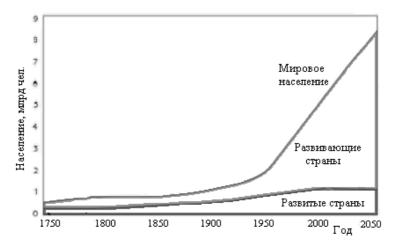


Рис. 5.4. Рост численности населения мира

Если в начале нашей эры население планеты оценивалось в 250 млн чел., то его удвоение населения произошло только к 1650 г., а первый миллиардный человек был достигнут в 1830 г. В завершающей стадии индустриальной эпохи развития человеческого общества видится резкий демографический рост.

Существенно различаются темпы прироста населения для разных регионов мира. В более развитых странах происходит неуклонное снижение с 1,2% в год до 0,3% в 2000 - 2005 гг. (в Европе с 1,1% в год до 0,1%). В менее развитых странах темпы прироста возрастали до 70-х годов и только затем начали снижаться до величины 1,3% в настоящее время.

Абсолютный ежегодный прирост населения мира около 88 млн чел. был достигнут в 1990 г., а в настоящее время прирост стабилизировался на отметке 74-76 млн чел.

Десятку самых многочисленных стран мира сейчас составляют Китай (1,3 млрд жителей), Индия (1,1 млрд), США (300 млн чел.), затем Индонезия, Бразилия, Пакистан, Бангладеш, Россия, Нигерия и Япония. К 2050 г. ожидается, что самой многочисленной страной мира станет Индия. Индия и Китай сохранят существенно опережающие лидирующие позиции, третье место останется за США. Россию и Японию могут обогнать Демократическая Республика Конго и Эфиопия.

Растет средняя продолжительность жизни с 46 лет в 50-х годах, до 64 лет в настоящее время. Ожидается, что к 2050 г. средняя продолжительность жизни возрастет до 75 лет, а в развитых странах до 82 лет. Существенно изменится возрастная структура населения (возрастная пирамида): если в XX в. число молодых людей значительно превышало количество людей старших возрастов, то к середине текущего века численность людей в каждой группе плавно будет перемещаться в последующую возрастную группу.

Доля детей в возрасте до четырех лет неуклонно снижалась во второй половине XX в., а людей старше 60 лет наоборот возрастала. На рубеже веков каждая из этих групп составляла около 10% человечества. Начиная с 2000 г. количество пожилых людей будет превышать число самых юных граждан нашей планеты. Пожилая часть общества составит к 2050 г. уже 22% населения против 11% сейчас. В Европе уже сейчас люди старше 60 лет составляют 21% населения.

Подавляющая часть общего прироста человеческой популяции в ближайшие десятилетия придется на городское население развивающихся стран. Уже в 2008 г. впервые в истории человечества количество горожан и селян сравняется (рис. 5.5).

Если в 1950 — 2005 гг. среднегодовой темп прироста населения мира в целом составлял 1,71%, то темп прироста городского населения 2,65% в год. Процесс роста относительной численности горожан в наиболее развитых регионах мира уже почти закончился. К 2005 г. в городах там уже проживало около 75% населения. Однако за счет развивающихся стран в ближайшие 25 лет даже заметно снизившийся темп прироста городского населения будет почти вдвое превышать ожидаемый темп прироста мирового населения в целом.



Рис. 5.5. Динамика численности городского и сельского населения мира в 1950 – 2030 гг.

Таким образом, завершается построение господствующей урбанистической цивилизации, в которой каждый сельский житель должен будет прокормить не только себя, но и двух горожан.

#### 5.3. Модели динамики человечества

Для описания динамики изменения численности человеческой популяции N(t) можно воспользоваться несколькими математическими представлениями. Очевиден на большом промежутке времени неуклонный рост численности населения планеты, как за весь исторический период существования социума,

так и в особенности за индустриальную эпоху развития. Применим к этому процессу простейшую экспоненциальную зависимость (5.1).

При неизменном постоянном значении коэффициента скорости роста r удобно использовать при экспоненциальном описании так называемое время удвоения  $T_2$  системы, за которое популяция возрастает вдвое, практически точно определяемое следующим выражением:

$$T_2 \approx 70/r_{\rm Лет},$$
 (5.9)

если r определяет скорость роста в процентах за год.

Анализ значений ежегодного прироста численности населения планеты показывает, что значения коэффициента r зависят от времени и возрастали вплоть до конца XX столетия.

Время удвоения человеческой популяции от 500 млн чел. до первого миллиарда превысило 170 лет, от 1 до 2 млрд чел. составило около 100 лет, а от 2 до 4 млрд чел. оказалось равным уже только 45 годам. Таким образом, численность человеческой популяции росла быстрее простой экспоненты с постоянным коэффициентом скорости роста. Поэтому такую зависимость иногда называют J-образной кривой роста численности населения планеты.

В конце прошлого столетия на короткий исторический промежуток времени этот показатель ежегодного прироста численности населения стабилизировался в диапазоне r=1,7-1,8% в год, после чего наметилась тенденция к его снижению. Отражая определенные закономерности, в целом экспоненциальная зависимость не позволяет корректно описать динамику изменения численности человеческой популяции в прошлом, тем более спрогнозировать тенденции ее изменения в будущем.

темпы прироста численности Высокие сохраняются и в наши дни, что необходимо учитывать при выборе математической модели прогнозирования динамики изменения численности популяции в будущем. Поэтому широко используется в этих целях логистическая зависимость (5.4), экологический смысл которой заключается в описании плавного математического перехода от экспоненциального роста к выходу на насыщение. При потенциальной вводится понятие емкости системы максимальной численности популяции, которая эволюционно

длительное время может поддерживаться в экосистеме или в биосфере в целом. Значение потенциальной емкости системы отражает величину асимптоты (см. рис. 5.1), к которой стремится со временем поведение логистической кривой.

Используя начальные значение численности популяции  $N_0$  в настоящий момент времени и мгновенную скорость текущего экспоненциального роста r — можно определить параметры логистической кривой для прогнозирования ситуации в будущем:

$$r_{\pi} = r/(1 - N_0/K); \quad t^* = \ln(K/N_0 - 1)/r_{\pi}.$$
 (5.10)

Критическим остается при этом описании значение величины потенциальной емкости системы, т.е. в данном случае максимальной численности человеческого сообщества, существование которого может обеспечить биосфера нашей планеты.

Анализ плотности расселения современного человечества по различным регионам мира и экстраполяция этих возможностей в будущее территориально ограничивает максимальную численность современной цивилизации в пределах от 10 до 20 млрд чел. Возможности современного сельского хозяйства прокормить население планеты пока также находятся на рубеже 10 млрд чел.

Положения фундаментальной экологии позволяют вывести следующую оценку. Естественная биотическая регуляция окружающей среды функционировала в течение всего времени существования жизни на Земле. Равновесие и устойчивость биосферы обеспечивается в части живой природы многочисленностью видов и сохранением между ними «паритета ничтожности» - пренебрежимо малой роли каждого отдельного вида в единой функциональной регуляции поддержания условий существования живого вещества на нашей планете.

Биотическая регуляция обеспечивается в основном наличием многочисленных мелких организмов — микромиром бактерий и грибков, потребляющих около 90% энергии, запасаемой в органическом веществе, синтезированном продуцентами. Мелкие беспозвоночные животные-гетеротрофы потребляют менее 10%, т.е. практически всю оставшуюся часть ассимилированных потоков солнечной энергии. Крупные позвоночные животные, к числу

которых без сомнения относится и человек, ответственны за тонкую настройку существования биосферы, на их долю должно приходиться не более 1% потока энергии, функционирующей в биотическом сообществе.

Валовая первичная продуктивность биосферы на современном уровне оценивается величиной в  $10^{18}$  ккал/год. Чистая первичная продукция в среднем составляет половину от этой величины. Принимая во внимание, что человеку как биологическому виду должно доставаться около 1% чистой первичной продукции биосферы, и годовое потребление отдельного человека находится на уровне  $10^6$  ккал/год, нетрудно получить оценку численности энергетически сбалансированного положения человеческой популяции в окружающем мире в размере 5 млрд чел.

Отсюда вытекает неизбежность перехода в XXI в. к равновесной по численности динамике человеческой популяции и реализации правила демографического насыщения: в глобальной регионально изолированной совокупности ИЛИ количество народонаселения всегда соответствует максимальной возможности жизнедеятельности, поддержания его включая все аспекты сложившихся потребностей человека.

По достоверным оценкам численность населения Земли может после середины XXI в. стабилизироваться на уровне 9-10 млрд чел. Это будет исторически абсолютно новое состояние человеческого сообщества, разумные варианты развития которого придется вырабатывать будущим поколениям.

## 5.3.1. Основы демографии. Демографический прогноз

дополнительной Значительное количество информации, собираемой анализируемой человечеством относительно собственной структуры развития популяции, позволяют осуществлять более строгие и корректные прогнозы, по крайней мере, на среднесрочную перспективу. Осуществляется такой прогноз в рамках практических положений, сформированных в научной дисциплине - демографии. На основе статистических данных переписи населения ООН в 1989 г., представленных в табл. 5.2, рассмотрим важнейшие характеристики демографического

анализа. Этот год выбран как год максимального абсолютного прироста населения мира.

Таблица 5.2 Статистические данные переписи населения Земли 1989 г.

Параметр	Весь	БРС	MPC	Китай
	мир		(без Китая)	
Население, млн чел.	5234	1206	2924	1104
(% от населения мира)	(100)	(23)	(56)	(21)
Рождаемость, ‰	28	15	35	21
Смертность, ‰	10	9	11	7
Естественный прирост, %	1,8	0,6	2,4	1,4
Населения до 15 лет, %	33	22	40	29
Полная скорость прироста, %	3,6	1,9	4,7	2,4
Детская смертность, ‰	75	15	93	44

БРС – более развитые страны; МРС – менее развитые страны.

Коэффициенты рождаемости (b), смертности (d), детской смертности, как и некоторые другие демографические параметры, принято использовать в единицах промилле (‰), т.е. относить на 1000 чел. Тогда естественный прирост или скорость ежегодного прироста населения (‰) равна r = (b-d)/10.

Полная скорость прироста (коэффициент полного прироста, коэффициент фертильности) показывает среднее число детей, которое родит одна женщина в течение своей жизни. К 2004 г. значения этого коэффициента снизились: на одну женщину приходилось в среднем 2,6 ребенка во всем мире (1,6 ребенка — в богатых странах и 2,9 ребенка — в бедных). Сейчас в Европе уровень рождаемости составляет 1,52 ребенка на одну женщину.

С последним понятием связана еще одна широко используемая величина – замещающий коэффициент прироста,

являющийся таким коэффициентом фертильности, при котором 100 женщин репродуктивного возраста заменят себя в следующем поколении 100 женщинами репродуктивного возраста. В реальной жизни этот коэффициент из-за детской смертности девочек и неравенства рождений мальчиков и девочек всегда больше двух.

Существенные отличия в значениях коэффициента детской смертности для различных регионов приводят и к непостоянству замещающего коэффициента прироста, значения которого находятся в диапазоне 2,1-2,8. Меньшие показатели характерны для более развитых стран с низким коэффициентом детской смертности. Среди демографических показателей именно коэффициент детской смертности в полной мере демонстрирует разницу в развитии различных стран и народов мира.

Мировая практика показывает, что в процессе построения современного индустриального общества различные страны осуществляли и широкомасштабные изменения своей демографической структуры. Теоретическое отражение этого процесса получило название «концепция демографического перехода или двойного демографического перехода».

Количественные показатели демографического перехода для развитых и развивающихся стран показаны на рис. 5.6. В начале переходного периода для любых стран характерны высокие показатели рождаемости и смертности с относительно низким суммарным показателем темпа прироста населения. Рост удельного потребления продуктов питания, развитие медицины и другие качественные показатели приводят на первом этапе к снижению смертности населения (1-й демографический переход).

Именно в это время отмечаются самые высокие темпы естественного прироста населения в данном регионе. Только спустя определенное историческое время, когда смертность практически упала до естественного физиологического предела, начинается стремительное снижение рождаемости (2-й демографический переход). В конце переходного периода темп прироста населения становится практически идентичным начальным значениям. Современное состояние свидетельствует уже о депопуляции коренного населения в этих странах.

В настоящее время продолжаются дискуссии о причинах и неизбежности демографического перехода, к которому приходится

относиться пока как к эмпирическому факту. Из рис. 5.6 однозначно следует, что развивающиеся страны также завершили свой 1-й демографический переход с наиболее стремительной фазой с 1950 по 1985 г. и до окончания в них 2-го периода темпы прироста населения останутся относительно высокими.

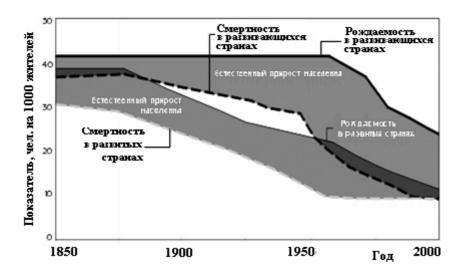


Рис. 5.6. Тенденции изменения рождаемости и смертности при демографическом переходе (1850 – 2000 гг.). Естественный прирост населения составляет разницу между числом родившихся и умерших людей

Демографический прогноз требует информацию ПО половозрастной структуре населения как рассматриваемого региона, так и планеты в целом. Графическое представление данных о по возрастной категории называется численности населения пирамидой возрастной структурой, популяции. или возрастной структуры отражает прошлое и ближайшее будущее отдельной страны или региона. Например, развивающиеся страны имеют форму пирамиды в виде треугольника, отражающего быстро популяцию. Более крутые стены пирамиды неизменных коэффициентах рождаемости и смертности соответствуют более медленной стадии роста. И наконец, при форме

возрастной структуры в виде прямоугольника рост популяции прекращается.

В качестве примера на рис. 5.7 приведены возрастно-половая структура населения России (СССР) в разные исторические эпохи: до демографического перехода (рис. 5.7, a, конец XIX в.) и после его завершения (рис. 5.7,  $\delta$ ) в конце 80-х годов прошлого века.

К данным по возрастному составу населения добавляются и рассчитанные коэффициенты выживания, определяющие вероятность прожить людям в данной группе очередной период времени, а также реальные коэффициенты прироста по каждой возрастной категории.

При использовании демографического прогноза для построения сценариев развития человеческого общества в будущем в программу расчета вводится постулат о достижении замещающего коэффициента прироста.

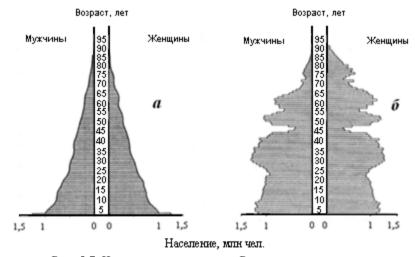


Рис. 5.7. Численность населения России по возрастам: a — до демографического перехода (1897 г.);  $\delta$  — после завершения (1989 г.)

При достижении коэффициентом фертильности значения простого замещения населения должна произойти мгновенная остановка роста численности. Однако реальные расчеты показыва-

ют, что рост популяции продолжается еще длительное время, пока численность населения не выйдет на насыщение.

Этот процесс получил название инерции популяции, и он обусловлен треугольной формой возрастной структуры, когда имеется большая доля молодежи предрепродуктивного возраста. Современная возрастная структура мирового населения, определяемая во многом развивающимися странами, пока имеет подобный вид. Доля молодых людей до 15 лет в это время достигала в развивающихся странах величины в 40%.

Современные прогнозы показывают, что неуклонный рост численности будет происходить вплоть до 2050 г. с возможной последующей стабилизацией.

# 5.3.2. Демографическая ситуация России

Общие тенденции развития мирового сообщества не всегда совпадают с региональными особенностями. Это проявилось в демографической ситуации в России в 90-х годах XX в., когда произошел демографический переход, который иначе как катастрофой назвать затруднительно (рис. 5.8). По своим демографическим масштабам он абсолютно сопоставим со всеми остальными катаклизмами, произошедшими с нашей страной в XX столетии.

Самый низкий показатель смертности в России (РСФСР) был зарегистрирован в 1964 г. -7,2% и до 1992 г. не превышал 11,6%. Но после 1993 г. он практически всегда был выше 14,0%. Всего за два года 1992-1993 гг. произошел фазовый переход, казавшийся в мирное время невозможным.

Для простого замещения населения необходим коэффициент фертильности не менее 2,15. В 1985-1987 гг. в России он составлял 2,2 («демографический бум»), но к 2000 г. упал почти вдвое — до значения 1,17. За период 1965 — 1989 гг. рождаемость в России в среднем составляла значение 15,5%. Фазовый спад рождаемости до уровня 10% произошел всего за три года — с 1990 по 1992 г.

В результате в нашей стране за короткий промежуток времени при отсутствии каких-либо военных или стихийных лишений сформировался переход с модели устойчивого умеренного демографического роста (0.5-0.65%) в год) на модель тотального вымирания с отрицательным показателем -0.6% в год.



Рис. 5.8. Возрастно-половая структура населения России на начало 1999 г.

В табл. 5.3 приведены практически сохранившиеся тенденции поведения коэффициентов рождаемости и смертности в России за последние годы.

Таблица 5.3 Демографическая ситуация в России за последние годы (показатели приведены в ‰)

Год	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Рождаемость	8,8	8,3	8,7	9,0	9,7	10,2	10,4	10,2
Смертность	13,6	14,7	15,3	15,6	16,2	16,4	16,0	16,1

Неблагоприятная демографическая ситуация остается реальностью. Складывается впечатление, что после накопившейся исторической усталости, горчайшего разочарования в прошлом и

фундаментальной, культурологической нестыковки с настоящим это был осознанный выбор страны.

# 5.4. Потребности человечества в продуктах питания

Человечество в отличие от любого другого вида живых организмов живет не только за счет возобновляемых ресурсов, но и абсолютно невосстанавливаемого и незаменимого их запаса, и чем дальше, тем в большей степени. Для жизни каждого человека в год необходимо приблизительно 200 т твердых веществ, которые он с помощью почти 800 т воды и в среднем 1000 Вт энергии превращает в полезный для себя продукт.

В рамках господствующего ныне мировоззрения неизбежно возникает вопрос: способны ли ограниченные пространственные и пищевые ресурсы планеты поддерживать растущий уровень народонаселения? Производство пищевой энергии на 80% формируется на основе зерновых культур.

Обрабатываемые земли, занимающие около 11% мирового земельного фонда, поставляют 88% необходимых продуктов питания. Поэтому производство зерновых составляет фундамент современной цивилизации. «Зеленая революция» второй половины XX в. кардинально не смогла решить проблему обеспечения человеческого сообщества основополагающими продуктами потребления. Не удалось даже просто накормить население планеты. Более того именно решение продовольственной проблемы во всемирных масштабах показало всю сложность стоящих перед человечеством проблем.

За вторую половину минувшего столетия производство зерна в мире выросло примерно в 3 раза (рис. 5.9), что превысило темпы роста мирового населения, повышая и душевое потребление.

Однако увеличение численности населения за тот же промежуток времени почти в 2,5 раза существеннейшим образом понизило темпы прироста мирового производства зерна на душу населения. Максимальный уровень повышения последнего показателя не превзошел 40%. Несмотря на гигантские успехи сельского хозяйства, рост мирового производства зерна на рубеже веков практически прекратился, а среднедушевая обеспеченность

зерновыми в мире с середины 80-х годов неизменно снижается. Поднявшись с величины 268 кг/чел. в 1950 г., среднемировая обеспеченность зерновыми достигла максимума в 370 кг/чел. в 1984 г., а затем снизилась до 310 кг/чел. к 2000 г.



Рис. 5.9. Мировое производство зерна во второй половине XX в.

Душевое производство зерна в развивающихся странах намного ниже, чем в развитых странах. Это не позволяет добиться кардинального улучшения питания и обеспечить полноценный пищевой рацион для большинства населения. Совершенно другое положение в Канаде и США, где та величина составляет 1700 и 1200 кг/чел. соответственно.

Мировая продовольственная проблема осталась нерешенной: абсолютное число голодающих на Земле людей постоянно растет. В конце прошлого столетия число постоянно голодных людей на планете составило более чем 800 млн чел. Большая часть человечества страдает от калорийной и белковой недостаточности, от дефицита питательных микроэлементов. По европейским стандартам потребления продуктов питания человечество способно прокормить менее половины проживающих на Земле людей.

Одним из очевидных пределов производства продуктов питания является сама земля. Суммарная площадь пахотных земель на рубеже веков составляла около 1,35 млрд га. При этом реально обеспеченность населения мировыми ресурсами пахотных земель

снижалась весь прошедший век, возможно достигнув критического уровня.

К середине XX в. все основные земельные ресурсы планеты были уже использованы, а после 1981 г. стала сокращаться и общая площадь пашни под зерновые культуры. Высокая концентрация посевов зерновых и накопление в почве отходов жизнедеятельности монокультур приводят к деградации сельскохозяйственных угодий. Прогнозируется, что при дальнейшем росте населения и возможным некоторым сокращением посевов зерновых их площадь на душу населения сократится до 0,07 га/чел. к 2050 г.

По климатическим данным, пустыни и полупустыни занимают более трети поверхности суши, и на этой территории проживает почти 1 млрд чел. Только в результате хозяйственной деятельности людей в последней четверти XX в. появилось свыше 9 млн км $^2$  пустынь, увеличив их долю до почти 40% площади суши. А еще 30 млн км $^2$  (почти 1/5 суши) находятся под угрозой опустынивания.

На рис. 5.10 и в табл. 5.4 представлено мировое производство и потребление зерновых культур. Наметилось снижение мирового производства вместе с запасами зерновых в абсолютных единицах. Мировое производство зерна в 2006 — 2007 гг. составило 1568 млн т против 1602 млн т в предыдущих годах, мировые запасы зерна — 259 млн т против 315 млн т соответственно. Представленные данные показывают, что сельскохозяйственный потенциал предыдущего этапа развития человеческого общества исчерпан.

Рассматривая положение дел с другими основными продуктами питания человека: мясом и рыбой, необходимо отметить следующее. Вытеснение пастбищного животноводства и естественного рыболовства откормом животных на основе роста производства зерна и соевых бобов и искусственным разведением рыбы снова возвращает проблему обеспечения человечества продуктами питания к увеличению объемов зерновых культур.

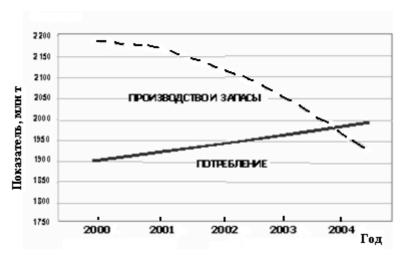


Рис. 5.10. Мировое производство и потребление зерновых культур в начале нынешнего столетия

Например, на производство 1 кг говядины требуется примерно 7 кг зерна, свинины – около 4 кг, птицы – 2 кг, а на 1 кг прироста рыбной продукции расходуется также 2 кг зерна. В конце XX в. более трети мирового урожая зерна использовалось для откорма скота и птицы, поставляющие людям мясо, молоко и яйца. Технологии искусственного откармливания позволили существенно повысить мировое душевое потребление мяса в конце прошлого века до 36 кг/чел. в год, тем не менее уровень их производства значительно ниже сбалансированного пищевого рациона. К тому же сохраняется огромное региональное неравенство в потреблении мяса, в душевом исчислении – в десятки раз.

Таблица 5.4

Год	2000	2001	2002	2003	2004
Производство и запасы, млн т	2191	2169	2114	2032	1922
Потребление, млн т	1900	1923	1945	1968	1993

Динамика мирового зернового рынка

Естественное рыболовство является наглядным примером несоразмерно хищнического поведения человека в биосфере с возобновляемыми ресурсами. Чрезмерный рост уловов на протяжении XX столетия поставил под угрозу устойчивое воспроизводство мировых запасов рыбы. Сейчас уже 11 из 15 главных промысловых регионов серьезно истощены, а вылов 70% важнейших видов рыбы близок к биологическому пределу. Естественный улов рыбы на душу населения прошел свой пик в 1988 г. (17 кг/чел.), после чего стал неуклонно снижаться.

Уделом наших дней становится прекращение абсолютного прироста мирового улова, и ухудшение качества рыбной продукции за счет увеличения доли низкосортных пород. В конце прошлого века уже каждая четвертая съедаемая в мире рыба была выращена искусственно, но подобный путь развития, как и рост производства мяса, наталкивается на ограниченность кормовой базы животноводства и рыбоводства.

## 5.4.1. Ресурсы пресной воды и проблемы орошения

В рамках решения насущнейшей задачи обеспечения жителей нашей планеты необходимыми пищевыми ресурсами с особой остротой проявляется глобализация и взаимосвязь современных экологических проблем, подчеркивая системный характер кризиса человеческой цивилизации. Попытка мирового сообщества справиться с напряжением в обеспечении людей тем или иным ресурсом с неизбежностью приводит к возникновению не меньших проблем с другими сырьевыми источниками.

Перспективы решения продовольственной проблемы за счет экстенсивного пути увеличения количества пахотных земель даже при возможности реализации такого подхода приведут к безудержной пространственной экспансии человека в окружающем мире, поскольку уже сейчас обрабатываемые земли, луга и пастбища в сумме занимают около 35% территории земельного мирового фонда.

Наращивание производства зерна для решения продовольственной проблемы наталкивается либо на ограниченность пригодных для сельскохозяйственного использования земель, либо на нехватку пресной воды. Как было показано, во второй половине XX в.

прирост используемых для сельского хозяйства земель замедлился, поэтому в период «зеленой революции» прирост зерновых обеспечивался в значительной степени за счет расширения высокоэффективных орошаемых земель. Их роль в это время достигла, возможно, половины прироста сельскохозяйственной продукции, однако дальнейшая опора на этот фактор будет неизбежно тормозиться нехваткой пресной воды для орошения. После роста на начальном этапе «зеленой революции» и стабилизации в последней четверти XX столетия уже к 2000 г. наметилась тенденция к снижению площади орошаемых земель, приходящихся на одного жителя планеты.

Ежегодно возобновляемые ресурсы пресной воды (суммарный годовой сток рек) в мире составляет менее 50 тыс. км<sup>3</sup> в год, из них около 30 непосредственно стекает в океан. Из имеющихся запасов пресной воды пригодной для непосредственного использования человечеством является в настоящий момент около 9 тыс. км<sup>3</sup> в год. Потребляется же сейчас в мире примерно 55% наличного годового запаса пресной воды (более 4000 км<sup>3</sup> в год). Среднемировой годовой забор воды из рек и подземных источников составляет 600 м<sup>3</sup> на человека, из которых 50 м<sup>3</sup> являются питьевой водой или 137 л на человека в день.

Около 70% используемых мировых ресурсов пресной воды идет в сельском хозяйстве на орошение. На рубеже веков ирригация обеспечивала 40% производства мирового продовольствия, но рост продуктивности орошаемых земель и увеличение их площади на душу населения замедлился и практически прекратился. Возникли проблемы, связанные с засолением почв и химическим загрязнением вол.

За предыдущий 50-летний период второй половины XX в. глобальный расход воды на орошение увеличился в 2,5 раза с 1000 до 2500 км<sup>3</sup> в год. Нарастает нехватка воды для нужд орошения, а к 2020 г. рост населения должен привести к росту потребления воды на 40%, в том числе на нужды орошения на 20%. На ближайшую двадцатилетнюю перспективу именно нарастающий дефицит пресной воды является наиболее угрожающей ресурсной проблемой обеспечения жизнедеятельности людей основными сырьевыми источниками.

По оценкам уже к 2025 г. 1 млрд человек будет жить в странах с абсолютным дефицитом воды, а к сегодняшнему дню 40% человечества живет в регионах, где уже сейчас люди испытывают нехватку питьевой воды.

## 5.4.2. Лесные ресурсы

Основная биомасса живого вещества на нашей планете сконцентрирована в ее зеленом поясе, в продуцентах экосистем суши. Уменьшение биомассы живого вещества, наблюдавшееся за XX столетие, в том числе за счет вырубки лесов, с одновременным увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере свидетельствует о потере устойчивости биосферы нашей планеты.

Существующие сегодня системы землепользования и управления лесным хозяйством ведут к неизбежной деградации лесного покрова планеты. Человечество продолжает рассматривать леса только с экономических позиций, исключительно как один из видов природных ресурсов, отличающийся от ископаемых лишь способностью возобновляться. Лесные массивы разнообразные, не поддающиеся экономической оценке важнейшие экологические функции в нашей биосфере, значительную часть живой органики и накапливая запасы мертвой органики.

Леса играют важнейшую роль в сохранении биологического разнообразия планеты, являясь биомом для большинства видов живых организмов. Они остаются глобальным фактором стабильности климата, регулируя баланс основных компонентов атмосферы: О<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. Так, тропические леса, покрывающие лишь 7% территории суши, являются местом обитания около 50% всех видов живых организмов на Земле.

Первоначально существовавшие на нашей планете леса занимали территорию площадью около 6,2 млрд га. После перехода человека к оседлому образу жизни и земледелию площадь лесных К настоящему неуклонно сокращалась. массивов включая оставшиеся леса. неосвоенные, покрывают (54% первоначальных), непосредственно 3,3 млрд га OT a неосвоенные – всего 1,35 млрд га (22% от первоначальных). Из последних более 700 млн га - бореальные леса Северного полушария

(Северная Америка и Россия) и около 600 млн га — влажный лес в тропических странах. Половина лесных массивов истреблена во второй половине XX в.

70% площади неосвоенных лесов находятся на территории всего трех стран: России, Канады и Бразилии. Эти страны занимают лидирующие позиции и по общему объему лесных массивов. По разным оценкам на территории самой богатой лесом России находится от 21,5 до 23% площади всех лесных массивов мира. На рис. 5.11 демонстрируется площадь лесных массивов, сохранившихся на нашей планете.

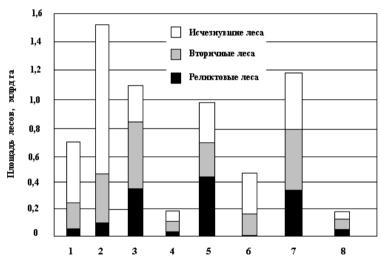


Рис. 5.11. Площадь мировых лесных запасов (оставшихся, исчезнувших и вторичных) по континентам: 1 — Африка; 2 — Азия; 3 — Северная Америка; 4 — Центральная Америка; 5 — Южная Америка; 6 — Европа; 7 — Россия; 8 — Океания

Наиболее тревожной проблемой последнего периода времени и современности является вырубка влажного тропического леса. В 1980 — 90 гг. темпы обезлесения в тропических странах превышали 15 млн га в год. В последнее время уничтожение влажных тропических лесов превышает 10 млн га в год. Бразилия прочно удерживает первое место в мире по вырубке леса. К настоящему моменту в Бразилии уничтожено уже более 17% сельвы,

а влажные тропические леса в Индонезии и Малайзии вырубаются так быстро, что 98% из них могут быть уничтожены к 2022 г.

Главными виновниками происходящего считаются крестьяне, которые вырубают леса для ведения сельского хозяйства. Резкий рост вырубки, в свою очередь, связан с мировым ростом цен на продовольствие. Круг решения глобальных проблем обеспечения человечества основополагающими для жизнедеятельности природными ресурсами замкнулся.

Напомним для примера, что площадь оставшихся лесов в Европе, лидировавшей в мировом процессе построения индустриального общества, занимает только 32% от площади первоначально существовавших лесов на ее территории, а неосвоенные леса занимают ничтожные 0,3% от той же величины. В Европе девственных лесов практически не осталось.

Около половины лесов Северного полушария деградировало вследствие кислотных дождей. В этом необратимом процессе разрушения главную роль играет навоз, производимый скотом. В некоторых таких странах, как Бельгия и Голландия, это основная причина кислотных дождей. Для содержания поголовья своего домашнего скота Голландии к тому же необходима кормовая база, выращиваемая на площади в 4 раза превышающей территорию всей страны.

Вырубки образом негативным повлияли на хрупкое экологическое равновесие амазонских привели лесов исчезновению многих видов деревьев, растений и животных. Кроме того, уничтожение лесов, как и последующее их сжигание усиливает парниковый эффект как за счет дополнительных выбросов углекислого газа, так и за счет снижения уровня его потребления.

# 5.4.3. Пространственно-энергетическая экспансия человека в окружающей среде

Еще одним способом увеличения производства продуктов питания является интенсификация сельского хозяйства, т.е. повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий, достигаемое различными энергетическими субсидиями. Переход человека, собирателя и охотника, к современному человеку сопровождался резким сокращением площади, необходимой для

обеспечения одного человека (примерно в  $10^4$  раз). Достигался подобный процесс в том числе и соответствующим увеличением доли вкладываемой в сельское хозяйство энергии.

С начала XX в. количество энергии, затрачиваемое на получение дополнительной единицы сельскохозяйственной продукции, в развитых странах мира возросло более чем в 10 раз. В результате общая энергетическая эффективность оказалась в десятки раз ниже, чем при примитивном земледелии. Для роста производства продуктов питания в 2 раза на начальном этапе «зеленой революции» с 1950 по 1979 г. в 5 раз увеличилось количество нефти, поставляемое на нужды сельского хозяйства.

Период резкого увеличения продуктов питания сопровождался также существенным ростом объемов вносимых минеральных удобрений. В табл. 5.5 рост производства минеральных удобрений представлен в сопоставлении со среднемировой обеспеченностью каждого человека зерновыми культурами.

Таблица 5.5 Производство минеральных азотных удобрений и обеспеченность населения мира зерновыми культурами

Годы	1950	1975	1984	2000
Производство минеральных азотных удобрений, млн т	4,38	43,9	64,4	~ 80
Среднемировая обеспеченность зерновыми, кг/чел.	268	340	370	310

В начале увеличение энергетических субсидий в виде вносимого количества минеральных удобрений приводит к росту продукции. Однако достаточно быстро достигается максимум в энергетической эффективности антропогенных субсидий. Дальнейшее наращивание количества минеральных удобрений ведет к меньшим положительным результатам. А с развитием процесса прекращается рост зерновых и в абсолютных единицах.

По-видимому, это подчиняется закону максимума: в данном географическом месте при существующих природно-антропогенных условиях экосистема может производить биомассу и иметь

биологическую продуктивность не выше, чем это свойственно ее самым продуктивным естественным элементам. Продуктивность естественных экосистем составляет от 200 до 20000 ккал/(м $^2$ ·год). Реально продуктивность современных высокомеханизированных сельскохозяйственных угодий — 12000 ккал/(м $^2$ ·год). Таким образом, существует предельный уровень продукции, которую можно получить с единицы площади в нашей биосфере при любых антропогенных ухищрениях.

Представляется, что рост биологической продуктивности сельскохозяйственных угодий, в том числе за счет искусственного омоложения природных систем, удерживания их на ранних стадиях сукцессии, закончился или подходит к концу. Дальнейшее стимулирование сельскохозяйственных угодий дополнительными антропогенными субсидиями будет приводить только к деградации и разрушению природных структур. Добавим, что минеральные соли в удобрениях усваиваются растениями лишь на 10-15%.

Сельскохозяйственная деятельность ведет к упрощению систем жизнеобеспечения нашей планеты, сокращению разнообразия растительного и животного мира, к лишению биотического сообщества возможности выполнять свои эволюционно сложившиеся обязанности по поддержанию условий существования живого вещества на нашей планете.

Разнообразие взаимодействующих сложных естественных экосистем обязательно для поддержания надежности биосферы. Единственным способом сохранения приемлемой для существования окружающей среды является восстановление и поддержание естественных экосистем на больших территориях земной поверхности, позволяющих биотическому сообществу выполнять регулирующие функции в биосфере.

Одной из проблем воздействия на почвы интенсивной обработкой (химизация, механизация и пр.) является борьба с сорняками и вредителями. Эта борьба носит характер замкнутого круга: внесение химикатов  $\rightarrow$  адаптация вредителей  $\rightarrow$  более сильные дозы пестицидов  $\rightarrow$  ускорение естественного отбора  $\rightarrow$  новые пестициды  $\rightarrow$  и т.д. вплоть до возможной потери химикатами своей эффективности.

Применение пестицидов возросло во второй половине XX в. в десятки раз, а потери урожая в ведущих странах мира только увеличились. Побочным негативным эффектом этого процесса является химическое загрязнение окружающей среды, в особенности пресных водоемов в глобальных масштабах.

Для решения проблем обеспечения растущего человеческого общества в XXI в. продуктами питания требуется дальнейшая пространственно-энергетическая экспансия. Для удвоения количества потребляемых продуктов к 2050 г. необходимо либо значительное увеличение площади пахотных земель, либо рост в десятки раз энергетических вложений.

На рис. 5.12 приведена зависимость, демонстрирующая эффективность преобразующей деятельности человека. Если на начальном этапе преобразующая деятельность человека играет положительную роль, то после прохождения определенного предела (40% площади преобразованных на Земле естественных экосистем) дальнейшая пространственная экспансия приводит только к деградации биосферы. Если в 1900 г. естественные экосистемы были разрушены на 20% территории суши, то к концу XX в. – на 63%, а теперь человек все активнее вторгается в естественные экосистемы океана.

За XX столетие пространственная экспансия человека превзошла разумные пределы. К концу этого периода явное присутствие человека не отмечено на площади, равной приблизительно трети суши, включая Антарктиду, а, например, в Европе всего лишь на 3% территории. Европа и в этом аспекте выступает в качестве экологически не самодостаточной территории.

Человек уже платит существенную цену за совершенные в биосфере преобразования. В частности, сам факт появления термина «экологически чистые продукты» свидетельствует о снижении качества потребляемых продуктов питания, а следовательно, и качества жизни.

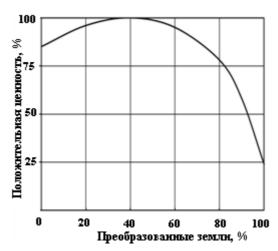


Рис. 5.12. Сумма получаемых положительных ценностей от преобразованных человеком на Земле экосистем

Для сохранения равновесного положения в окружающей среде человек должен потреблять не более 1% чистой первичной продукции биосферы. Человечество нарушает природные закономерности распределения живого вещества и энергии планеты, около 40% первичной продукции суши потребляется ограниченным числом видов, культивируемых людьми для своих нужд. Человек, в особенности в XX в., все больше направлял в антропогенный канал поток энергии, протекающий в биосфере, и к концу XX в. увеличил его почти на порядок по сравнению с равновесным уровнем в 1%, наблюдавшимся в начале века.

Попутно человек косвенно еще снижает и разрушает в результате потерь урожая, сжигания и сведения лесов, опустынивания и урбанизации поток чистой первичной продукции примерно на 30%. Разрушенная часть перераспределяется в пользу сопровождающих человечество видов: крыс, мышей, тараканов, микроорганизмов и пр.

Пространственно-энергетическая экспансия человека в окружающем мире является важнейшей компонентой глобального экологического кризиса. Это обусловлено несбалансированным поведением человеческой популяции. Мы лишаем живую природу

пространства и энергии, необходимых ей для выполнения своих основополагающих регулирующих функций в биосфере.

#### Контрольные вопросы

- 1. Почему рост численности человеческой популяции определяется «*J*-образной» кривой?
- 2. Какие тенденции складываются в динамике изменения численности населения планеты в обозримом будущем?
- 3. Какой демографический смысл логистической кривой и потенциальной емкости населения планеты?
- 4. Что такое концепция демографического перехода? Поясните явление инерции популяции.
- 5. Составьте свой демографический прогноз на основе данных о переписи населения.
  - 6. Приведите примеры возобновляемых ресурсов.
- 7. Реальны ли возможности по обеспечению пищевыми ресурсами население планеты?
- 8. Какие количественные показатели определяют пространственно-энергетическую экспансию человечества в окружающем мире?

#### ГЛАВА 6

## ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ

#### 6.1. Общие сведения и определения

Радиация — обобщенное понятие. Оно включает различные виды излучений, часть которых встречается в природе, другие получаются искусственным путем. Ионизирующее излучение - любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Одним из источников ионизирующих излучений является *радионуклид* – атомное ядро, способное к радиоактивному распаду. Все виды ионизирующих излучений делятся на корпускулярные и электромагнитные. Последние имеют ту же природу, что и видимый свет, и солнечные лучи, и радиоволны, отличаясь лишь величиной длины волны.

Прежде всего, следует различать корпускулярное излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля, и электромагнитное излучение.

Корпускулярное излучение может состоять как из заряженных, так и из нейтральных частиц.

- *Альфа-излучение* представляет собой ядра гелия, которые испускаются при радиоактивном распаде элементов тяжелее свинца или образуются в ядерных реакциях.
- *Бета-излучение* электроны или позитроны, которые образуются при бета-распаде различных элементов от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых.
- Космическое излучение приходит на Землю из космоса. В его состав входят преимущественно протоны и ядра гелия. Более тяжелые элементы составляют менее 1%. Проникая вглубь атмосферы, первичное космическое излучение взаимодействует с ядрами, входящими в состав атмосферы, и образует потоки вторичных частиц (мезоны, гамма-кванты, нейтроны и др.).
- *Нейтроны* образуются в ядерных реакциях (в ядерных реакторах и в других промышленных и исследовательских установках, а также при ядерных взрывах).

- Продукты деления содержатся в радиоактивных отходах переработанного топлива ядерных реакторов.
  - Протоны, ионы в основном получаются на ускорителях.
- Электромагнитное излучение имеет различные источники: гамма-излучение атомных ядер и тормозное излучение ускоренных электронов, радиоволны и т.д. (табл. 6.1).

Таблица 6.1 Характеристики электромагнитных излучений

Энергия, эВ	Характерная длина волны, мкм	Вид излучения
109	10 <sup>-10</sup>	Тормозное излучение
10 <sup>5</sup>	10 <sup>-6</sup>	Гамма-излучение ядер
$10^3$	10 <sup>-4</sup>	Рентгеновское излучение
10 <sup>1</sup>	10-2	Ультрафиолетовое излучение
10-1	0,38 - 0,76	Видимый свет
10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>	Инфракрасное излучение
10 <sup>-5</sup>	10 <sup>4</sup>	Микроволновое излучение
10 <sup>-7</sup>	10 <sup>6</sup>	СВЧ
10-9	108	Радиоволны ВЧ
10 <sup>-11</sup>	10 <sup>12</sup>	Радиоволны НЧ

# 6.2. Явление радиоактивности

Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. французским ученым А. Беккерелем. В настоящее время оно широко используется в науке, технике, медицине, промышленности. Радиоактивные элементы естественного происхождения

присутствуют повсюду в окружающей человека среде. Искусственные радионуклиды образуются на промышленных предприятиях и в атомной отрасли. Попадая в окружающую среду, они оказывают негативные воздействия на живые организмы, в чем и заключается их опасность.

Способность ядер самопроизвольно распадаться, испуская частицы, называется *радиоактивностью*. *Радиоактивный распад* — статистический процесс, и его закономерность наблюдается в случае распада достаточно большого количества ядер.

Если в образце в момент времени t имеется N радиоактивных ядер, то количество ядер dN, распавшихся за время dt, пропорционально N :

$$dN = -\lambda N dt. (6.1)$$

Коэффициент пропорциональности  $\lambda$  называется постоянной распада, характеризующий вероятность распада на один атом за единицу времени. Знак минус соответствует убыванию числа радиоактивных ядер в процессе распада.

Проинтегрировав (6.1), получим закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, (6.2)$$

где  $N_0$  — количество радиоактивных ядер в момент времени t=0 . Среднее время жизни au определяется так:

$$\tau = \frac{\int_{0}^{\infty} t \cdot \left| \frac{dN}{dt} \right| dt}{\int_{0}^{\infty} \left| \frac{dN}{dt} \right| dt} = \frac{1}{\lambda}.$$
 (6.3)

Период полураспада  $T_{1/2}$  – время, за которое первоначальное количество радиоактивных ядер уменьшается в два раза:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \ . \tag{6.4}$$

Периоды полураспада изменяются в широком диапазоне от нескольких миллисекунд до  $10^{16}$  лет.

Под активностью радионуклида (атомного ядра, способного к радиоактивному распаду) понимается отношение ожидаемого числа dN спонтанных ядерных превращений, происходящих за интервал времени dt, к величине этого интервала:

$$A = \frac{dN}{dt} \,. \tag{6.5}$$

Единицей активности радионуклида является беккерель (Бк): 1 Бк = 1 распад/с. Внесистемной единицей активности является кюри (Ки): 1 Ки =  $3.7\cdot10^{10}$  Бк. Отношение активности радионуклида к массе, объему, площади источника называется *удельной, объемной, поверхностной активностью радионуклида* соответственно. Наравне с системными единицами (Бк/м², Бк/кг) широко используются Ки/км², Ки/л для характеристики загрязненных объектов.

Изменение активности радионуклида во времени выражается аналогичным (6.2) экспоненциальным законом:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda \cdot t}, \tag{6.6}$$

где  $A_0$  – активность радионуклида в начальный момент времени.

Активность связана с числом радиоактивных ядер N следующим образом:

$$A = \lambda \cdot N = 0,693 \cdot N / T_{1/2} . \tag{6.7}$$

Между активностью A в беккерелях и массой радионуклида m в граммах с атомной массой M согласно выражению (6.7) существует следующая зависимость:

$$A = \frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot \frac{N_A}{M} \cdot m \,, \tag{6.8}$$

где число Авогадро  $N_{\scriptscriptstyle A}=6,023\cdot 10^{23}$  моль-¹; период полураспада  $T_{1/2}$  измеряется в секундах.

Для радионуклидов, распадающихся в дочерний нестабильный нуклид, необходимо учесть всю цепочку образующихся нестабильных дочерних продуктов.

Пусть при распаде радионуклида образуется дочерний нуклид, который является также радиоактивным, тогда распад исходного ядра  $N_1$  в дочернее ядро  $N_2$  с последующим его распадом описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1; \\ \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1, \end{cases}$$

$$(6.9)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — постоянные распада соответствующих ядер.

Допустим, что в начальный момент нет дочерних ядер  $N_2(0) = 0$ , а исходных  $N_1(0)$ , тогда, решая систему (6.9), получим:

$$N_1(t) = N_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t};$$
 (6.10)

$$N_2(t) = \frac{N_1(0) \cdot \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$
(6.11)

На рис. 6.1 показана зависимость активности материнского и дочернего ядер, а также их суммарная активность от времени. В нижней части рисунка показан случай, когда  $\lambda_1 > \lambda_2$  и суммарная активность монотонно уменьшается. На верхней половине рисунка

для случая  $\lambda_1 < \lambda_2$  суммарная активность сначала растет за счет накопления дочерних ядер, а затем снова будет монотонно уменьшаться.

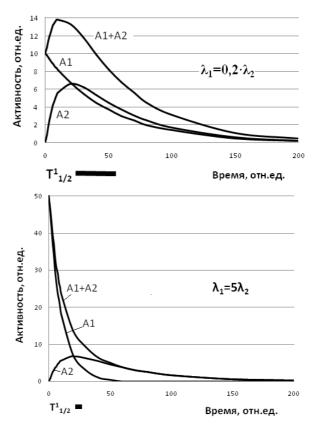


Рис. 6.1. Зависимость от времени активности материнского и дочернего ядер, а также их суммарной активности (для каждого случая показан масштаб периода полураспада материнского ядра)

При больших временах активности материнского и дочернего ядер практически сравниваются:  $N_1(t)\cdot \lambda_1 = N_2(t)\cdot \lambda_2$  , и наступает так называемое вековое равновесие, при котором число

ядер изотопов в цепочке распадов связано с постоянными распада (периодами полураспада) соотношением:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T_{1/2}^1}{T_{1/2}^2}.$$
 (6.12)

Имеются следующие основные типы радиоактивных превращений.

1. Альфа-распад (испускание ядра атома гелия  $\frac{4}{2}$  He), преобладающий для радионуклидов с большими атомными номерами, записывается в виде:

$${}_{Z}^{M}X \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + {}_{Z-2}^{M-4}Y$$
 (6.13)

где X — исходное материнское ядро, а Y — дочернее ядро продукта распада.

2. Бета-распад (минус) - испускание электрона, происходящий как для естественных, так и для искусственных радионуклидов; электронный распад представляется в виде:

$${}_{Z}^{M}X \rightarrow {}_{-1}e + {}_{Z+1}^{M}Y + \tilde{\nu} \tag{6.14}$$

где  $\tilde{\mathcal{V}}$  – антинейтрино.

- 3. Бета-распад (плюс) с испусканием позитрона и K-захват (захват орбитального электрона ядром) приводят к возникновению одного и того же дочернего ядра распада  ${}_{z,1}^M Y$ .
- 4. Спонтанное деление наблюдается только у ядер тяжелых элементов с  $Z \ge 90$ . При этом делящееся ядро разваливается на два (в редких случаях на три) возбужденных осколка разных масс. Ядра-осколки испускают несколько нейтронов и гамма-квантов, переходя в основное состояние.

### 6.3. Действие ионизирующих излучений

В результате воздействия ионизирующего излучения на организм человека в тканях могут происходить сложные

физические, химические и биологические процессы. Действие ионизирующих излучений на вещество проявляется в ионизации атомов и молекул, входящих в состав вещества.

Мерой этого радиационного воздействия служит поглощенная доза — отношение средней энергии, переданной веществу ионизирующим излучением в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. За единицу поглощенной дозы в СИ принимается грей ( $\Gamma$ p): 1  $\Gamma$ p = 1 Дж/кг. Внесистемной единицей измерения поглощенной дозы является рад (1  $\Gamma$ p = 100 рад).

Для оценки биологического эффекта воздействия излучения произвольного состава потребовалось введение новой характеристики дозы. Эквивалентная доза H — поглощенная доза в органе или такни, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент  $w_R$  данного вида излучения. Коэффициент  $w_R$  учитывает эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов (табл. 6.2).

Фотоны любых энергий		
Электроны и мюоны любых энергий		
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ:	5	
от 10 до 100 кэВ	10	
от 100 кэВ до 2 МэВ		
от 2 до 20 МэВ		
более 20 МэВ	5	
Протоны с энергией более 2 МэВ,		
кроме протонов отдачи		
Альфа-частицы, осколки деления,		
тяжелые ядра		

Единицей измерения эквивалентной дозы в СИ является зиверт (3в). Внесистемной единицей является бэр (1 3в = 100 бэр).

Орган или ткань	$W_T$
Гонады (половые железы)п	0,20
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
	1

Значения взвешивающих коэффициентов  $W_T$ 

«Остальное» состоит из надпочечников, головного мозга, верхнего отдела толстого кишечника, тонкого кишечника, почек, мышечной ткани, поджелудочной железы и матки.

Клетки костных поверхностей

Остальное

Эффективная доза E — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Эффективная доза представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующий взвешивающий коэффициент:

$$E = \sum_{T} w_T \cdot H_T , \qquad (6.15)$$

где  $H_T$  — эквивалентная доза в органе или ткани T;  $W_T$  — взвешивающий коэффициент для органа или ткани с учетом их чувствительности в возникновении стохастических эффектов радиации (табл. 6.3).

До сих пор используется понятие экспозиционной дозы, которая определяет ионизационную способность рентгеновского и

гамма-излучения в воздухе. И хотя в процессе перехода к системным единицам экспозиционная доза подлежит изъятию, тем не менее многие показания дозиметрических приборов и оценка радиационной безопасности продолжают оставаться в единицах этой величины.

Экспозиционная доза X фотонного излучения — отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака в воздухе при полном торможении электронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха с массой dm, к массе воздуха в этом объеме:

$$X = dQ/dm. (6.16)$$

Единицей измерения экспозиционной дозы в системе СИ является кулон на 1 кг воздуха (Кл/кг). Внесистемной единицей является рентген: 1  $P = 2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг.

По существу экспозиционная доза является мерой энергии, которая передана фотонами единице массы воздуха в процессе взаимодействия. Следовательно, можно рассчитать энергетический эквивалент рентгена. Таким образом, при экспозиционной дозе 1 Р вторичными электронами на ионизацию расходуется 87 эрг в 1 г воздуха, или 93 эрг/г в биологической ткани, т.е. всего на 7% отличается от 1 рад. И хотя поглощенная и экспозиционная дозы принципиально разные величины, принимают что экспозиционная доза в 1 Р соответствует поглощенной дозе в 1 рад.

Эквивалентная (эффективная) доза, как мера ожидаемого эффекта облучения для конкретного организма, является индивидуальной дозой. На практике возникает необходимость оценивать эффект при облучении больших групп людей или целых популяций. В этом случае используется понятие коллективной дозы  $H_{\rm S}$ , равной сумме индивидуальных доз:

$$H_{S} = \sum_{i=1}^{n} H_{i} \cdot N_{i} , \qquad (6.17)$$

где  $N_i$  - число лиц данной группы, получивших дозу  $H_i$  .

Единицей коллективной эквивалентной дозы в СИ является человеко-зиверт (чел.-Зв).

Для оценки полного радиационного воздействия от долгоживущих радионуклидов используется понятие ожидаемой

коллективной дозы, которая определяется как доза от какого-либо радиоактивного источника за все время его существования или за определенный длительный промежуток времени.

Значение радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия, называется уровнем вмешательства.

Различные виды ионизирующего излучения значительно разнятся по своему действию на окружающие объекты. Альфа-излучение имеет малую длину пробега частиц и характеризуется слабой проникающей способностью. Пробег альфа-частиц с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 2,5 см, а в биологической ткани лишь 31 мкм, поэтому α-частицы не могут проникнуть сквозь кожные покровы. Альфа-излучающие нуклиды представляют серьезную опасность при попадании внутрь организма через органы дыхания и пищеварения, открытые раны и ожоговые поверхности.

Бета-излучение обладает большей проникающей способностью. Пробег бета-частиц в воздухе может достигать нескольких метров, а в биологической ткани нескольких сантиметров. Так, пробег электронов с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 17,8 м, а в биологической ткани - 2,6 см.

Гамма-излучение имеет еще более высокую проникающую способность, пробеги фотонов в воздухе измеряются уже километрами. Под действием гамма-излучения происходит облучение всего организма.

Биологический эффект от действия тепловых нейтронов в основном обусловлен двумя реакциями:  $H(n, \gamma)^2 H$  и  $^{14}N(n, p)^{14}C$ . Основной эффект воздействия на биологическую ткань происходит под действием протонов, образующихся в результате реакции (n,p) и теряющих всю свою энергию в месте рождения.

Для быстрых нейтронов решающее значение имеет рассеяние нейтронов на протонах. Дальнейшее выделение энергии происходит в результате ионизации среды протонами отдачи.

Действия излучения на организм имеет следующие особенности:

• высокая эффективность поглощенной энергии (малые количества поглощенной энергии излучения могут вызвать глубокие биологические изменения в организме);

- наличие скрытого (инкубационного) проявления действия ионизирующего излучения (этот период часто называют периодом мнимого благополучия, продолжительность его сокращается при больших дозах облучения);
- действие от малых доз может суммироваться или накапливаться (эффект кумуляции);
- излучение воздействует не только на данный живой организм (соматический эффект), но и на его потомство (генетический эффект);
- различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению;
- не каждый организм в целом одинаково реагирует на облучение, что проявляется лишь при небольших поглощенных дозах (чем моложе человек, тем выше его чувствительность к облучению, особенно высока она у детей);
- облучение зависит от частоты (одноразовое (острое) облучение в большой дозе вызывает более глубокие последствия, чем фракционированное);
- радиационное воздействие на организм активизирует защитные системы (репарации, адаптации).

При попадании радиоактивных веществ внутрь организма поражающее действие оказывают в основном альфа-частицы, а затем бета-частицы и гамма-излучение, т.е. в обратной последовательности по отношению к внешнему облучению.

Степень опасности зависит существенно от скорости выведения радиоактивного вещества из организма. Продолжительное время удерживаются в организме элементы с большим атомным номером (полоний, уран и др.). Элементы, образующие в организме легкорастворимые соли и накапливаемые в мягких тканях, достаточно легко удаляются из организма.

Если обозначить за  $T_6$  период биологического полувыведения радионуклида из организма, то можно ввести эффективный период полувыведения, учитывающий радиоактивный распад и биологическое выведение:

$$T_{9\phi} = \frac{T_{1/2} \cdot T_6}{T_{1/2} + T_6} \,, \tag{6.18}$$

который отличается широким разнообразием от нескольких часов ( $^{24}$ Na,  $^{64}$ Cu) и дней ( $^{131}$ I,  $^{32}$ P) до десятков лет ( $^{226}$ Ra,  $^{90}$ Sr).

В табл. 6.4 приведены значения доз (ЛД $_{50}$ ) для различных организмов, при облучении которыми 50% особей погибает.

Таблица 6.4 Летальные дозы ЛД $_{50}$  общего острого облучения

Тип организмов	Средние дозы,
	Гр
Вирусы, бактерии	5000
Простейшие	2000
Водоросли	1000
Низшие растения	600
Древесные растения	400
Хвойные деревья	8
Кишечнополостные	1500
Насекомые	1500
Черви	1000
Моллюски	500
Рептилии	25
Рыбы	30
Птицы	12
Млекопитающие	8
Человек	3,5

Наблюдается следующая закономерность: чем сложнее биологическая организация, тем ниже летальное значение дозы. Обращает на себя внимание низкое значение летальной дозы для хвойных деревьев. Наблюдения после взрыва в г. Кыштыме (1957 г.) контейнера с высокорадиоактивными отходами показали, что все сосны, получившие для игл дозу свыше 30 - 40 Гр, погибли в течение двух лет после аварии.

В то же время после нескольких лет с момента данной аварии не было установлено никакого экологического воздействия на планктон или водные растения в наиболее сильно загрязненных озерах.

Отмечена стимуляция организмов внешним воздействием малых доз, благоприятное действие. Такое явление получило название *гормезиса*.

## 6.3.1. Нормирование радиационной безопасности

Нормы радиационной безопасности НРБ-99 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
  - в результате радиационной аварии;
  - от природных источников излучения;
  - при медицинском облучении.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв:
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;
- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв;
- на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием.

Основу системы радиационной безопасности составляют современные международные научные рекомендации, которые надежно гарантируют безопасность работающих с источниками излучения и всего населения.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами.

1. Принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения.

- 2. Принцип обоснования запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, если польза не превышает риск возможного вреда, причиненного облучением.
- 3. Принцип оптимизации поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц.

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз;
- допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления, допустимые среднегодовые объемные активности и другие;
- контрольные уровни (дозы, активности, плотности потоков и др.).

В табл. 6.5 приведены основные годовые пределы доз для различных категорий облучаемых лиц, которые не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать значений, установленных в табл. 6.5.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих обучение с использованием источников, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для группы Б.

Основные пределы доз для персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы A.

#### Основные годовые пределы доз

Нормируемые	Пределы доз		
величины			
	Персонал (группа А)	Население	
Эффективная доза	20 мЗв/год в среднем за	1 мЗв/год в среднем за	
	любые последователь-	любые последователь-	
	ные 5 лет, но не более	ные 5 лет, но не более	
	50 мЗв/год	5 мЗв/год	
Эквивалентная доза:			
в хрусталике глаза,	150 мЗв	15 мЗв	
в коже,	500 мЗв	50 мЗв	
в кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв	

# 6.4. Радиоактивность окружающей среды

Жизнь на Земле возникла и продолжает развиваться в условиях постоянного облучения (рис. 6.2). Данный радиационный фон Земли складывается из трех компонентов:

- 1) космического излучения;
- 2) излучения от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
- 3) излучения от искусственных (техногенных) радионуклилов.

Облучение источниками ионизирующего излучения делится на внешнее и внутреннее. Внешнее облучение обусловлено источниками, расположенными вне тела человека. Источниками внешнего облучения являются космическое излучение и наземные источники.

Источники внутреннего облучения – радионуклиды, попадающие в организм человека. Основную часть облучения организмы получают от естественных источников, содержащихся в атмосфере, земной коре, воде и биоте.

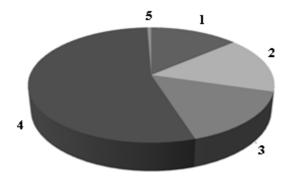


Рис. 6.2. Распределение дозовой нагрузки на население от естественных источников излучений: I — космическое излучение 13,7%; 2 — внешнее облучение 15,9%; 3 — внутреннее облучение 15,5%; 4 — радон 54,3%; 5 - прочее 0,6%

#### 6.4.1. Космическое излучение

Космическое излучение складывается из частиц, захваченных магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят протоны, альфа-частицы, ядра легких элементов, имеющие очень большие энергии. Это так называемое первичное космическое излучение, взаимодействуя с атмосферой Земли, порождает вторичное излучение.

Основной часть ионизирующей компоненты вторичного космического излучения являются электроны, образующиеся при взаимодействии с воздухом и распаде мюонов. На уровне моря в воздухе создаются приблизительно 2,1 пары ионов/(см $^3$ ·с), что соответствует 240 мкЗв/год.

Другим источником вторичной компоненты являются нейтроны. Средняя плотность потока нейтронов составляет 130 нейтр./( $\text{м}^2$ ·с) и определяет мощность эквивалентной дозы 65 мкЗв/год для широты местности  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ .

Величина мощности дозы космического излучения сильно зависит от солнечной активности, широты местности и высоты над земной поверхностью. Среднее значение годовой дозы от

космического излучения на уровне моря составляет 0,4 мЗв, а на высоте 4 км, где на склонах Эвереста расположена деревня шерпов, уже 1,8 мЗв/год.

К дополнительному облучению приводят авиаперелеты. Коллективная эффективная доза от глобальных авиаперевозок достигает  $10^4$  чел.-Зв, что составляет в мире на душу населения в среднем 1 мкЗв/год, а в Северной Америке около 10 мкЗв/год.

При орбитальных полетах на околоземных орбитах на небольших (до 400 км) высотах доза облучения космонавтов не превышает 0,05 мЗв в сутки. При орбитальных полетах космонавты могут подвергаться излучению, возникающему при солнечных вспышках, и доза может возрасти до нескольких сотен зивертов за вспышку. Наконец, значительно более высокие уровни облучения возможны при пересечении радиационных поясов Земли. Например, на высоте 2 – 3 тыс. км от поверхности Земли в центральной зоне радиационного пояса мощность дозы может достигать 8 Зв/сут.

Под влиянием космических лучей в результате ядерных реакций, идущих в атмосфере, образуются радиоактивные ядра — космогенные радионуклиды. Среди них наибольшую радиоэкологическую значимость имеют тритий  $^3{\rm H}$  и радиоуглерод  $^{14}{\rm C}$  (табл. 6.6).

Таблица 6.6 Основные радионуклиды, образующиеся под действием

космических лучей

Радионуклид	Период	Способ	Пределы ко	нцентрации
	полураспада	образования	воздух,	дождь,
			$Б\kappa/(10^3 \text{ м}^3)$	$Б\kappa/(10^3 \text{ л})$
$^{3}\mathrm{H}$	12,3 года	$^{14}N(n,^{12}C)^{3}H$	0,02-0,2	200 - 4000
<sup>7</sup> Be	53 дн.	Спаллация		
		(N, O)	0.08 - 30	400 - 4000
<sup>22</sup> Na	2,6 дн.	Спаллация (Ar)	$(2-8)\cdot 10^{-4}$	0,004 -
				0,04
<sup>14</sup> C	5730 лет	$^{14}N(n,p)^{14}C$		40

Под спаллацией понимается процесс раскалывания ядра на мелкие ядра-осколки под воздействием высокоэнергетических частиц.

В формирование дозы наибольший вклад из космогенных элементов вносят именно тритий и радиоуглерод, поступающие с пищей в организм человека (табл. 6.7). Эти радионуклиды, накапливаясь в органах и тканях, становятся источником длительного внутреннего облучения. Характер его зависит от физико-химических свойств радионуклидов, среди них особое место занимает <sup>14</sup>С, поскольку является изотопом основного биогенного элемента. Биологическое действие его связывают не только с радиационными, но и с трансмутационными эффектами при превращении атомов <sup>14</sup>С в атомы <sup>14</sup>N в результате бета-распада, ведущими к неустранимым организмом мутациям.

Взрослый человек потребляет с пищей не менее 95 кг углерода в год при средней удельной активности углерода 230 Бк/кг. Воздействию радионуклида <sup>14</sup>С подвергаются все представители растительного и животного мира. Отсутствие явного генетического нарушения в результате облучения естественным радиоуглеродом, видимо, связано с выработкой в ходе эволюции защитных механизмов. Но с увеличением доз облучения эти механизмы могут оказаться недостаточно эффективными.

Таблица 6.7 Среднее годовое поступление основных космогенных радионуклидов в организм человека

Радионуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
<sup>3</sup> H	250	0,01
<sup>7</sup> Be	50	0,03
<sup>14</sup> C	20 000	12
<sup>22</sup> Na	50	0,01

Суммарный вклад всех космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу в среднем составляет 10 мкЗв в год.

#### 6.4.2. Внешнее облучение от радионуклидов земного происхождения

В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от  $10^7$  лет и выше. В почве присутствуют такие долгоживущие радионуклиды, как  $^{40}$ K ( $T_{1/2}=1,3\cdot10^9$  лет), переходящий в  $^{40}$ Ca;  $^{87}$ Rb ( $T_{1/2}=4,7\cdot10^{10}$  лет), переходящий в  $^{87}$ Sr;  $^{238}$ U;  $^{232}$ Th и др.

Последние два радионуклида являются родоначальниками радиоактивных рядов. Всего имеется три радиоактивных семейства: урана-радия ( $^{238}$ U), тория ( $^{232}$ Th) и актиния ( $^{235}$ U), в которых в результате распада постоянно образуются радиоактивные изотопы.

В качестве примера на рис. 6.3 приведена схема распада  $^{238}_{92}$  U . Родоначальник семейства -  $^{238}_{92}$  U (см. рис. 6.3) в природных условиях всегда находится в равновесии с короткоживущими продуктами распада, точно также и  $^{226}_{88}$ Ra находится в равновесии с продуктами его распада вплоть до  $^{210}_{82}$  Pb , а при времени более 200 лет (10 периодов полураспада самого долгоживущего) - до конечного стабильного изотопа  $^{206}_{82}$  Pb .

Для полного равновесия  $^{238}_{92}$ U необходимо время  $^{2},48\cdot 10^{6}$  лет и если бы в земной коре не происходила миграция, то радиоактивное равновесие всегда бы существовало. Для минералов и пород такое равновесие выполняется, поскольку миграция в них ничтожна.

Подвижность многих дочерних радионуклидов в земной коре значительно превышает материнские. Поэтому эти радионуклиды оказываются вездесущими и в рассеянном состоянии присутствуют практически всюду. Особенно велика роль в радиационном воздействии на человека входящего в этот ряд радона  $^{222}_{86}Rn$ .

Альфа-распад в семействе  $^{238}_{92}U$  сопровождается слабым гамма-излучением и им можно пренебречь, но бета-излучатели испускают очень интенсивное гамма-излучение, основными источниками которого являются  $^{214}_{82}Pb$  и  $^{214}_{83}Bi$ . В ряду имеется

газообразный изотоп - радон  $^{222}_{86}Rn$  .

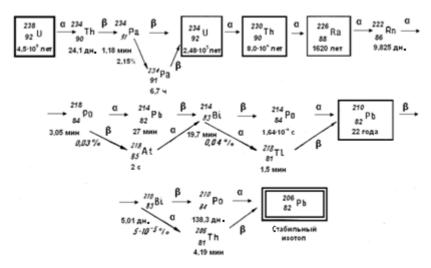


Рис. 6.3. Схема распада ряда урана-радия с конечным продуктом  $^{206}_{82} Pb$ 

Ряд актиния  $^{235}$ U ( $T_{1/2}=7,13\cdot10^8$  лет, в природном уране – 0,715%) с конечным изотопом  $^{207}_{82}$ Pb в природе отдельно не встречается и всегда сопутствует уран-радиевому семейству.

Поскольку  $^{235}$ U составляет 1/140 часть природного урана, то излучение составляет малую долю от  $^{238}$ U (не более 1% по альфа- и гамма-излучению), и его можно не учитывать. Среди бета-излучателей только два изотопа  $^{231}_{90}$ Th и  $^{211}_{82}$ Pb испускают гамма-излучение заметной интенсивности. В ряду имеется также газообразный изотоп радона – актинон  $^{219}_{86}$ Rn .

В ряду тория <sup>232</sup>Th ( $T_{1/2} = 1,4\cdot 10^{10}$  лет) с конечным изотопом <sup>208</sup>Pb относительно долгоживущими являются только два изотопа с  $T_{1/2} < 7$  лет. Остальные изотопы имеют период полураспада менее

4 сут, поэтому все члены ряда находятся в равновесии с  $^{232}Th$ . Все альфа-излучение состоит из частиц больших энергий, а практическое значение имеют только изотопы тория, радия, радона и полония. Гамма-излучатели, дающие основной (99%) вклад — это  $^{228}_{88}Ra$  и  $^{228}_{90}Th$ , а также продукты их распада. В семействе присутствует газообразный продукт радона — торон  $^{220}_{86}Rn$ .

Физические характеристики некоторых из радионуклидов представлены в табл. 6.8.

 Таблица 6.8

 Радиоактивные изотопы, изначально присутствующие на Земле

Радионуклид	Весовое содержание в земной коре	Период полураспада, лет	Тип распада, вид излучения
Уран-238	3,0·10 <sup>-6</sup>	4,5·10 <sup>9</sup>	Альфа-распад
Торий-232	8,0·10 <sup>-6</sup>	1,4·10 <sup>10</sup>	Альфа-распад (γ-излучение)
Калий-40	3,0·10 <sup>-6</sup>	1,3·109	Бета-распад (ү-излучение)
Ванадий-50	4,5·10 <sup>-7</sup>	5,0.1014	Гамма-излучение
Рубидий-87	8,4·10 <sup>-5</sup>	4,7·10 <sup>10</sup>	Бета-распад
Индий-115	1,0.10-7	6,0.1014	Бета-распад
Лантан-138	1,6·10 <sup>-8</sup>	1,1·10 <sup>11</sup>	Бета-распад (ү-излучение)
Самарий-147	1,2·10 <sup>-6</sup>	1,2·10 <sup>11</sup>	Альфа-распад
Лютеций-176	3,0.10-8	2,1·10 <sup>10</sup>	Бета-распад (ү-излучение)

Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников, составляет около 0,48 мЗв. Однако уровень земной радиации

неодинаков в различных районах. Например, в 200 км к северу от города Сан-Пауло (Бразилия) есть небольшая возвышенность, где уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 260 мЗв в год. На юго-западе Индии 70000 человек живут на узкой прибрежной полосе, вдоль которой тянутся пески, богатые торием. Эта группа лиц получает в среднем 3,8 мЗв в год на человека.

Как показали исследования, во Франции, ФРГ, Италии, Японии и США около 95% населения живут в местах с дозой облучения от 0,3 до 0,6 мЗв в год, 3% населения получают в среднем 1 мЗв в год и около 1,5% населения более 1,4 мЗв в год.

Человек, находящийся в помещении, защищен от внешнего излучения самим зданием, но с другой стороны подвергается облучению за счет естественных радионуклидов, находящихся в материалах, из которого построено это здание. В зависимости от концентрации изотопов  $^{40}$ K,  $^{226}$ Ra и  $^{232}$ Th в строительных материалах мощность дозы в домах изменяется от  $4\cdot10^{-8}$  до  $12\cdot10^{-8}$  Гр/ч. В среднем в кирпичных, каменных и бетонных зданиях мощность дозы в 2-3 раза выше, чем в деревянных домах.

# 6.4.3. Внутреннее облучение радионуклидов земного происхождения

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят  $^{40}$ K,  $^{87}$ Rb и нуклиды рядов  $^{238}$ U и  $^{232}$ Th (табл. 6.9).

Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1,35 мЗв/год. Наибольший вклад (75% годовой дозы) дают не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких продуктами своего распада.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для различных участков земного шара. Однако большую часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом непроветриваемом помещении, в котором источниками радона

являются строительные материалы. Большой удельной активностью обладают гранит, пемза, шлак и ряд других материалов. Радон также проникает в помещение из земли через различные трещины в межэтажных перекрытиях, через вентиляционные каналы и т.д.

Таблица 6.9 Среднегодовая эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения

Радионуклид	Период полураспада	Доза, мкЗв
<sup>40</sup> K	1,3 10 <sup>9</sup> лет	180
<sup>87</sup> Rb	4,75 10 <sup>10</sup> лет	6
<sup>210</sup> Po	138 сут	120
<sup>220</sup> Rn	54 c	160
<sup>222</sup> Rn	3,8 сут	1100
<sup>226</sup> Ra	1600 лет	13

Вклад в дозу внутреннего облучения вносят удобрения. Ежегодно используется несколько десятков миллион тонн фосфатов, содержащих большую концентрацию урана. Содержащиеся в удобрениях радионуклиды поступают из почвы в пищевые продукты, приводят к повышению радиоактивности молока и других продуктов питания.

В целом, суммарная доза внешнего и внутреннего облучения от естественных источников радиации в среднем равна 2 мЗв в год. Для отдельных контингентов населения она может превышать средний уровень на порядок и более.

## 6.5. Техногенная радиоактивность

В результате деятельности человека в окружающей среде появились искусственные радионуклиды и источники излучения.

Основные физические процессы, в результате которых образуются искусственные радионуклиды, — это ядерное деление, синтез и нейтронная активация. Кроме того, в природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами.

В настоящее время основной вклад в дозу от источников, радиоактивное облучение человеком, вносит созданных медицинской диагностике И лечении. Отметим некоторые закономерности, которые характерны при использовании ионизирующих излучений в медицине для различных стран мира в настоящее время:

- частота использования излучений в диагностике превышает частоту в терапии почти в 500 раз и вклад терапии в дозовую нагрузку пренебрежимо мал;
- доля рентгенодиагностики составляет 78% от полного числа процедур, доля стоматологии и ядерной медицины -21 и 1% соответственно;
  - средняя годовая индивидуальная доза 0,4 мЗв;
- использование радиации в медицине в значительной мере зависит от уровня здравоохранения в разных странах (отличие по частоте использования до 1500 раз, по дозовой нагрузке до 300 раз).

#### 6.5.1. Глобальные выпадения

При испытании ядерного оружия огромное количество радиоактивных веществ уносится в атмосферу. Важную роль играет антропогенный <sup>14</sup>С, который образуется подобно природному, когда нейтроны, возникающие в большом количестве при взрыве ядерных бомб, поглощаются ядрами <sup>14</sup>N. Количество радионуклида зависит от типа бомбы (атомная или термоядерная), ее конструкции (используемые материалы) и мощности (плотность потока нейтронов). Величина выхода радиоуглерода при взрывах по реакции синтеза принята равной 0,65 ПБк/Мт, по реакции деления почти в пять раз меньше (0,12 ПБк/Мт). Подсчитано, что со времени

взрыва первой атомной бомбы в 1945 г. до 1980 г. образовалось 249,2 ПБк  $^{14}\mathrm{C}$ .

С 1981 г. испытания ядерного оружия в атмосфере прекратились, и предприятия ядерно-топливного цикла оказались единственным мощным источником антропогенного <sup>14</sup>С, способным заметно повышать концентрацию в биосфере Земли. Этот нуклид образуется в активной зоне атомных реакторов любого типа, где существуют мощные потоки нейтронов, которые взаимодействуют с материалами конструкций реактора, с веществом теплоносителя, замедлителя, топлива и имеющимися в них примесями.

Радиоуглерод очень подвижен и с мест выбросов в результате атмосферных процессов переносится на большие расстояния и, окисляясь до  $^{14}{\rm CO}_2$ , вступает в естественный круговорот углерода, а затем по пищевым цепочкам поступает животным и человеку.

За время интенсивных испытаний ядерного оружия содержание  $^{14}\mathrm{C}$  в растительных продуктах, молоке, мясе повысилось примерно в два раза по сравнению с природным фоном.

Испытания ядерного оружия в период 1954 — 1962 гг. стали одной из основных причин повышения радиационного фона Земли и, как следствие этого, глобального повышения доз внешнего и внутреннего облучений населения.

В США, СССР, Франции, Великобритании и Китае в общей сложности проведено не менее 2060 испытаний атомных и термоядерных зарядов в атмосфере, под водой и в недрах Земли, из них в атмосфере 501 испытание. По оценкам во второй половине XX в. за счет ядерных испытаний во внешнюю среду поступило  $1.81\cdot10^{21}$  Бк продуктов ядерного деления.

Продукты ядерного деления (ПЯД) представляют собой сложную смесь более чем 200 радиоактивных изотопов 36 элементов (от цинка до гадолиния). Большую часть активности составляют короткоживущие радионуклиды. Кроме ПЯД радиоактивное загрязнение обусловлено радионуклидами наведенной активности  $^{3}$ H,  $^{14}$ C,  $^{28}$ Al,  $^{24}$ Na,  $^{56}$ Mn,  $^{59}$ Fe,  $^{60}$ Co и др.

При ядерных взрывах в атмосфере значительная часть осадков выпадает вблизи района испытаний. Находясь в воздухе примерно месяц, радиоактивные вещества во время этого перемещения постепенно выпадают на Землю. Радиоактивные

продукты удаляются из атмосферы двумя основными механизмами: вымыванием с помощью осадков и сухим выпадением. Первый процесс включает в себя поступление радионуклидов в капли дождевой воды и последующее выпадение вещества на поверхность земли. Сухое выпадение играет большую роль в пределах лежащего у поверхности слоя, где переносимая ветром радиоактивность может контактировать с поверхностью. Выпавшие на поверхность вещества могут впоследствии снова перейти в атмосферу, и этот процесс ресуспензии может продолжаться над загрязненной территорией в течение длительного времени.

Выпавшие радиоактивные вещества могут приводить к внешнему облучению, а также включаться в пищевые цепи. Скорость процессов выпадения определяет интенсивность и распространение загрязнения наземных и водных экосистем. Однако, дозы облучения населения от глобальных выпадений незначительны.

Так, в 1963 г. коллективная среднегодовая доза, связанная с ядерными испытаниями, составила 7% дозы облучения от естественных источников. К 1966 г. она снизилась до 2%, а к началу 80-х годов уменьшилась до 1%. В дальнейшем формирование доз будет происходить практически только за счет <sup>14</sup>С.

Суммарная ожидаемая коллективная эффективная доза от всех испытаний, произведенных к настоящему времени, составит в будущем около 30 млн чел.-Зв. К 1980 г. человечество получило лишь 12% этой дозы. Из этой суммарной дозы основной вклад дадут следующие радионуклиды:  $^{14}$ C – 69% общей дозы;  $^{137}$ Cs – 14%;  $^{95}$ Zr – 5,3%;  $^{90}$ Sr – 3,2%;  $^{106}$ Ru – 2,2%;  $^{144}$ Ce – 1,4%;  $^{3}$ H – 1,2%;  $^{131}$ I – 0,9% (табл. 6.10).

Средний уровень современного глобального загрязнения по  $^{137}\mathrm{Cs}$  составляет 3000 Бк/м $^2$  (0,08 Ки/км $^2$ ), а по  $^{90}\mathrm{Sr}-1700$  Бк/м $^2$  (0,045 Ки/км $^2$ ). Для сравнения в результате Чернобыльской аварии площадь районов с загрязнением более 1500 Бк/м $^2$  (40 Ки/км $^2$ ) составила 7000 км $^2$ , а в локальных точках до 7500 Бк/м $^2$  (200 Ки/км $^2$ ). Критическими радионуклидами загрязнения являются цезий (79,3%), стронций (19,8%) и плутоний (0,9%).

Таблица 6.10

Выход некоторых продуктов деления
при ядерном взрыве в атмосфере

Элемент	Период	Выход на	Активность,
	полураспада	деление, %	$10^{15}$ Бк/1 Мт
<sup>89</sup> Sr	50,5 сут	2,56	590
<sup>90</sup> Sr	28,6 лет	3,5	3,9
<sup>95</sup> Zr	64 сут	5,07	920
<sup>103</sup> Ru	39,5 сут	5,2	1500
<sup>106</sup> Ru	368 сут	2,44	78
<sup>131</sup> I	8 сут	2,90	4200
<sup>136</sup> Cs	13,2 сут	0,036	32
<sup>137</sup> Cs	30,2 лет	5,57	5,9
<sup>140</sup> Ba	12,8 сут	5,18	4700
<sup>141</sup> Ce	32,5 сут	4,58	1600
<sup>144</sup> Ce	284 сут	4,69	190
<sup>3</sup> H	12,3 лет	0,01	2,6·10 <sup>-2</sup>

В табл. 6.11 приведено сравнение выбросов некоторых радионуклидов при ядерных взрывах и авариях на ядерных реакторах в Чернобыле и Виндскейле (Англия).

Таблица 6.11 Сравнение выбросов радионуклидов от различных источников

Радионуклид	Выброс радиоактивности, ГБк			
	Хиросима	Испытания	Чернобыль	Виндскейл
	1945 г.	1954-62 гг.	1986 г.	1957 г.
<sup>137</sup> Cs	0,1	1500	89	0,044
<sup>134</sup> Cs	_	_	48	0,0011
<sup>90</sup> Sr	0,085	1300	7,4	0,00022
<sup>133</sup> Xe	140	2.100.000	4400	14
<sup>131</sup> I	52	780.000	1300	0,59

На рис. 6.4 показано изменение основного долгоживущего загрязнителя от прошедших ядерных испытаний.

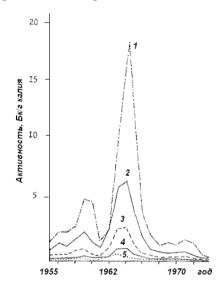


Рис. 6.4. Изменение содержания  $^{137}$ Cs в различных продуктах питания: I – зерновые продукты; 2 – мясо; 3 – молоко; 4 – фрукты; 5 – овощи

# 6.5.2. Облучение, обусловленное технологически повышенным радиационным фоном

В настоящее время уголь является наиболее важным в мире горючим ископаемым. Ежегодно сжигается несколько миллиардов тонн угля и около 70% используется для производства энергии. В табл. 6.12 приведены данные по радиоактивности углей и продуктов сжигания. Так, в золе угля содержание естественных радионуклидов возрастает примерно на порядок величины вследствие исключения органического компонента при его сжигании.

Исследование окружающей среды вокруг угольных электростанций показывает, что для всех радионуклидов, приведенных в этой таблице, концентрации оказываются в 10 раз выше, чем естественные уровни.

Попадая в атмосферу вместе с золой, естественные радионуклиды становятся источниками дополнительного облучения

населения, проживающего в районе расположения ТЭС за счет ингаляционного поступления, а выпадающие на поверхность радионуклиды поступают в организм человека с пищевыми продуктами, вдыхаемым воздухом и питьевой водой.

Таблица 6.12 Концентрация некоторых радионуклидов в углях и золе, Бк/кг

Радионуклид	Уголь	Шлак	Зола
$^{238}U$	9 - 31	56 – 185	70 - 370
$^{234}U$	19	92	160
<sup>232</sup> Th	9 – 19	59	81 - 174
<sup>226</sup> Ra	7 - 25	20 – 166	85 - 281
<sup>40</sup> K	26 - 130	230 - 962	233 - 740

Большая часть мировых запасов нефти приурочена к богатым органическим веществом глинистым сланцам. Благодаря присутствию урансодержащих фосфатов концентрация урана в них достигает 1000 г/т и более. Нефть и газ поступают из пробуренных скважин с примесью растворенных солей, в которых радиоактивность может достигать величины 15 000 Бк/г.

При добыче газа оценочное значение мирового годового выброса  $^{222}$ Rn достигает 1900 ТБк (50 000 Ки).

Использование фосфорных удобрений в сельском хозяйстве, приводящее к усвоению естественных радионуклидов растениями из почвы, и отходов фосфатного производства в качестве строительных материалов (гипса) является дополнительным источником облучения.

Широкое использование во всем мире большого количества потребительских товаров, содержащих естественные радионуклиды, также является источниками дополнительного облучения. Оценка среднегодовой дозы приводит к величине 10 мкЗв.

Тем не менее хотя техногенная радиоактивность может оказаться даже больше, чем вышеприведенные значения, она на порядок меньше, чем естественная эмиссия радионуклидов в атмосферу.

В табл. 6.13 сопоставляются данные (1981 г.) по естественной и техногенной эмиссии в атмосферу по различным путям поступления. Сравнение приводится в пересчете выбросов вещества на поток ионизирующей энергии с учетом дочерних изотопов.

Отметим, что одно из следствий сжигания ископаемого топлива, получившее название эффекта Зюсса, — снижение атмосферной радиоактивности, поскольку несколько миллиард тонн углерода, поступающего ежегодно в атмосферу в виде  $CO_2$ , не содержат радиоактивный  $^{14}C$ .

Таблица 6.13 Относительные уровни эмиссии, пересчитанные на поток энергии, Дж/с

Радионуклид	ДТК	Уголь	Газ и нефть	Естественные
				источники
<sup>222</sup> Rn	53 000	3000	75 000	120 000 000
<sup>226</sup> Ra	0,22	10	20	1100
<sup>210</sup> Pb	8	26	18	19 000

Сводка данных по средним годовым индивидуальным эквивалентным дозам для населения земли, приведенным к настоящему времени, представлена в табл. 6.14.

Таблица 6.14 Средние значения эффективных эквивалентных доз облучения

Источники	Вид	Годовн	ые дозы
	облучения	облучен	ия, мкЗв
		в мире	в России
Естественные:			
Космическое излучение	Внешнее	400	300
	Внутреннее		
Природные радионуклиды	Внешнее	450	300
	Внутреннее	630	650
Техногенный фон:			
Нахождения в помещениях	Внешнее	50	100
	Внутреннее	970	950
Полеты на самолетах	Внешнее	0,5	-
Удобрения	Внешнее	$3,4\cdot10^{-1}$	$3,5\cdot10^{-2}$
	Внутреннее	1,1	0,1
Угольные ТЭС	Внешнее	$2,0.10^{-2}$	$5,0.10^{-2}$
(Россия – 76 ГВт (эл);	Внутреннее	0,5	1,9
Мир – 1000 ГВт (эл))			_
АЭС	Внешнее	-	$9,0.10^{-2}$
(Россия – 14 ГВт (эл);	Внутреннее	0,1	$8,0.10^{-2}$
Мир – 80 ГВт (эл))			
Отопление и			
приготовление пищи		-	-
Предметы ширпотреба		1,0	-
Искусственный фон:			
Медицинские процедуры	Внешнее	1000	1700
Ядерные взрывы	Внешнее		10
	Внутреннее	10	13
Итого:		3400	4000

## 6.6. Биосферный перенос радионуклидов

Радионуклиды могут существовать в различных физических и химических формах в зависимости от условий выброса и переноса (газы, аэрозоли и частицы). Газы могут быть инертными, как

благородные газы, или реакционно-способные, как йод. Частицы с высокой активностью («горячие частицы») могут образовываться при ядерных взрывах и авариях реакторов.

При выбросах антропогенных радионуклидов их дальнейшее поведение проявляется в биогеохимических процессах. Данные радионуклиды попадают в наземные экосистемы из атмосферы, через поверхностные воды или из грунтовых вод и их дальнейшее поведение определяется химической формой. Большое значение имеют пути миграции радионуклидов в пресных водах, особенно в озерах, так как эти экосистемы особенно чувствительны к загрязнению.

Перенос радионуклидов из атмосферы на растительность включает в себя процессы выпадения, поглощения и удержания. Существуют два способа поглощения радионуклидов растениями – листвой и корнями. Эффективность этих процессов определяется временем нахождения загрязняющего вещества на поверхности растения и способностью корней различных видов растений поглощать из раствора разные радионуклиды. После поглощения радионуклиды могут переместиться выше или ниже точки проникновения.

Затем перенос радионуклидов с пастбища в организм животного и включение их в метаболизм оценивается коэффициентом переноса «растение — животное», который определяется как отношение концентрации радионуклида в мясе или молоке к суточному потреблению корма.

**Благородные газы** (Kr, Xe). Такие газы освобождаются в результате работы предприятий ЯТЦ, а также при испытаниях ядерных зарядов и при авариях. Все они имеют короткий период полураспада (за исключением изотопа  $^{85}$ Kr  $\sim 10,4$  года), химически инертны и имеют очень слабую адсорбцию.

**Йод.** Он относится к группе галогенов и является продуктом деления, который может выделяться из неисправного тепловыделяющего элемента. Особенно важен изотоп  $^{131}$ I ( $T_{1/2} \approx 8$  дн.), который может поступать в атмосферу в различных формах (газ или аэрозольная фракция), а также образовывать органические соединения. Сразу после аварийных выбросов становится радионуклидом первейшей важности. Характерной особенностью

обмена йода служит способность его накапливаться в щитовидной железе.

**Тритий**. Он обладает большим периодом полураспада (12,3 лет) и вследствие этого является глобальным загрязнителем природных комплексов. Достаточно легко рассеивается в окружающей среде вследствие своей химической идентичности с водородом и обладает большой миграционной способностью. Кроме того, тритий способен проникать через кожу животного и человека, если он представлен в виде тритированной воды.

Слаболетучие радионуклиды. Это, прежде всего, долгоживущие ( $T_{1/2} \approx 30$  лет)  $^{137}\mathrm{Cs}$  и  $^{90}\mathrm{Sr}$ , представляющие главную опасность при загрязнении природных объектов после ядерных аварий. Цезий более летуч, чем стронций, и его миграция из ядерного топлива выше. При контакте с водой он может растворяться и становиться доступным для поглощения живыми организмами. В период испытаний ядерного оружия нахождение радиоцезия  $^{137}\mathrm{Cs}$  в арктических и альпийских экосистемах играло исключительно важную роль с точки зрения воздействия на человека. Хорошими концентраторами радиоцезия служат мхи и лишайники, в которых его активность часто на порядок выше, чем в высших растениях этих же экосистем.

Таблица 6.15 Некоторые значения коэффициентов переноса «почва – растение»

Радионуклид	Культура	Значение КП
<sup>137</sup> Cs	Пшеница (зерно)	0,018
	Картофель (клубень)	0,1
	Травы	0,21
<sup>90</sup> Sr	Зерновые (зерно)	0,13
	Картофель (клубень)	0,17
	Бобы (боб)	1,2
	Травы	1,3
	Зеленые овощи	2,3

В табл. 6.15 приведены для  $^{137}$ Cs и  $^{90}$ Sr значения коэффициентов переноса (КП) из почвы в растения, определяемые как отношение удельной активности (Бк/кг) сухой культуры к активности сухой почвы (Бк/кг). Наибольшее количество радионуклидов накапливается в листовой части растений.

В табл. 6.16 приведены данные по активности <sup>137</sup>Cs в загрязненном сосновом лесу вблизи Чернобыля в 1990 г., показывающие, что большая часть активности сосредоточилась в органическом слое почвы. Важным фактором воздействия радиоактивного загрязнения на лесные массивы является время года. Например, лиственные леса в меньшей степени подверглись риску после Чернобыльской аварии, поскольку в это время года слабо поглощают радиоактивность.

Таблица 6.16 Распределение активности  $^{137}\mathrm{Cs}$  в лесном массиве

Компоненты	Активность,	Распределение,
леса	МБк/га	%
Хвоя	47	-
Побеги	189	-
Кора	201	1,4
Древесина	108	-
Подстилка	1612	4,3
Почва		
0 - 2 см	30350	80,7
2 - 5 см	4048	10,8
5 - 10 см	1045	2,8

**Нелетучие элементы** (церий, цирконий). Такие элементы могут выбрасываться в окружающую среду только в определенных условиях и в виде мельчайших частиц разноситься ветром.

На рис. 6.5 показаны основные пути поступления радионуклидов в организм человека. Среди основных естественных элементов находится  $^{40}$ K, а также долгоживущие радионуклиды рядов  $^{238}$ U и  $^{232}$ Th. В регионах со средним уровнем естественной

радиации годовое поступление  $^{238}$ U оценивается в 5 Бк,  $^{226}$ Ra с пищей – 15 Бк,  $^{222}$ Rn от 20 до 200 Бк.

Значительное количество искусственных радионуклидов поступает в организм человека в результате загрязнения окружающей среды. Например, наиболее важными радионуклидами после Чернобыльской аварии, поступившими с загрязненными продуктами питания, являлись <sup>131</sup>I и <sup>137</sup>Cs. Концентрация последнего радионуклида составила в мясе оленей 10 кБк/кг в Швеции, а в грибах на территории Германии до 250 Бк/кг. Большие концентрации <sup>137</sup>Cs были отмечены в озерной рыбе. Проведенные исследования показали, что 50% дозы внутреннего облучения связаны с этим радионуклидом.

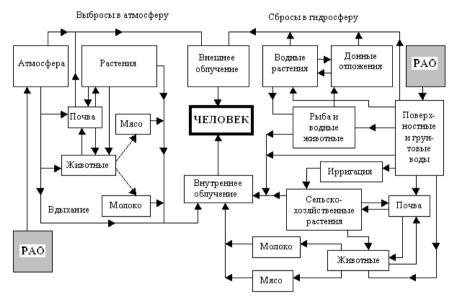


Рис. 6.5. Пути воздействия радиоактивных отходов на человека

В заключение приведем часть материалов из ежегодного (2005 г.) государственного доклада по экологической обстановке в России.

Радиационная обстановка на территории России была спокойной и по сравнению с предыдущим годом существенно не изменилась.

Среднегодовая по территории России объемная активность суммы долгоживущих бета-активных радионуклидов в приземной атмосфере имеет тенденцию к уменьшению.

За последние 10 лет объемная активность <sup>137</sup>Сs на территории России уменьшилась в 1,4 раза, в основном, из-за снижения удельной активности <sup>137</sup>Сs в верхнем пылящем слое из-за радиоактивного распада.

Повышенные по сравнению с фоновыми значениями, но ниже на семь порядков допустимых, среднемесячные объемные активности  $^{137}\mathrm{Cs}$  наблюдались в районах Нововоронежской АЭС и Курской АЭС.

Повышенные по сравнению с фоновыми значениями, но ниже на шесть порядков допустимых, среднеквартальные объемные активности  $^{90}$ Sr наблюдались в районе Белоярской АЭС и в некоторых городах, расположенных рядом с атомными объектами.

На загрязненных в результате Чернобыльской аварии территориях Европейской территории России вследствие ветрового подъема пыли с загрязненной почвы и хозяйственной деятельности населения до сих пор наблюдается повышенное содержание радионуклидов в воздухе.

Средние значения по загрязненной зоне выпадения  $^{137}$ Cs более чем в 6 раз превышали средние для незагрязненной территории России и составляли 2,5  $\text{Бк/м}^2$  в год. Максимальные выпадения  $^{137}$ Cs (15,6  $\text{Бк/м}^2$  в год) наблюдались, как и в предыдущие годы, в некоторых районах Брянской области.

В 2005 г. заметных изменений в уровнях радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы в окрестностях АЭС и других радиационно опасных объектов, за исключением ПО «Маяк», не наблюдалось.

Из водных объектов наиболее загрязненной остается р. Теча, куда попадают сбросы технологических вод ПО «Маяк».

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на территории России, кроме загрязненных после Чернобыльской аварии районов, была в пределах колебаний естественного

радиационного фона. Наибольшие площади радиоактивного загрязнения расположены в Брянской и Тульской областях.

На Азиатской территории России наиболее значительным является Восточно-Уральский радиоактивный след.

Также за последний период нарушений пределов безопасной эксплуатации на АЭС не было. Радиоактивные сбросы и выбросы от АЭС в окружающую среду были ниже допустимых уровней.

#### 6.7. Радиационные аварии

Федеративному закону «Об использовании атомной на территории России осуществляется энергии» государственный контроль над радиационной обстановкой. Это осуществляется в целях своевременного выявления изменений радиационной обстановки, прогнозирования оценки предупреждения возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды. Кроме систематически предоставляется оперативная информация органам государственной власти.

Под радиационной аварией понимается потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или к радиоактивному загрязнению окружающей среды.

За время существования ядерных технологий и использования атомной энергии в мире известно более 150 инцидентов и аварий. Остановимся на наиболее крупных авариях, повлиявших на переоблучение населения и приведших к значительному загрязнению окружающей среды.

### 6.7.1. Аварии в Виндскейле и на АЭС «Тримайл-Айленд»

Это были первые радиационные аварии, с которыми столкнулось человечество, получившими широкую огласку и о причинах происшедшего удалось многое узнать. Все это послужило внесению значительных изменений, делавших ядерную промышленность безопаснее и надежнее.

Крупная авария в городке Виндскейл произошла на северовостоке Англии на одном из двух английских реакторов по наработке оружейного плутония в 1957 г. Вследствие ошибки, допущенной при эксплуатации, температура топлива в реакторе резко возросла, и в активной зоне возник пожар, продолжавшийся в течение нескольких суток. Всего сгорело около 11 т урана.

Основное количество радионуклидов было выброшено, когда пытались охладить реактор с помощью струи воздуха, и затем при тушении пожара водой, подаваемой насосом в реактор. Радиоактивные осадки загрязнили обширные области Англии и Ирландии. В Лондоне в 500 км от Виндскейла радиационный фон повысился в 20 раз. Радиоактивное облако достигло Бельгии, Дании, ФРГ и южной Норвегии.

В результате было выброшено в атмосферу радионуклида <sup>131</sup>I, что привело к эвакуации населения с территории почти 500 кв. км. Оценка коллективной эффективной дозы населения составила более 1300 чел.-Зв. и по оценкам авария вызвала свыше 1000 смертей. Для предотвращения негативного отношения к предприятию Британское агентство по атомной энергии переименовало атомный комплекс «Виндскейл» в «Селлафилд».

Авария на втором блоке американской АЭС "TMI-2" произошла в штате Пенсильвания в 1979 г., а в результате выброса радиоактивного газа <sup>133</sup>Хе в радиусе до 100 км коллективная эффективная доза составила до 35 чел.-Зв. Радиационные мероприятия на ТМІ-2 являются наиболее интенсивной и дорогостоящей программой, которая была проведена когда-либо в истории промышленного использования ядерной энергии США: материальные потери составили 135 млрд дол.

В результате аварии сложилась радиационная обстановка, при которой уровни радиации и загрязнения превосходили что-либо, ранее наблюдавшееся в истории ядерной промышленности. Уровни поверхностного загрязнения в некоторых местах превышали принятые предельные уровни в сто тысяч и даже в миллион раз.

После аварии пришлось выработать новые приемы крупномасштабной дезактивации, среди которых использование установок с дистанционным управлением для проведения дезактивационных операций. Были внедрены многочисленные

специализированные системы обработки для очистки радиационно загрязненных вод, образовавшихся в результате аварии.

Авария привела к образованию огромного количества радиоактивных отходов (PAO) в самых разнообразных формах. Были осуществлены эффективные операции и методы переработки, упаковки и захоронения PAO, а также накоплен опыт разработки контейнеров для безопасной транспортировки больших объемов высокоактивных отходов. Например, наибольшее содержание радиоактивности в емкости составило примерно  $6\cdot10^{15}$  Бк.

Наиболее сложной технической задачей по ликвидации последствий аварии ТМІ-2 была выгрузка более 10 т поврежденного топлива из активной зоны реактора, на что ушло четыре года. В целом, активная зона реактора была перевезена в 342 емкостях, загруженных в 49 контейнеров, и потребовала 22 железнодорожных составов.

Все эти проведенные работы позволили добиться, что за последние 20 лет коллективная доза, полученная персоналом, не превысила 100 чел.-3в.

После завершения мероприятий по ликвидации последствий аварии было осуществлено переоборудование энергоблока в долгосрочное контролируемое хранилище.

# 6.7.2. Зауральские аварии

В 1948 г. на Урале был осуществлен пуск первого в стране промышленного комплекса по наработке плутония, который в настоящее время представляет собой современное радиохимическое предприятие ПО «Маяк». Наибольшую техногенную нагрузку пришлось выдержать водной системе комбината и прилегающим территориям, в частности реке Теча, в которую с 1949 по 1952 г. происходил сброс радиоактивных отходов в 6 км от ее истока.

Река Теча является водной системой Теча-Исеть-Тобол. Всего было сброшено 76 млн  ${\rm M}^3$  сточных вод активностью более  $10^{17}\,{\rm Б}{\rm K}$  (3 млн  ${\rm Ku}$ ), следы которых были найдены в Северном Ледовитом океане.

Об экологии в тот период времени не помышляли не только в СССР, но и в Америке тоже в больших объемах сливали отходы в

реку Колумбия. Сброс отходов в реки проводили по той простой причине, что других альтернатив в то время не было.

В 1964 г. на реке Теча был построен каскад обводных каналов, водоемов и плотин для локализации сброшенной активности. Последняя в каскаде непроточная плотина-11 (длина 2 км, высота 17 м и ширина основания 120 м) подверглась укреплению по уникальной технологии. Теперь попадание загрязненных вод в открытую гидрографическую сеть исключено.

Радиационному воздействию подверглись 124 тыс. чел., проживающих на ее берегах и вначале никак не предупрежденных об опасности. Здесь находится единственный в мире населенный пункт Муслюмово, жители которого больны хронической лучевой болезнью

В 1957 г. на Урале вблизи г. Кыштым на заводе по обогащению урана произошел взрыв емкости с жидкими высокоактивными отходами вследствие отказа системы контроля тепловыделения и образования гремучей смеси. Тепловыделение при радиоактивном распаде может при взаимодействии с водородосодержащими веществами приводить к выделению газообразного водорода и накоплению его во взрывоопасных концентрациях в герметических контейнерах, содержащих РАО. Специалисты оценили мощность взрыва в 70 – 100 т в тротиловом эквиваленте.

В результате было выброшено в атмосферу почти  $8\cdot10^{16}$  Бк, образовалось радиоактивное облако длиной 350 км и шириной 50 км, которое прошло над территорией Челябинской, Свердловской и Тюменской областями, накрыв площадь около 15000 кв. км, на которой проживало 270 тыс. чел. При этом территория загрязнения стронцием-90 более 74 кБ/м² (2 Ки/км²) составила 1000 кв. км с населением более 10 тыс. чел.

Этот след по направлению его движения получил название Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) и нанес значительное загрязнение населенным пунктам и природным объектам. Дозы на население доходили до значений 0,1-0,5 Зв.

До сих пор долгоживущие радионуклиды продолжают оказывать воздействие, и территория является радиоактивным заповедником.

В результате засушливого лета 1967 г. обнажилась береговая линия бессточного озера Карачай, куда долгие годы ядерный комбинат «Маяк» сливал радиоактивные отходы, где в итоге оказалось почти  $5\cdot 10^{18}$  Бк. Озеро находится на закрытой территории, где не проживает местное население и не ведутся никакие хозяйственные работы.

Ветровым потоком иловые отложения активностью 600 Ки были подняты в воздух и выброшены на расстояния до 75 км. Загрязнению подверглась территория 2700 кв. км с населением 42 тыс. чел. Чтобы не повторилась подобная катастрофа, озеро стали засыпать грунтом. В результате подземной фильтрации под озером образовалась линза загрязненных вод. Выявилась другая опасность: возможность опускания вод озера и вытеснение ими нижних грунтовых вод. Оказалось, что на расстояниях в несколько десятков километров от озера в подземных водах была обнаружена радиоактивность, проникшая с озера по подземным протокам. В настоящее время разработана программа по консервации и ликвидации озера Карачай.

В общей сумме в результате рассмотренных зауральских аварий пострадало почти 0,5 млн населения и потребуется 300 лет, чтобы на земной поверхности и в водных объектах распались радиоактивные элементы.

#### 6.7.3. Авария на Чернобыльской АЭС

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1984 г., стала крупнейшей ядерной аварией. На 4-м блоке ЧАЭС в результате отключения автономной системы безопасности произошел скачок мощности и взрыв, сдвинувший крышку ядерного реактора. Затем произошел второй взрыв с выбросом продуктов деления и отработанного топлива. Произошло возгорание графита с разогревом активной зоны реактора до 2000 °С, и выбросы продолжались в течение четырех суток.

По оценкам специалистов было выброшено 8-10% активного вещества порядка  $4,8\cdot10^{18}$  Бк общей массы 77 кг, не считая многих тонн конструкций, топлива и др. Кроме того, часть содержимого реактора расплавилась и переместилась через разломы внизу корпуса реактора за его пределы.

Непосредственно взрывом была выброшена только четверть радиоактивного вещества, а остальная масса в течение еще 10 сут до момента заглушения реактора. Но и после этого еще  $3,7\cdot 10^{15}$  Бк было выброшено в воздух.

Кроме топлива, в активной зоне в момент аварии содержались продукты деления и трансурановые элементы — различные радиоактивные изотопы, накопившиеся во время работы реактора. Именно они представляют наибольшую радиационную опасность. Большая их часть осталась внутри реактора, но наиболее летучие вещества были выброшены наружу, в том числе все радиоактивные благородные газы, содержавшиеся в реакторе, примерно 55% йода в виде смеси пара и твердых частиц, изотопы цезия, стронция и плутония. На долю благородных газов приходилось около половины от суммарной активности.

Струя радиоактивного вещества достигла высоты 1 км и загрязненное облако стало распространяться на север: через Белоруссию в Скандинавские страны. Затем, повернув на юг, облако прошло через Западную Европу на Балканы. Радиоактивные вещества распространялись в виде аэрозолей, которые постепенно осаждались на поверхность земли. Прошедшие в момент прохождения облако дожди вымывали радиоактивные вещества и на поверхности образовывались радиоактивные пятна.

Коллективная доза только от <sup>137</sup>Cs для Скандинавии и Западной Европы в течение первого года после аварии составила 80 000 чел.-Зв, а для населения СССР — 200 000 чел.-Зв. Полная ожидаемая эффективная коллективная доза оценивается более 1 млн чел.-Зв и распределяется следующим образом:

52% Европейские страны

37% Территория бывшего СССР

10% Азия

0,7% Африка

0,3% Северная и Южная Америка

Загрязнению подверглось более 200 000 км², примерно 70% — на территории Белоруссии, России и Украины (табл. 6.17). В России наиболее пострадали Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. Наиболее загрязненными оказались юго-западные районы

Брянской области: в послеаварийный период уровень загрязнения более  $1,5~{\rm MБ\kappa/m^2}$  имели  $17,1~{\rm тыс.}$  га угодий, которые затем были выведены из системы землепользования.

В первые недели после аварии наибольшую опасность для населения представлял радиоактивный йод, имеющий сравнительно малый период полураспада (примерно восемь дней). Йод в основном поглощается щитовидной железой человека при дыхании или потреблении зараженных продуктов, главным образом молока.

Таблица 6.17 Суммарное загрязнение некоторых европейских стран  $^{137}$ Cs

Страна	Плоц	цадь, тыс. км <sup>2</sup>	Выпадение		
	общая	загрязнение	кКи	количество	
		свыше		для страны,	
		1 Ки/км <sup>2</sup>		%	
Россия	3800	59,3	520	29,7	
(европейская часть)					
Белоруссия	210	43,5	400	23,4	
Украина	600	37,6	310	18,8	
Финляндия	340	19	83	4,8	
Швеция	450	23,4	79	4,5	
Норвегия	320	7,2	53	3,1	
• • •		•••	•••	•••	
Вся Европа	9700	207,5	1700	100	
Весь мир			2100		

Особенно восприимчивы к йоду оказались дети, которые получили более высокие дозы по сравнению с взрослым населением. Дозы полученные щитовидной железой, оцениваются в большинстве случаев ниже 0,3 Зв (150 тыс. чел.), хотя некоторые дети, возможно, получили на щитовидную железу до 2,5 Зв. Эта категория жителей может составить группу риска отдаленных последствий облучения, например доброкачественные и злокачественные опухоли щитовидной железы.

В настоящее время и в ближайшие десятилетия опасность представляют изотопы стронция и цезия с периодом полураспада около 30 лет.

Наибольшие концентрации <sup>137</sup>Cs обнаружены в поверхностном слое почвы, откуда он попадает в растения и грибы.

На рис. 6.6 приведены данные по соотношению вкладов различных изотопов через некоторое время после аварии в создаваемое ими загрязнение.

В городах основная часть опасных веществ накапливалась на ровных участках поверхности: на лужайках, дорогах, крышах. Под воздействием ветра и дождей, а также в результате деятельности людей степень загрязнения сильно снизилась и сейчас уровни радиации в большинстве мест вернулись к фоновым значениям.

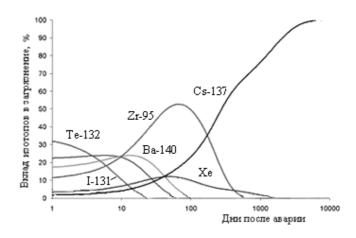


Рис. 6.6. Зависимость вкладов некоторых изотопов в загрязнение от времени после аварии

В сельскохозяйственных областях в первые месяцы радиоактивные вещества осаждались на листьях растений и на траве, поэтому загрязнению подвергались травоядные животные. Затем радионуклиды вместе с дождем или опавшими листьями попали в почву, и сейчас они поступают в сельскохозяйственные растения, в основном через корневую систему. Уровни загрязнения

в сельскохозяйственных районах значительно снизились, однако в некоторых регионах количество цезия в молоке все еще может превышать допустимые значения. Это относится, например, к некоторым областям в Белоруссии и на Украине, Брянской области в России.

Значительному загрязнению подверглись леса. Известно, что лес обладает высокой задерживающей способностью по отношению к радиоактивным выпадениям. Например, эффективность задержания радионуклидов сосновым лесом составляет порядка 90%. Из-за того, что в лесной экосистеме цезий постоянно рециркулирует, а не выводится из нее, уровни загрязнения лесных грибов и ягод остаются опасными.

Уровень загрязнения рек и большинства озер в настоящее время низкий. Однако в отдельных бессточных озерах концентрация цезия в воде и рыбе еще в течение десятилетий может представлять опасность.

С другой стороны, снятие антропогенного воздействия положительно сказалось на экосистеме закрытой для проживания людей. В результате природа стала восстанавливаться быстрыми темпами, выросли популяции животных, увеличилось многообразие видов растительности.

В настоящее время вокруг разрушенного реактора ЧАЭС, содержащего 200 т облученного и свежего ядерного топлива, смешанного с другими материалами, сооружен саркофаг, выполняющий защитные функции на протяжении последних лет.

### 6.7.4. Реабилитация загрязненных территорий

Проводимый радиационный мониторинг четко показывает, что изменение уровней загрязнения территорий происходит под влиянием следующих факторов:

- естественного распада радионуклидов;
- заглубления радионуклидов под действием природно-климатических процессов;
- перераспределения радионуклидов в почвенном слое за счет антропогенного воздействия.

Для реабилитации природных вод разработано значительное количество препаратов и технологических приемов, но большой частью они касаются отдельных стационарных условий, например процесса водоочистки.

- Существующие процессы флокуляции (образование рыхлых хлопьевидных агрегатов «флоккул» из мелких частиц) и коагуляции (объединение частиц в агрегаты вследствие сцепления при их соударениях малоэффективны. В процессах осаждения радионуклидов стронция-90 и цезия-137 их эффективность составляет порядка 20 30%.
- Применение в процессах реабилитации природных водных сред сорбентов (избирательно поглощающих веществ) более эффективно, но это связано с возникновением новой проблемы переработки и захоронения возникающих при этом РАО.
- Самодезактивация природных водных и других объектов биосферы является длительным процессом и при общем снижении радиоактивности может приводить к накоплению радионуклидов в отдельных объектах, а также к перемещению особо загрязненных зон.

Мероприятия по радиационной защите населения от переоблучения были начаты в России сразу после выявления радиоактивного загрязнения. Были приняты ограничения доступа на загрязненные территории и прекращения хозяйственной деятельности, дезактивация и захоронение радиоактивных отходов, ограничение потребления загрязненных продуктов питания, а также осуществлялось переселение жителей.

На начальном этапе данные мероприятия проводились в зоне жесткого контроля, где поверхностная активность превышала  $550~\rm k\, \bar K\, k/M^2$  (около  $100~\rm t$ ыс. жителей России). Затем была принята концепция проживания на загрязненных территориях, которая устанавливала новый уровень вмешательства — дополнительное облучение дозой свыше  $1~\rm m3b/rod$ , а также еще один критерий — плотность загрязнения почвы  $^{137}{\rm Cs}$  не более  $40~\rm k\, \bar K\, k/M^2$ .

Были использованы все известные защитные меры в сельском и лесном хозяйстве: частичная замена культур растений и типов животноводства, сокращение площади выращивания ряда культур, было свернуто овцеводство и ограничено лесопользование.

Принятые меры позволили избежать получения загрязненной растениеводческой сверхнормативно продукции, кроме наиболее загрязненных районов Брянской области, которые обусловливают необходимость проведения комплекса реабилитационных мероприятий, направленных снижение перехода радионуклидов по пищевой цепочке.

В числе этих мер агротехнические, агрохимические и агромелиоративные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, специальные мероприятия в животноводстве. Для ограничения поступления радионуклидов в организм жителей были введены временные допустимые уровни содержания радиоактивных веществ в продуктах питания. В тех случаях, когда контролируемая продукция не соответствовала этим уровням, она перерабатывалась или утилизировалась. Запреты на сбор грибов, ягод, лекарственных трав, заготовку сена в лесах и т.д. сохраняются до настоящего времени.

Эффективность системы ограничений оказалась достаточно высокой. Средняя доза внутреннего облучения за первый год после аварии по зоне жесткого контроля не превышала 15 мЗв, спустя 4 года была меньше 2,5 мЗв за год, а с 1994 г. – годовая доза ниже 1 мЗв

#### Контрольные вопросы

- 1. Если период полураспада радионуклида равен 12 ч, то можно ли приблизительно считать, что через 24 ч он полностью распадется?
- 2. Действительно ли окружающая среда подвергается значительно большей дозовой нагрузке после освоения ядерной энергии?
- 3. Укажите источник излучения, вносящий максимальный вклад в дозу для населения.
  - 4. Какие радионуклиды являются биогенными?
- 5. Укажите искусственные радионуклиды, активно участвующие в биогеохимических круговоротах.
- 6. Назовите радионуклиды, которые доминируют на начальной стадии радиационной аварии и спустя многие годы.

#### ГЛАВА 7

#### ЭНЕРГЕТИКА И ЦИВИЛИЗАЦИЯ

#### 7.1. Энергетика и окружающая среда

Проблема обеспечения энергией уже в самое ближайшее время обещает стать одной из наиболее острых глобальных проблем человечества. В комплексе существующих экологических проблем энергетика занимает одно из ведущих мест. В связи с интенсивным вовлечением возобновляемых источников энергии в практическое использование особое внимание обращается на экологический аспект их воздействия на окружающую среду.

Для рассмотрения энергетических проблем современного человеческого общества широко используются единицы измерения — тонна условного топлива (тут) и крупная единица энергии Q:

1 тут = 
$$2.93 \cdot 10^{10}$$
 Дж; 1 Q =  $1.055 \cdot 10^{21}$  Дж =  $36.0 \cdot 10^9$  тут. (7.1)

Величина единицы измерения энергии 1 тут вводится для гипотетического топлива с теплотворной эффективностью точно равной 7000 ккал/кг, а величина 1 Q принята равной квадриллиону  $(10^{18})$  БТЕ, где БТЕ = 1055 Дж – британская тепловая единица.

Теплотворная способность различных современных видов топлива в единицах тут/т колеблется от 0,3 (торф, дрова) до 1,5 (бензин). Для разных сортов угля эта величина находится в пределах от 0,55 до 0,75; для природного газа она равна 1,2 тут/ $10^3$  м<sup>3</sup>.

Отметим различие между резервами природного минерала и его ресурсами. К резервам относятся запасы, наличие которых подтверждено и которые могут быть выработаны по существующим технологиям в современных экономических условиях. Ресурсы включают имеющиеся резервы, a также еще не открытые месторождения месторождения, которые ΜΟΓΥΤ быть не разработаны по существующим технологиям В современных условиях. Соответственно, экономических оценка времени исчерпания того или иного минерала основана либо на имеющихся резервах, либо на предполагаемых ресурсах.

За весь XX в. потребление энергии человеческим сообществом возросло более чем в 10 раз (табл. 7.1) и составляет в настоящее время величину порядка 16 млрд тут в год или приблизительно 0,45 Q/год.

Таблица 7.1 Рост численности населения (N) и потребления энергии (E)

	Год							
Показатель	1880	1900	1940	1990	2000	2005	2025	
							(прогноз)	
<i>N</i> , млн чел.	1440	1608	2260	5295	6100	6500	7825	
Е, млрд тут	0,95	1,33	3,34	12,5	14,4	16,3	22	
<i>E/N</i> , тут/чел.	0,66	0,83	1,48	2,36	2,36	2,50	2,81	

При этом мировое сообщество по господствующему источнику обеспечения энергопотребления последовательно переходило из «эпохи дров» в «эпоху угля» и далее в «эпоху нефти». В середине XIX в. даже в уже набиравших силу США доля энергии, получаемой от сжигания дров, превышала 90% от общего энергопотребления страны. К 1900 г. эта величина сократилась до 18%, а доля вышедшего на первое место угля достигла уровня 73%. В структуре общемирового потребления топливно-энергетических ресурсов в 1900 г. доля угля составляла уже 57%, хотя дровяное топливо еще имело значимый вклад в 39%, но еще через 50 лет этот вид топлива навсегда уходит из энергетики.

С развитием наземного, водного и воздушного транспорта, как основного потребителя нефти, именно этот сырьевой источник начинает занимать главенствующее положение в мировом производстве и потреблении топливных ресурсов. Наивысшего взлета вклад нефти в мировом энергопотреблении достиг к середине 70-х годов XX столетия и превысил уровень 47%.

Рост мирового энергопотребления за последние 25 лет показан на рис. 7.1.

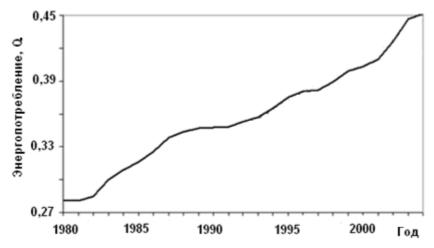


Рис. 7.1. Динамика потребления энергии в мире

Выделяют четыре основных потребителя топливно-энергетических ресурсов: транспорт, промышленность, бытовые услуги и электроэнергетика. Для каждого первичного сырьевого источника существует специфический набор потребителей.

Транспорт практически полностью зависит от жидкого горючего, получаемого из сырой нефти. Уголь и ядерное топливо в основном пригодны лишь для производства электроэнергии и практически не могут использоваться на транспорте. Необходимо отметить, что доля электроэнергетики в структуре мирового энергопотребления неуклонно возрастает (рис. 7.2) и к концу XX в. в ведущих странах мира превысила уровень 40%, а ее рост превышал показатели роста общего энергопотребления в эти годы.

Если сначала большую часть необходимой энергии получали, используя местные ресурсы, то сейчас все основные потребители находятся в полной зависимости от так называемой коммерческой энергии. Человечество оказалось в зависимости от крупнейших национальных и транснациональных корпораций, а также от правительств ряда стран, определяющих политику поставок и цены на энергоносители.

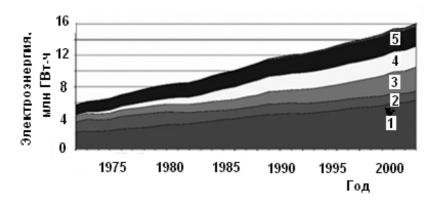


Рис. 7.2. Мировое производство электроэнергии: 1 – уголь; 2 – нефтепродукты; 3 – газ; 4 – АЭС; 5 – гидроэнергия

В области энергетики с наибольшей жесткостью проявляется закон неравномерности развития разных стран и народов, а следовательно, и потребления ими основных ресурсов. Одним полюсом энергопотребления являются США, население которых, составляющее всего 5% от общего числа людей, при этом расходует 25% энергии. Другой полюс – Индия, где проживает 15% населения планеты, а используется только 3% производимой энергии. Почти 2 млрд чел. все еще лишены доступа к электричеству. Это обстоятельство в совокупности с насыщением спроса на энергию в ведущих странах мира во многом объясняет тот факт, что уровень потребления энергии на одного жителя планеты к концу XX в. несколько стабилизировался.

В 1965 2002 целом по миру ΓΓ. прирост энергопотребления 76% был обусловлен на изменением 24% численности населения изменением на удельного потребления. Начиная c 1965 Γ. удельное потребление энергетических ресурсов в мире увеличилось незначительно, а после 1985 г. этот показатель и вовсе не растет.

В Западной Европе, США, Канаде и Японии для обеспечения принятых там стандартов качества жизни расходуют от 5,5 до 11 тут на одного человека в год. Для обеспечения подобных стандартов

России необходимо порядка 18 тут/чел. в год, учитывая, что страна занимает самую холодную и неуютную часть нашей планеты.

Сегодня Россия добывает более 10 тут/чел. в год. Уровень добычи первичных источников энергии в начале нынешнего века составил 1500 млн тут при численности населения 145 млн чел. Однако существенную часть этого энергетического богатства (~35%) Россия экспортирует за рубеж. В результате среднестатистический россиянин по-прежнему потребляет топлива и энергии существенно меньше жителей северных стран, например вдвое меньше жителя Канады.

Важнейшим звеном, определяющим характер рассматриваемой проблемы, является структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ). В табл. 7.2 представлена его структура и отдельно электроэнергетика современной мировой экономики. Ископаемое топливо (уголь, нефть, природный газ) обеспечивает свыше 85% общего объема энергетики и более 65% мировой выработки электричества.

Таблица 7.2 Структура и прогноз ТЭБ и электроэнергетики (%) по видам энергоносителей

	Электроэнергетика				ТЭБ		
Pecypc	мир	Россия	мир	Россия	мир	Россия	мир
	200	2000 г. 2020 г.		0 г.	2000 г.		2030 г.
Нефть	9	8	7	8	38,3	32,5	37,6
Уголь	38	17	38	20	24,7	13,1	19,0
Газ	20	42	29	28	23,7	47,4	31,8
АЭС	15	15	10	30	6,4	2,8	5,0
Гидро	18	18	16	14	6,9	3,7	3,6
Прочие	_	_	_	_	0,7	0,5	3,0

Прогнозируется, что эта тенденция на ближайшие десятилетия сохранится. По-прежнему основой энергетики будут оставаться запасы угля, нефти и газа. При этом основной прирост потребления энергии в первой половине XXI в. будет приходиться на развивающиеся страны.

Принято делить все источники энергии на возобновляемые и невозобновляемые. Возобновляемые источники энергии — источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Возобновляемая энергия не является следствием целенаправленной деятельности человека, в этом состоит ее отличительный признак.

Невозобновляемые источники энергии – природные запасы веществ и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате деятельности человека.

Начиная с 90-х годов по инициативе ООН проводятся мероприятия по продвижению идеи широкого использования возобновляемых источников. Процесс перехода общества на альтернативные источники энергии пока не оправдывает себя. Доля этих источников: биомассы, солнечной, ветровой и геотермальной энергии в мировом ТЭБ на рубеже веков была всего 1% и к 2030 г. эта доля не превысит нескольких процентов. Альтернативные источники, классификация которых показана в табл. 7.3, можно рассматривать пока лишь как вспомогательные энергоресурсы.

Потенциальные возможности альтернативных и возобновляемых источников энергии составляют, млрд тут в год:

энергии Солнца – 2300; энергии ветра – 26,7; энергии биомассы – 10; тепла Земли – 40 000; энергии малых рек – 360; энергии морей и океанов – 30; энергии вторичных источников тепла – 530.

Разведанные запасы месторождений угля, нефти и газа в России составляют 8,7 млрд тут, торфа -10 млрд тут. По оценкам, потенциал возобновляемых источников в России составляет порядка 4,6 млрд тут в год, что превышает современный уровень

энергопотребления России, составляющий около 1,5 млрд тут в год. В настоящее время экономический потенциал их существенно увеличился в связи с подорожанием традиционного топлива и удешевлением оборудования возобновляемой энергетики за прошедшие годы.

Классификания альтернатирных истонников

Таблица 7.3

Классификация альтернативных источников
(вторичная потребляемая энергия – электричество)

Источники	Естественное	Техническое	
первичной	преобразование	преобразование	
энергии	энергии	энергии	
Земля	Геотермальное тепло	Геотермальная	
	Земли	электростанция	
	Испарение	Гидростанции	
	атмосферных осадков		
	Потоки атмосферного	Ветродвигатели	
	воздуха		
Солнце	Морские течения	Морские станции	
	Движение волн	Волновые станции	
	Таяние льдов	Ледниковые	
		станции	
	Фотосинтез	Станции на	
		биомассе	
		Фотоэлектричество	
Планеты	Приливы и отливы	Приливные станции	

Наиболее развитые страны мира свой ближайший прирост энергопотребления связывают с увеличением доли природного газа, постепенно переходя в «эпоху газа».

По общему мнению, суммарный объем энергопотребления в первичной энергии в мире возрастет к 2030 г. до 20 млрд тут.

До энергетических нефтяных кризисов 70-х годов наблюдалась жесткая связь между экономическим ростом и развитием энергетики в развитых странах. Для роста национального дохода на 1% необходим был такой же прирост энергопотребления. Затем связь между экономикой и энергетикой стала более гибкой, недостаток энергоресурсов стимулировал интенсивное развитие

энергосберегающих технологий, что привело к снижению темпов увеличения энергоемкости национального дохода. Тем не менее энергетические проблемы являются доминирующими в дальнейшем развитии человечества, особенно в условиях все возрастающей его численности.

Наибольший дефицит энергии наблюдается в развивающихся странах с высокими темпами роста населения. Поэтому в будущем, несмотря на общую тенденцию снижения энергопотребления в промышленных технологиях, следует ожидать увеличения мирового потребления энергии.

## 7.2. Источники и ресурсы энергии

# 7.2.1. *Традиционные источники энергии. Исчерпание ресурсов*

В конце прошлого века мировые разведанные запасы нефти оценивались величиной в 250 млрд т. На начало XX в. их оставшаяся часть составляла около 140 млрд т (примерно 1 трлн баррелей). При добыче нефти в мире в 3 млрд т в год (уровень стабилизации конца XX в.) этих резервов хватит на 40-45 лет (табл. 7.4).

Таблица 7.4 Время исчерпания резервов различных источников энергии при уровне потребления 2000 г. и прогнозируемые ресурсы

Источник	Резерв,	Прогноз	Время исчерпания, лет		
энергии	млрд тут	-	мир	Россия	
Нефть	200	350 млрд т	40	30	
Газ	150	500 трлн м <sup>3</sup>	60	90	
Уголь	1000	15 трлн т	300	600	
АЭС (уран)	90	20 млн т	120	200	
Все виды	1440	_	100	150	

Перспективу использования любого ресурса для обеспечения энергетики обозримого будущего удобно оценивать временем, определяемым следующим образом. Отношением запасов рассматриваемого источника к величине половины предполагаемого ежегодного энергопотребления середины столетия, т.е. к величине порядка 15 млрд тут/год.

Неопределенность в оценке прогнозируемых запасов нефти (от 300 до 600 млрд т) и газа (от 400 до 650 трлн  ${\rm M}^3$ ) обусловлена во многом политическими и рыночными причинами. Верхняя оценка энергии примерно 140 лет. человечеству на подтвержденных к настоящему времени мировых запасов нефти современном потреблении 162.2 млрд при их хватит приблизительно на 40 лет.

На рис. 7.3 показан ход времени исчерпания ресурса нефти за последние годы. Принимая во внимание показанную зависимость, и учитывая, что более 60% доказанных мировых запасов сосредоточены в странах Ближнего Востока, можно предположить, что возможные неразведанные запасы нефти не превышают имеющиеся резервы. Новые месторождения, открытые за последние 20 лет, не компенсируют ежегодные потери нефти. В любом случае «эпоха нефти» закончится в первой половине этого столетия.

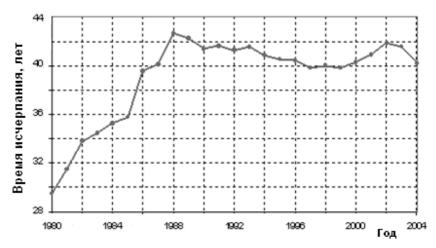


Рис. 7.3. Время исчерпания мировых запасов нефти

Разведанные мировые запасы природного газа оцениваются на начало XXI в. в 150 трлн м<sup>3</sup>. При современном уровне потребления их должно хватить более чем на 60 лет. Однако перспективы увеличения имеющихся запасов природного газа значительно оптимистичнее. Природный газ в первой половине XXI в. станет доминирующим энергоносителем, но и «эпоха газа», как основного компонента ТЭБ закончится в нынешнем столетии.

Три четверти имеющихся литосферных запасов источников энергии составляет уголь, являющийся с экологической точки зрения самым «грязным» видом топлива, а также оказывающий большое влияние на усиление парникового эффекта, что с неизбежностью потребует ограничения его потребления. Большая часть абсолютного роста потребления угля в ближайшие десятилетия придется на две страны — Индию и Китай (75% современного прироста).

Суммарные запасы литосферных природных ископаемых могут обеспечить энергией человеческое сообщество на современном техническом уровне даже при неизменном текущем потреблении чуть более одного столетия. Тем не менее ежегодное потребление традиционных источников энергии возрастает более чем на 1,5% для каждого вида, и альтернативы данной тенденции в ближайшей перспективе не видно.

Ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах (РТН) пока играет при этом только вспомогательную роль дополнительного сырьевого источника. Ресурсные ограничения обуславливают необходимость структурной перестройки существующих энергетических технологий уже в первой половине наступившего столетия.

Анализ динамики развития и смены основных энерготехнологий прошлого свидетельствует об инерционности создания новых и замены существующих технологий, внедрения и завоевания заметной доли в общем производстве энергии новых источников. Масштаб времени для выхода той или иной технологии на лидирующие позиции в производстве энергии составляет более 100 лет, а время появления новых значимых технологий — около 50 лет

### 7.2.2. Альтернативные источники энергии

С самого начала повышенного внимания к альтернативным источникам энергии рядом ученых высказывались серьезные сомнения относительно возможности обеспечить ими растущие потребности в энергопотреблении человеческого сообщества. Существует ряд принципиальных препятствий на пути возможности поддержания требуемых потоков энергетики альтернативными источниками.

По своим валовым показателям выйти на необходимый уровень производства энергии в будущем могут только солнечная и частично ветровая энергетика. В начале XXI в. суммарные установленные мощности солнечной фотоэлектрической энергетики достигли 5 ГВт, геотермальных электростанций — около 6 ГВт, а мощность всех ветрогенераторов составила 94 ГВт.

Сравним их возможности с широко используемой во всем мире гидроэнергетикой. Суммарная мощность всех гидростанций составляла в это же время почти 700 ГВт с годовой выработкой 2,6 млн ГВт·ч. Мировой гидроэнергетический потенциал оценивается в 40 млн ГВт·ч, из которых только 14 млн ГВт·ч пригодны к освоению, а 9 млн ГВт·ч экономически выгодны для использования в современных условиях.

Например, экологически чистая гидроэнергетика Норвегии обеспечивает практически 100% потребности в энергии. Доля гидроэнергетики велика также в топливном балансе Швейцарии, Австрии и Канады. Однако во многих странах значительная часть гидроэнергетических ресурсов уже освоена и подходящих створов для плотин осталось мало. Расширение использования равнинных рек для строительства гидроэлектростанций не всегда оправдано, так как под водохранилища уходят большие площади сельскохозяйственных угодий.

В СССР в результате реализации общегосударственной программы бурного освоения гидроэнергетических ресурсов затопленными оказались громадные территории и общие потери земель составили около 100000 км<sup>2</sup>. Переселение людей с обжитых плодородных территорий по своим масштабам даже превысило эвакуацию населения из Чернобыльской зоны.

Тезис об экологической чистоте гидроэнергетических технологий со временем также был подвергнут сомнению. Немалую роль играет перераспределение грунтовых вод, цветение воды, уничтожение нерестилищ ценных пород рыб, влияние гигантских водохранилищ (в нашей стране — до 6500 км²) на изменение регионального климата. Подъем грунтовых вод, вызванный этими водохранилищами, приводит к подтапливанию, заболачиванию, засолению близлежащих территорий и, как результат, к изъятию сельскохозяйственных угодий. После строительства на Волге каскада из восьми ГЭС места нерестилищ осетровых рыб сократились более чем в 10 раз.

При строительстве станций в горах существуют проблемы, связанные с сейсмостойкостью, возможностью образования трещин в плотине и даже ее разрушением. В 1979 г. в Индии из-за перелива и последующего разрушения плотины произошла крупнейшая катастрофа, жертвами которой стали более 2000 чел.

Общее мировое производство электроэнергии в наше время достигло величины порядка 16 млн  $\Gamma B \tau \cdot v$  в год, из них 17% приходится на гидростанции и, несмотря на строительство новых гидростанций, их доля в производстве энергии снижается.

К принципиальным моментам трудности использования кажущейся неисчерпаемой солнечной и ветровой энергетики относится ее низкая интенсивность. Большинство возобновляемых источников собирают крайне разреженную энергию, требуя снова значительного отчуждения земель (табл. 7.5). Даже при наилучших атмосферных условиях (южные широты, чистое небо) плотность потока солнечного излучения составляет не более 250 Вт/м².

Таблица 7.5 Площади отчуждаемых земель для выработки 1 МВт/год

Тип	АЭС	ТЭС			ГЭС	Солнеч-	Ветря-
электростанции	ASC	мазут	газ	уголь	130	ный	ной
Площадь, га	6,3	8,7	15	24	2650	1000	1700

За время существования человеческого сообщества количество земель, необходимых для обеспечения жизненных

потребностей одного человека сократилось на несколько порядков величины. Достигнуто это было в том числе значительным увеличением энергопотребления на одного человека. Теперь же широкое использование альтернативных источников энергии требует дальнейшего значительного увеличения земельных площадей.

Реально в относительно крупных промышленных масштабах развивается в настоящие дни только ветроэнергетика. Только с 2000 по 2007 г. суммарные установленные мощности ветряной энергетики выросли более чем в пять раз. Ветряные электростанции всего мира в 2007 г. произвели около 200 млрд кВт·ч, что составило примерно 1,3% мирового потребления электроэнергии. К 2030 г. использование энергии ветра в США сможет покрыть потребность страны в электроэнергии на почти 20%, хотя сейчас ее уровень составляет всего около 1%.

Наивысшего развития ветровая энергетика в наше время достигла в Германии. В 2007 г. в этой стране суммарная установленная мощность эксплуатируемых ветродвигателей достигла величины 22 ГВт и составила более 14% от всей произведенной в Германии электроэнергии за этот год.

В настоящее время комплекс ветроэнергетических установок, эквивалентный по выходу энергии ТЭС мощностью 1000 МВт (эл.), требует эксплуатации более 4000 крупных ветродвигателей и занял бы до 1000 кв. км земли.

Ограниченность возможности дальнейшей экспансии на суше приводит к необходимости распространить свое влияние и на прибрежные территории. Более 15% ветродвигателей в Германии расположены в прилегающих морях. Добавим, что ветряная энергетика даже в Германии остается до сих пор дотационной: ее цена составляет 9 центов/(кВт·ч) при средней цене электроэнергии – 2,5 цента/(кВт·ч).

Мощность ветрогенератора зависит от ометаемой поверхности ветроколеса, и она пропорциональна квадрату радиуса лопасти и кубу скорости ветра. Максимальный коэффициент использования энергии ветра идеального ветроколеса равен 0,593. В конце 2005 г. был запущен ветродвигатель мощностью 6,0 МВт с диаметром ротора 114 м и высотой башни 124 м. Кроме того, что устройства для собирания энергии с огромных площадей требуют

также значительных материальных затрат. На рис. 7.4 показана динамика используемых ветродвигателей.

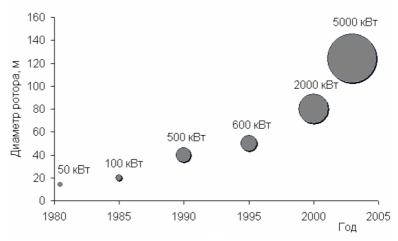


Рис. 7.4. Рост мощности и диаметра ветродвигателей

Солнечная энергетика, как и большинство альтернативных наиболее источников, относится К материалоемким Согласно производства энергии. расчетам на изготовление простейших коллекторов солнечного излучения площадью 1 кв. км требуется примерно 10000 т алюминия, на получение которого тратится большое количество энергии. Создание глобальной системы гелиоэнергетики поглотило бы, по крайней мере, 20% известных мировых ресурсов железа.

Крупномасштабное использование альтернативной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, а следовательно, и в трудовых ресурсах для добычи сырья, его обогащения, получения материалов, изготовления различной аппаратуры и их перевозки. Трудовые затраты в альтернативной энергетике по сравнению с традиционной возрастают на порядки.

Еще одним труднопреодолимым препятствием на пути развития альтернативных источников является их низкий коэффициент готовности и уязвимость по отношению к различным природным и погодным условиям. Коэффициент готовности

солнечной и ветровой энергетики составляет всего 20-40% в основном из-за зависимости от погодных условий, неконтролируемых человеком. В то время как коэффициент готовности гидроэнергетики достигает величины порядка 50%, а соответствующий коэффициент готовности ядерной энергетики достигает 75-80%.

Ветроэнергетика из-за принципиальной зависимости от силы и направления ветра является нерегулируемым источником энергии. Выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезах. Поэтому ветроэнергетика требует наличия резервных мощностей в энергосистеме.

Для преодоления недостатков, связанных неравномерностью работы солнечной или ветряной энергетики, эффективные электрические либо использовать аккумуляторы (на сегодняшний день это нерешенная проблема), либо использовать концепцию водородной энергетики, также не доведенную до промышленной реализации. Следовательно, для устойчивого функционирования крупномасштабной солнечной или ветровой энергетики необходимо иметь как базовую, так и резервную глобальную систему, работающую на альтернативном уже по отношению к ним источнике.

Солнечная энергетика на фотоэлементах связана как с производством ряда опасных и ядовитых веществ: свинца, кадмия, галлия, мышьяка, так и с необходимостью их утилизации после ограниченного срока службы  $(30-50\,\mathrm{net})$  в массовом количестве.

Космические солнечные станции за счет использования СВЧ-излучения могут оказывать влияние на климат, создавать помехи теле- и радиосвязи, воздействовать на незащищенные живые организмы, попавшие в зону его влияния. В связи с этим необходимо использовать экологически чистый диапазон волн для передачи энергии на Землю.

Громоздкие ветряные энергетические установки являются источником повышенного шума на значительной территории, создают помехи в приеме теле- и радиосигнала и могут приводить к гибели птиц.

Биоэнергетические станции по сравнению с традиционными электростанциями являются наиболее экологически безопасными. Они способствуют избавлению окружающей среды от загрязнения всевозможными отходами. Например, анаэробная ферментация – эффективное средство только реализации не животноводства, но и обеспечения экологической чистоты, так как органические теряют твердые вещества запах, процессе перегнивания разрушаются болезнетворные микроорганизмы и образуется дополнительный корм для скота и удобрения.

Энергетическая ферма используется для производства энергии в качестве основного или дополнительного продукта сельскохозяйственного производства и тех видов промышленной и бытовой деятельности, в результате которых образуются органические отходы.

На рис. 7.5 приведены значения для некоторых возобновляемых видов энергии, которую можно получить с одного гектара площади, а также ее стоимость. С помощью ветровой и солнечной энергии вырабатывается электричество, остальные виды производят биотопливо.

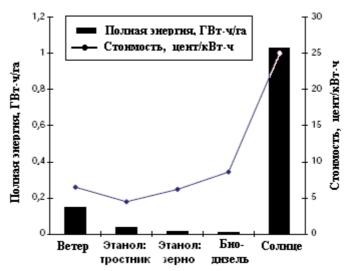


Рис. 7.5. Полная энергия и ее стоимость для возобновляемых источников

Мировой океан — крупнейший естественный коллектор солнечного излучения. В нем между теплыми поглощающими солнечное излучение поверхностными водами и более холодными придонными достигается разность температур до 20 °C, что обеспечивает непрерывно пополняемый запас тепловой энергии, которая принципиально может быть преобразована в другие виды.

Преобразование тепловой энергии, запасенной океаном, в механическую энергию и далее в электроэнергию требует создания тепловой машины, тем или иным способом использующей естественный перепад температур между прогретыми поверхностными и охлажденными глубинными слоями воды.

Приближенная оценка показывает, что при средней по Мировому океану разности температур в 12 °С между поверхностью и глубинами примерно в 400 м общая величина запасенной тепловой энергии составляет  $15\cdot 10^{23}$  Дж.

Особенность работы полярных ТЭС состоит в использовании перепада температур между холодным воздухом и незамерзающей теплой водой подо льдами Арктики. Расчеты показывают, что удельная мощность, получаемая с 1 кв. м площади океана при разности температур воды и воздуха в  $10\,^{\circ}$ С, составляет примерно  $18\,^{\circ}$ КВт/м², а при разности уже в  $30\,^{\circ}$ С  $-125\,^{\circ}$ КВт/м². Таким образом, полярная ТЭС при мощности в  $1\,^{\circ}$ МВт будет возмущать тепловой режим на площади всего около  $20\,^{\circ}$ Кв. м.

Однако неблагоприятные воздействия на объекты природной среды при энергетическом использовании биомассы имеют место. Наблюдаются выбросы твердых частиц, канцерогенных и токсичных веществ, а также выброс тепла. Происходит истощение и эрозия почв и накопление большого количества отходов.

При преобразовании любых видов океанической энергии неминуемы определенные изменения естественного состояния затрагиваемых экосистем. К отрицательным последствиям гидротермальной энергетики можно отнести возможные утечки загрязняющих океан веществ, выделение  $\mathrm{CO}_2$  из воды, появление региональных и биологических аномалий.

Строительство приливных электростанций и использование волновой энергетики сказывается неблагоприятно на состоянии побережья, изменяются условия подтопления, засоления, размыва берегов, формирование пляжей и т.д.

Основное воздействие на окружающую среду геотермальные электростанции оказывают в период разработки месторождения, строительства паропроводов и здания станций, но оно обычно ограничено районом месторождения. Например, для работы станции мощностью 1000 МВт требуется 150 скважин, которые занимают территорию более 19 кв. км. Геотермальные станции, имея КПД в 2 — 3 раза меньше, чем АЭС и ТЭС, дают в 2 — 3 раза больше тепловых выбросов в атмосферу. В термальных водах содержится большое количество солей различных токсичных металлов и химических соединений, а также радионуклидов.

Тем не менее альтернативные источники энергии могут сыграть определенную роль в развитии «малой энергетики» и в энергосбережении, например в обогреве домов, освещении, небольших производствах, особенно в тех районах, где позволяют климатические условия, или нет возможности пользоваться коммерческой энергией.

## 7.2.3. Место и роль ядерной энергетики

Доведены до промышленного воплощения два основных типа ядерных реакторов: реакторы на тепловых нейтронах (РТН) и реакторы на быстрых нейтронах (РБН). Естественной сырьевой базой для РТН является только изотоп урана <sup>235</sup>U, которого в природном уране содержится около 0,7%. В РТН сжигается не более 1,5% природного урана, что снижает преимущество ядерной энергетики.

В настоящее время для ядерной энергетики на тепловых нейтронах экономически эффективной и рентабельной считается разработка месторождений урановой руды с содержанием урана не менее 0.1%.

Урана в разведанных и достоверно установленных месторождениях содержится примерно 5 млн т и по оценкам его мировые ресурсы составляют от 15 до 20 млн т.

Реализация в ядерных технологиях не только реакции деления, но и реакции захвата нейтронов компонентами топлива позволяет использовать в качестве горючего не только  $^{235}$ U, но и основной элемент природного сырья  $^{238}$ U, а также в перспективе и торий, что в сотни раз увеличивает сырьевую базу ядерной

энергетики. Содержание в земной коре тория  $11,5\cdot 10^{-4}$  % по весу даже превосходит содержание урана  $(3-4)\cdot 10^{-4}$  %.

Расширенное воспроизводство ядерного топлива за счет превращения <sup>238</sup>U или <sup>232</sup>Th в делящиеся <sup>239</sup>Pu или <sup>233</sup>U соответственно, наиболее эффективно осуществляется в РБН или в реакторах-размножителях. Эффективность использования природного урана в реакторах-размножителях достигает 30–45%. К тому же в РБН экономически целесообразно станет применять и более обедненные руды. Однако на современном этапе развития РБН пока не получили широкого промышленного распространения и поэтому сейчас основу мировой ядерной энергетики составляют РТН.

Важным фактором, влияющим на эффективность использования уранового сырья, является структура ядерного топливного цикла (ЯТЦ), на которую ориентировано производство энергии. Различают два основных вида топливного цикла: открытый и замкнутый. Основное отличие возможности повторного заключается В использования отработавшего сырья (рецикл U и Pu).

В ходе кампании на реакторе ядерное топливо используется не полностью, и в извлекаемых тепловыделяющих элементах (твэл) присутствуют и остаток  $^{235}$ U, и наработанный  $^{239}$ Pu. После переработки на радиохимических заводах они могут быть возвращены в производство и повторно использованы.

Эффективность использования ядерного горючего при выбранном типе производства показана в табл. 7.6.

Таблица 7.6 Энергетическая эффективность использования природного урана

Тип ЯТЦ	Энергия от 1 т U,	Энергия от 5 млн т U,	
	тут	×10 <sup>9</sup> тут	
PTH:			
без регенерации топлива	16 200	80	
с рециклом урана	23 600	120	
с рециклом плутония	47 200	240	
РБН	1 770 000	8900	

Разведанных 5 млн т урана в РТН хватит для производства энергии в количестве 80-240 млрд тут, что не позволит обеспечить нужды мировой энергетики на длительный период. Крупномасштабная ядерная энергетика на существующих типах тепловых реакторов не имеет долгосрочной перспективы. Чтобы выдержать конкурентную борьбу с другими источниками энергии, а тем более занять лидирующие позиции в ее производстве, ядерной промышленности необходима собственная структурная перестройка и развитие новых технологий.

В РБН имеющихся запасов урановой руды хватит для производства уже 8900 млрд тут, что предоставляет человечеству неоспоримые преимущества во времени. Например, огромного количества уже накопленного уранового сырья (700–1000 млрд тут) хватит для обеспечения всего нынешнего производства электроэнергии на 200 лет.

Для сравнения с техническими перспективами в будущем других энергетических источников отметим, что в совокупности морская вода содержит 40 млрд т, а земная кора — 1500 млрд т урана. Переход к РБН потребует ориентации на замкнутый ЯТЦ. Только тогда можно будет реализовать принципиальные преимущества ядерной энергетики с практически неограниченными ресурсами топлива. Кроме того, данный вид ЯТЦ существенно сокращает объемы ядерных отходов и выбросов продуктов сгорания в окружающую среду.

Однако общественность многих стран, в том числе странпроизводителей ядерной энергии, продолжает обсуждать вопрос о будущем ядерной энергетики. При этом средства массовой информации оценивают перспективы развития ядерной энергетики по-разному: от стагнации до удвоенного роста. В некоторых странах (Швеция, Германия) на законодательном уровне принимаются решения о закрытии АЭС. Это связано, в первую очередь, с последствиями шока, вызванного аварией на Чернобыльской АЭС.

Обоснованный ответ о перспективах использования ядерной энергии может быть дан только в результате системных исследований произошедших событий и проработки вариантов, исключающих возможности крупномасштабных аварий на всех стадиях ЯТЦ, с учетом таких важнейших факторов, как рост энергопотребления, наличие ресурсов, экологических последствий

использования энергоисточников разного типа и т.д. В настоящее время наблюдается отчетливая тенденция к консолидации и интернационализации научных сил и производителей ядерной энергии с целью создания оптимальных технологий производства на всех стадиях ЯТЦ, начиная от производства топлива и до безопасного обращения с радиоактивными отходами.

Тем не менее ближайшая перспектива развития ядерной энергетики не безоблачна. Несмотря на ввод дополнительных мощностей, доля ядерной энергетики в мировом энергопотреблении до 2030 г. будет снижаться как в общей структуре ТЭБ, так и в выработке электроэнергии. Сегодня центр развития ядерной энергетики перемещается в Азию. Это – Китай, Индия, Япония, Северная Корея, Тайвань. Стратегии развития ядерной энергетики приняли США и Россия, считающие достаточно важными прогнозные оценки ситуации в энергетике. В странах ЕЭС средний уровень доли ядерной электроэнергии достигает примерно 34 – 43%. Сроки эксплуатации энергоблоков еще не исчерпаны, и острой потребности в строительстве новых АЭС сегодня не существует.

При существенном преимуществе ядерной энергии по принципиальным качествам (ресурсы топлива и экологические достоинства) немаловажную роль в выборе пути дальнейшего развития будут играть экономические показатели. Экономические преимущества ядерной энергетики состоят в том, что полная себестоимость, включая внешние затраты, электроэнергии АЭС ниже, чем у ТЭС и электростанций, работающих на возобновляемых источниках, а в структуре себестоимости основная часть приходится на капитальные затраты, что обусловливает незначительную зависимость от стоимости топлива. В будущем в связи с ростом цен на органические энергоносители на мировом рынке экономические преимущества АЭС будут только возрастать.

Необходимость создания замкнутого ЯТЦ, требующего больших материальных затрат, отдача от которых может быть получена только через длительный промежуток времен, не совпадает с интересами и возможностями сегодняшней экономики. В настоящее время атомная энергетика не нуждается в расширенном воспроизводстве ядерного топлива, но широкомасштабная ядерная энергетика, претендующая на замену органического топлива, не сможет существовать без воспроизводства и повторного

использования ядерного топлива. Замкнутый топливный цикл является обязательным условием крупномасштабной ядерной энергетики XXI в.

Природные ресурсы тория, превышающие ресурсы урана, и его невысокая стоимость создают дополнительные возможности практически неограниченного развития атомной энергетики. Необходимо отметить, что Россия богата в отличие от урановых руд месторождениями тория. В совокупности с богатством по запасам природного газа, по которым Россия занимает первое место в мире (33% разведанных запасов и 40% прогнозируемых ресурсов газа планеты), это создает для нашей страны благоприятные возможности для развития. У России есть все возможности для вхождения в масштабную энергетику XXI в.

### 7.3. Атомная энергетика

Ядерные реакторы в настоящее время используются главным образом для получения электричества. На 2005 г. в 31 стране мира эксплуатировалось 441 реакторных энергоблоков общей мощностью почти 370 ГВт. Доля ядерной энергетики в мировом производстве энергии сейчас составляет примерно 17%, в Европе — 30%, в России — 16%. Наибольшее количество ядерных реакторов находится в следующих странах:

США – 104; Франция – 59; Япония – 54; Россия – 31; Англия – 23; Республика Корея – 20.

Сегодня в мире строят еще 24 реактора, из них девять – в Индии, по четыре – в России и Китае, два – в Японии. В двух странах: Северной Корее и Иране – сооружаются первые АЭС.

Необходимо различать понятия энергоблока и АЭС. Под энергоблоком понимается промышленное устройство для выработки электроэнергии с конкретным ядерным реактором той или иной конструкции. AЭС — производственное предприятие, на промышлен-

ной площадке которого может быть размещено различное количество реакторных энергоблоков, в принципе различного типа и различным сроком ввода в эксплуатацию. В нашей стране предпочтение отдавалось четырехблочным станциям с однотипными реакторами.

Основной частью ядерного реактора является активная зона, образуемая загруженным ядерным топливом в виде твэлов, в которых происходит реакция деления с выделением тепла. Тепло отводится теплоносителем (вода, жидкий металл, газ), циркулирующим через активную зону по специальному контуру.

Существует несколько признаков для классификации типа ядерных реакторов. По энергетическому спектру нейтронов, доминирующих в актах деления ядерного топлива в активной зоне реактора, различают, в основном, реакторы на быстрых и тепловых нейтронах.

В процессе деления изотопов урана или плутония, возбуждаемого одним нейтроном, происходит цепная реакция: рождаются в среднем от 2,5 до 4 новых нейтронов. Такие нейтроны относятся к быстрым.

Для функционирования РТН, использующих энергию распада единственного природного делящегося материала  $^{235}$ U, необходимо замедлить вновь образующиеся нейтроны до тепловой области. Нейтроны с энергией, характерной для движения при комнатной температуре, называются *тепловыми*.

Следовательно, особенностью РТН является необходимость наличия замедлителя — вещества, помещаемого в активную зону реактора. Нейтроны эффективнее замедляются при столкновении с легкими ядрами. В современных РТН в качестве замедлителя используют подобные вещества, содержащие легкие ядра: графит или непосредственно материал самого теплоносителя — воду, как легкую  $H_2O$ , так и тяжелую  $D_2O$ . Название реактора водо-водяной или водографитовый подразумевает обозначение вещества теплоносителя и замедлителя.

Основу ядерной энергетики сегодняшнего дня (более 350 блоков) составляют легководные РТН, конструкционно различающиеся на одноконтурные с кипящим теплоносителем и двухконтурные с водой под давлением (рис. 7.6).

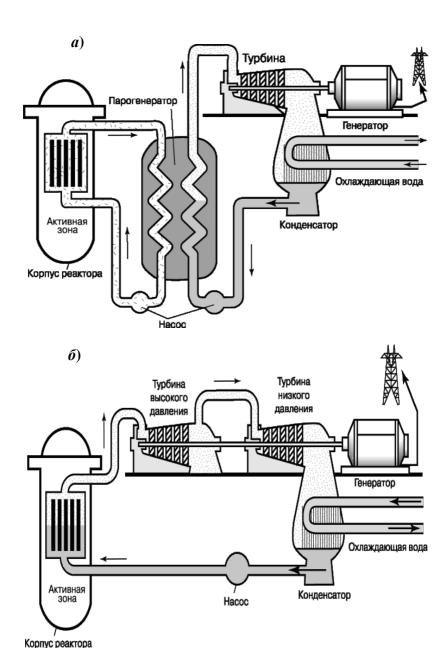


Рис. 7.6. Схема реактора: реактор с водой под давлением (a); кипящий реактор ( $\delta$ )

Обычная (легкая) вода, используемая в качестве теплоносителя, в одноконтурном реакторе закипает непосредственно в активной зоне и превращается в пар для вращения турбины в единственном первом контуре. В двухконтурном реакторе нагретая свыше 100 °С вода первого контура не кипит, а значит, находится под высоким давлением. Пар, приводящий в действие турбину, образуется от закипания воды во втором контуре.

Для работы РБН замедлитель не только не нужен, но и функционально вреден. Использовать в качестве теплоносителя воду в РБН нельзя. Возникает специфическая проблема разработки новых (как правило, жидкометаллических) видов теплоносителя. РБН в мире насчитывается всего несколько блоков, из них самый мощный в России (БН-600). Основу реакторного парка в нашей стране составляют блоки ВВЭР (водо-водяной) и РБМК (водографитовый) с электрической мощностью 1000 или 440 МВт.

Доля ядерной энергетики в производстве электричества в странах с созданной атомной инфраструктурой колеблется в широких пределах от нескольких процентов (Индия, Бразилия, Китай) до 70% для Литвы и 80% для Франции.

Характерно, что наибольшего развития ядерная энергетика достигла в странах с самой передовой экономикой и самым высоким уровнем жизни. В 90-х годах прошлого столетия в Западной Европе действовало 143 АЭС с ядерными реакторами с водой под давлением, на долю которых приходилось около 50% вырабатываемой электроэнергии. В атомной энергетике США примерно две трети АЭС работают с реакторами одноконтурными с кипящим водяным теплоносителем, значительна доля этих типов реакторов в энергетике ФРГ и Японии.

Из-за низкой концентрации  $^{235}$ U в природном уране для большинства современных РТН требуется дополнительный этап в производственном цикле — заводы по обогащению  $^{235}$ U. Концентрация  $^{235}$ U в наиболее широко используемом уран-оксидном (UO<sub>2</sub>) топливе в РТН колеблется от 2 до 4,4%.

В Советском Союзе была создана мощная ядерноэнергетическая промышленность, которая обеспечивала топливом не только собственные АЭС, но и АЭС других стран. При участии СССР на АЭС России, стран СНГ и Восточной Европы было введено в эксплуатацию 20 блоков с реакторами ВВЭР-1000, 26 блоков с реакторами ВВЭР-440, 15 блоков с реакторами РБМК-1000 и 2 блока с реакторами на БН. В России среди действующих энергоблоков к типу ВВЭР относятся 13 реакторов, к РБМК – 13 и один реактор БН-600.

На мировом рынке у России 40% мощностей по обогащению урана, 17% топливного рынка, 28% мощностей по сооружению новых АЭС и 8% объемов добычи урана. Последняя цифра не удовлетворяет наших собственных потребностей, но в России накоплены громадные запасы от эпохи гонки вооружений. В мире такая же ситуация, когда арсеналы полны, а урана добывается вдвое меньше, чем используется.

Большой интерес вызывает проект первого в мире промышленного плутониевого реактора на быстрых нейтронах БН-800, который будет построен на Белоярской АЭС. Реакторы на быстрых нейтронах являются самым перспективным направлением в атомной энергетике, и Россия остается здесь несомненным лидером.

Сырьевой базой для изготовления ядерного топлива является первичный природный уран, получаемый при переработке урановых руд, а также попутно при производстве фосфатных удобрений. Кроме этого сырьевой базой служат накопленные отвалы обогатительных производств, а также объем частично выгоревшего в промышленных реакторах урана, прошедшего радиохимическую переработку в целях извлечения оружейного плутония. В результате реализации программы сокращения ядерного оружия к этому добавляются высвобождаемые из военной сферы высокообогащенный уран и плутоний.

Суммарные потребности топлива в пересчете на природный уран для всех АЭС в 2000 г. составили 64 тыс. т при годовом производстве природного урана порядка 37 тыс. т. Дефицит производства за последние 10 лет составляет 40–45%, что покрывается складскими запасами.

Прогнозируется, что к 2025 г. в связи с исчерпанием этих складских запасов около 94% потребностей АЭС будет обеспечиваться природным ураном. Количество разведанных геологических запасов достаточно для обеспечения производства, однако вследствие различного рода ограничений не все запасы могут быть вовлечены в производство к 2025 г.

Это создает дефицит между производством и потребностями при умеренных темпах развития ядерной энергетики. В результате в будущем в эксплуатацию будут вовлекаться все более дорогостоящие геологические запасы. Поэтому важнейшее значение имеет в настоящее время разведка и разработка месторождений с относительно низкой себестоимостью производства.

Ресурсы на территории бывшего СССР с учетом разведанных традиционных месторождений составляют примерно 685 тыс. т (15% мировых запасов), остальное количество находится в фосфатных рудах и складированных запасах. После распада Советского Союза большая часть разведанных месторождений урана осталась за пределами России. В настоящее время Россия занимает только 7-е место в мире по разведанным запасам урана в недрах (около 180 тыс. т). Первые места занимают Австралия (более 894 тыс. т), Казахстан (681 тыс. т) и Канада (507 тыс. т).

По сравнению с другими видами энергетических ресурсов, используемых для производства электроэнергии в значительных объемах, уран имеет важные принципиальные преимущества:

- чрезвычайно высокая концентрация энергии: 1 кг природного урана эквивалентен 20 тыс. кг угля;
- ущерб здоровью при работе АЭС почти в 300 раз ниже по сравнению с угольными ТЭС;
- в 50–100 раз по сравнению с использованием угля, нефти и природного газа уменьшаются выбросы в атмосферу диоксида углерода и количество выбросов сравнивается с использованием энергии солнца, ветра и гидроэнергии. Необходимо отметить, что полная цепочка ядерной энергетики (от добычи ресурса до удаления отходов) выделяет только 2–6 г углерода на 1 кВт·ч.

преимуществ ядерной энергетики Одним является независимость от транспортировки топлива, что существенно повышает конечную рентабельность вместе с компактной формой обуславливают, фактора отходов. Оба очередь, свою беспрецедентную по сравнению с другими видами энергетическую эффективность ядерного горючего. Для работы на мощности 1000 MBт в год расходуется всего 1 т <sup>235</sup>U. В табл. 7.7 приведено сравнение электростанций одинаковой мощности, работающих на угле и на ядерном горючем.

Сравнительные данные по топливу и отходам
для электростанций мощностью 1000 МВт

	Топливо,	27	$160  {\rm T}  (12  {\rm M}^3)$ природного урана
АЭС	т/год		в год
	Отходы,	27	Высокоактивные
	т/год	310	Среднеактивные (в сумме
		460	Низкоактивные около 20 м <sup>3</sup> )
	Топливо,	2,6 млн	7000 т/сут (2000 железнодорож-
Угольная	т/год		ных составов в год)
ТЭС	Отходы,	6 млн CO <sub>2</sub>	
	т/год	44 тыс. SO <sub>2</sub>	
		22 тыс. NO <sub>2</sub>	
		320 тыс. золы	В ней 400 т токсичных металлов

Все действующие в мире АЭС производят ежегодно порядка 3 тыс.  $м^3$  отходов. Для сравнения: промышленность США дает ежегодно около 50 млн  $м^3$  твердых токсичных отходов, а страны ЕС каждый год производят почти 2 млрд т различных отходов.

Основная проблема при обращении с отходами ядерной промышленности заключается в их повышенной радиационной опасности. При нормальной эксплуатации АЭС образуются жидкие, газообразные радиоактивные отходы представляющие экологическую опасность и требующие изоляции от окружающей среды. Избежать образования РАО не представляется возможным. Радиоактивные отходы образуются на всех этапах ядерного топливного цикла: при добыче и переработке урановой руды, изготовлении топлива для ядерных реакторов, регенерации облученного топлива, эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных объектов. РАО повторному использованию не подлежат.

Необходимо различать образующиеся РАО и отработавшее ядерное топливо, также являющееся источником радиационной опасности. Под отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) понимаются топливные сборки, отработавшие кампанию и изъятые из ядерных реакторов АЭС. ОЯТ является высокоактивным, имея в своем составе делящиеся нуклиды, оно представляет не только

радиационную, но и ядерную опасность, при хранении требует организации специальных мер и средств по отводу остаточного тепловыделения. Однако ОЯТ содержит невыгоревший <sup>235</sup>U, наработанный плутоний и ряд других радионуклидов, которые в дальнейшем могут быть повторно использованы.

Важнейшей проблемой является изоляция PAO. дальнейшего ядерной зависящая развития энергетики. ОТ Накопленные более чем за 60 лет РАО и ОЯТ уже сами по себе создали трудно решаемую научную и техническую проблему. Суммарная активность РАО на территории России оценивается более чем в 1,5 млрд Ки. Более 99% этого количества связано с оборонной деятельностью по наработке ядерных материалов и сосредоточено на объектах Минатома России. При этом на жидкие РАО приходится 85% общей активности. Общий объем РАО превышает 60 млрд м<sup>3</sup>.

Количество РАО, накопленных при производстве ядерного оружия, на порядок больше, чем количество отходов, образовавшихся в ядерной энергетике. На оборонных предприятиях в специальных емкостях хранится 570 млн Ки, в открытых специальных бассейнах — 500 млн Ки и в специальных водоемах — 200 млн Ки. Более 1 млрд Ки РАО закачано в подземные горизонты. Только в результате наработки оружейного плутония на ПО «Маяк» накоплено свыше 1 млрд Ки РАО.

Основной объем РАО и отработавших ядерных материалов гражданских программ образовался в ядерной энергетике. Ежегодная наработка РАО в нашей стране только на радиохимических предприятиях и АЭС оценивается в 70 млн Ки.

## 7.4. Обращение с РАО и ОЯТ

Перспективы развития ядерной энергетики как в России, так и в мире в целом в значительной степени связаны с решением ряда проблем принципиального характера, причем многие из них требуют безотлагательного решения. Это, прежде всего, проблемы накопления ОЯТ, вывод из эксплуатации в ближайшее время многих энергоблоков, выработавших свой ресурс, наличие оружейного плутония и перспективы его дальнейшего использования в энергетических реакторах.

Наконец, рассмотрим проблему безопасного для биосферы захоронения радиоактивных отходов. Специалисты считают, что вопрос о захоронении высокоактивных РАО принципиально может быть решен при достигнутом на сегодня уровне научных и технологических разработок. Очевидно, что временное хранение огромного количества РАО на реакторных площадках или других местах даже в контролируемых условиях представляет большую опасность, чем их захоронение в геологические формации в труднодоступных районах.

Технологические решения по захоронению РАО должны обеспечивать отсутствие воздействия на окружающую среду при любых возможных геологических изменениях в местах захоронения в течение тысячелетий. Поскольку такие гарантии проблематичны, рассматриваются другие пути решения, в частности *трансмутация* долгоживущих компонентов РАО в более короткоживущие. Однако ни один из предлагаемых методов решения в настоящее время не доведен до стадии промышленного освоения.

При комплексной постановке проблемы под обращением с РАО и ОЯТ подразумевают рассмотрение всех основных стадий промышленного производства отходов ядерной энергетики: образование, сбор, хранение, переработку и утилизацию или окончательное захоронение. Проблема обращения с радиоактивными отходами возникла фактически с самого начала промышленного освоения ядерной энергетики и всегда привлекала к себе внимание и специалистов, и общественность, но особенно она обострилась к концу XX в.

Нерешенность проблем, связанных с безопасным обращением РАО и отработавших ядерных материалов, в последнее время стала, по существу, основным предметом острой критики ядерной энергетики и тормозом на пути ее дальнейшего развития.

Проблема накопления ОЯТ на АЭС является одной из самых актуальных. В России принята концепция замкнутого ЯТЦ, которая предусматривает переработку ОЯТ, повторное использование энергетического плутония и урана, концентрирование и отверждение высокоактивных отходов.

Такая же стратегия принята в Великобритании, Франции и Японии. Многие страны, имеющие развитую ядерную энергетику (США, Канада, Швеция, Испания и др.), не перерабатывают ОЯТ

своих АЭС и помещают его в специальные хранилища, ориентируясь на стратегию долговременного (до 50 лет) хранения ОЯТ, пока не решен вопрос о его судьбе. А ведь к 2010 г. из мирового парка реакторов с урановым топливом общей мощностью свыше 350 ГВт (эл) уже более 300 тыс. т ОЯТ должно быть каким-то способом распределено.

В зависимости от развития и совершенствования новых научных подходов и технологий отработавшее топливо в дальнейшем может быть либо отправлено на захоронение, либо на регенерацию. Пока же специалисты указанных стран считают, что современные химические технологии по регенерации топлива не соответствуют требованиям экологической безопасности и могут быть использованы для несанкционированного распространения ядерного оружия.

Однако в этих странах уже возникли затруднения с обращением с ОЯТ из-за перегруженности хранилищ. По сценарию однократного использования ядерного горючего без последующей регенерации все отработавшее топливо, в конце концов, должно быть удалено в глубокие геологические формации. Например, при мощности АЭС в 100 ГВт (эл) годовой выход ОЯТ современных реакторов составляет 2000 т тяжелого металла. По действующему законодательству США отдельное хранилище может иметь емкость захоронения максимум 70 000 т, что означает ввод каждые 30—40 лет новой площадки для удаления отходов.

Строительство единственного пока в мире специализированного промышленного подземного хранилища для локализации ОЯТ на длительный срок (порядка 10 000 лет) ведется в США. После практически 20-летнего обсуждения и согласования в 2002 г. было принято решение о строительстве в штате Невада хранилища ядерных отходов Юкка Маунтин. К настоящему времени в США накопилось уже более 50 тыс. т ОЯТ, которое, в основном, хранится под водой в расположенных рядом со станциями специальных бассейнах.

Согласно принятому решению жерло потухшего вулкана горы Юкка станет могильником для 77 тыс. т РАО. Контейнеры с отходами предлагается захоронить в 300-метровых шахтах, пройденных прямо в кратере и примерно на 300 м выше уровня подземных вод. Авторы проекта уверены, что естественная

пластичность вулканических пород гарантирует герметичность могильника на указанный столь длительный срок.

В настоящее время хранилище планируется сдать в эксплуатацию только в 2017 г., что уже на 19 лет позже ранее объявленного срока. Это связано с возникшими по ходу строительства непредвиденными трудностями. Принятый в США открытый ЯТЦ потребует строительства к концу века еще как минимум десятков хранилищ такого типа. В свою очередь многочисленные противники данного проекта не оставляют надежды на пересмотр уже принятого решения.

Общее количество ОЯТ в России составляет более 16 тыс. т из более чем 250 тыс. т во всем мире. Ежегодные темпы накопления в России оцениваются примерно в 800 т/год (от 10-12 тыс. т/год в мире). В табл. 7.8 представлена количественная информация о положении дел в России с образующимися и накопленными ранее отходами радиоактивного производства.

Если темпы образующихся и перерабатываемых за год жидких радиоактивных отходов выравниваются и основная проблема остается с обращением ранее накопленных PAO, то рост накопления ОЯТ идет с угрожающей скоростью.

Концепция замкнутого ЯТЦ, ориентированная с самого начала на развитие и переход к РБН, эффективна только при сохранении баланса между объемами выгружаемого из реакторов и перерабатываемого топлива.

В первоначальных прогнозах развития ядерной энергетики России предполагалось, что ОЯТ с РБМК будет храниться в специальных хранилищах на АЭС, а затем направляться на прямое захоронение без переработки, поскольку переработка топлива с этих реакторов является экономически нецелесообразной.

Отработанное топливо реакторов ВВЭР после выдержки на площадках АЭС должно дальше транспортироваться для хранения и переработки на заводы по регенерации топлива. На сегодняшний день указанная концепция реализована для реакторов типа ВВЭР-440, где темп накопления ОЯТ соответствует темпу его переработки.

Таблица 7.8 Отложенные проблемы по ОЯТ и РАО

Пиобессия		2			
Проблема	2001	2003	2005	Эквивалент млн Ки	
	Жидки	Жидкие РАО, млн куб. м			
Образование за год	3,8	4,8	4,2	110	
Переработано за год	1,6	3,2	3,6	_	
Изололировано в подземные горизонты за год	0,9	0,9	0,9	15	
ИТОГО на конец года: в подземных горизонтах в приповерхностых	469,1 50,8	468,1 52,7	476,1 54,6	1200 700	
хранилищах	418,3	415,4	421,5	500	
	Твердые РАО, т				
Образование за год	0,9	1,1	1,1	4,4	
ИТОГО на конец года	71	73,2	75,4	391	
		оят, т			
Образование за год	537	654	605	674	
Переработано за год	130	121	96	58,1	
ИТОГО на конец года	13480	14768	16147	6000	

С 1977 г. на Урале действует единственный в бывшем СССР радиохимический завод РТ-1 по переработке ОЯТ реакторов ВВЭР-440, а также судовых и исследовательских реакторных установок. При проектной мощности завода 400 т/год темп поступления должен был составлять ~ 110 т/год от АЭС России, ~ 40 т/год от АЭС Украины и Армении и 88 т/год от зарубежных АЭС.

Несмотря на то, что в настоящее время мощность завода РТ-1 ограничена до 250 т/год, она обеспечивает потребности АЭС с реакторами ВВЭР-440. Более того, по мере исчерпания ресурсного срока эксплуатации и досрочного снятия с эксплуатации реакторных блоков ВВЭР-440 загрузка предприятия РТ-1 постоянно снижается.

Топливо с реакторов ВВЭР-1000 планируется перерабатывать на заводе РТ-2 мощностью 1500 т/год на территории Горнохимического комбината в Красноярском крае. Без ввода в эксплуатацию завода РТ-2 говорить о замкнутости ЯТЦ в нашей стране не приходится и пока ОЯТ с реакторов ВВЭР-1000 вывозится с АЭС в централизованное хранилище на 6000 т комбината в Красноярске-26, полное заполнение которого при сохраняющихся темпах накопления ОЯТ этого типа (около 200 т/год) должно произойти к 2015 г.

Несбалансированность потоков выгружаемого из реакторов и перерабатываемого топлива может привести к ситуации, когда мощности хранилищ в ближайшее время будут заполнены. Уже сейчас на АЭС в бассейнах выдержки содержится ОЯТ в количествах, не позволяющих в случае необходимости произвести аварийную выгрузку топлива, и может произойти вынужденная остановка энергоблоков.

Таким же образом обстоят дела с накоплением ОЯТ и в мировой практике. Мощность всех действующих перерабатывающих заводов едва превышает 5200 т/год, а темпы накопления ОЯТ – более 10000 т/год. Построение сбалансированной с точки зрения образования и утилизации ОЯТ ядерной энергетики является задачей современности.

Аналогичная ситуация сложилась в ЯТЦ с вопросами хранения и переработки РАО. При существующей динамике накопления РАО и ОЯТ в процессе эксплуатации АЭС и отсутствия их вывоза с площадок вместимость имеющихся на АЭС хранилищ может исчерпаться в ближайшее время. Это является вполне реальным для станций, на которых отсутствуют установки по переработке РАО и не начаты работы по сооружению дополнительных хранилищ для РАО и ОЯТ.

В табл. 7.9 представлены данные по заполнению хранилищ жидких и твердых радиоактивных отходов на АЭС России. В

среднем по состоянию на начало нынешнего столетия хранилища были заполнены примерно на 70%.

Таблица 7.9 Хранение жидких и твердых РАО на АЭС России

ADG	Жидкие РАО	Твердые РАО			
АЭС	Объем, м <sup>3</sup> / Заполненность, %				
Балаковская	1584/42	9580/51			
Белоярская	4659/73	14400/61			
Билибинская	766/77	2442/77			
Тверская	2027/69	7479/84			
Кольская	7081/83	7845/39			
Курская	9765/63	21695/99,7			
Сосновоборская	12400/90	19754/71			
Нововоронежская	7698/43	29814/74			
Смоленская	15629/81	11479/76			
Ростовская	133/17	_			

В связи с этим необходимо ускоренное решение федеральной программы, обеспечивающей вывоз этих материалов с территорий АЭС. Пока же темпы реконструкции старых и строительства новых хранилищ на АЭС России не отвечают темпам образования РАО.

Цель переработки РАО в условиях АЭС – концентрирование (сокращение объемов) накопленных отходов и перевод их в стабильную физико-химическую форму, максимально ограничивающую выход радионуклидов в окружающую среду и пригодную для дальнейшей эксплуатации (хранения, перевозки и захоронения). Применяемые в настоящее время на АЭС технологии иммобилизации жидких РАО с включением их в битумный или цементный компаунд обеспечивают их более надежную изоляцию.

До настоящего времени ни одна АЭС России не имеет полного комплекта установок по переработке твердых РАО путем сокращения их объемов методами сжигания, прессования и измельчения, а также перевода жидких РАО в пригодные для транспортировки и захоронения формы в соответствии с действующим регламентом.

B настоящее время мире была нигде еще не приемлемость того или продемонстрирована иного геологического захоронения в промышленных масштабах. Научная и инженерно-техническая база для создания в России могильников федерального уровня достаточно проработана и обоснована, однако создание таких сооружений пока не осуществляется. Необходимость развития ядерной энергетики становится важнейшей задачей и требует строго научной обоснованности принимаемых решений.

#### Контрольные вопросы

- 1. Что такое топливно-энергетический баланс и каковы особенности его структуры на современном этапе развития?
- 2. Каковы темпы увеличения энергопотребления в прошлом, настоящем и будущем?
- 3. Каковы запасы и время исчерпания органических источников энергии?
- 4. Докажите возможность перехода к ведущей роли в структуре ТЭБ любого альтернативного источника энергии.
- 5. Каковы, с вашей точки зрения перспективы развития ядерной энергетики? Какая ядерная энергетика способна поддержать объемы энергопотребления будущего?
- 6. Сравните эффективность и негативные экологические последствия использования различных источников энергии.
- 7. Какие накопленные в ядерной энергетике проблемы сдерживают темпы ее развития?
- 8. Как сказывается неравномерность размещения полезных ископаемых и развития различных регионов мира на обеспечении энергопотребления человечества?

#### ГЛАВА 8

## ЭКОЛОГИЯ И ОБЩЕСТВО. СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ

# 8.1 Научно-практические основы взаимодействия общества и окружающей среды

взаимодействия общества Рационализация природы проблем современной относится олной актуальных цивилизации. В условиях глобализации все острее ощущается негативное воздействие экологических проблем на все стороны общества Экологические проблемы сдерживают экономический рост, затрудняют удовлетворение социальнопотребностей экономических человека, ставят вопрос под перспективы развития цивилизации.

В условиях обострения противоречия между человеком и природой мировое сообщество сосредотачивает усилия на поиске ресурсов и путей преодоления негативного воздействия природы на общество, подходов к обеспечению рационального природопользования. С этой целью в рамках ООН разработана концепция устойчивого развития цивилизации, определены пути экологизации экономического развития, принят ряд международных программ по ограничению выбросов вредных веществ и парниковых газов в окружающую среду. На основе международных экологических рекомендаций разработаны национальные природоохранные программы и концепции перехода к рациональному регулированию взаимодействия общества и природы.

Однако важно иметь в виду, что страны мира находятся на различных ступенях социально-экономического развития. Поэтому каждый субъект мировой цивилизации определяет характер и масштабы природоохранной деятельности. В нашей стране решение экологических проблем является органичной частью преобразования всей системы политических, социально-экономических и культурных отношений.

Научно-практические основы взаимодействия общества и природы базируются на трех основополагающих элементах: экологической доктрине, концепции антропогенного воздействия на

природу, учения об экологической политике. Изучение этих элементов позволит не только понять диалектику взаимодействия экологии и человека, но и выяснить сущность современной концепции регулирования взаимодействия общества и природы.

анализе экологической доктрины человека и природы следует учитывать, что с позиции экологии представляет собой общемировую человечество биологического вида, органическую часть биосферы. И как биологическому виду, человеку присущ обмен веществ с окружающей природной средой, которая во многом определяет условия его жизни. За счет природы он удовлетворяет свои разнообразные потребности (утилитарные, эстетические. рекреационные, духовные). «Человек, как и все живое, может мыслить и действовать в планетарном аспекте только в области жизни – в биосфере, в определенной земной оболочке, с которой он неразрывно связан, и уйти из которой он не может. Его существование есть ее функция», - писал В.И. Вернадский.

Цивилизация подобно живым организмам и экологическим системам подчиняется экологическим законам, которые определяют ее связи со средой обитания. Одним из них является принцип обратной связи, взаимной зависимости между всеми частями системы «природа — человек». В любой экологической системе происходит взаимодействие живых организмов со средой их обитания. В результате этого взаимодействия создаются устойчивые условия для жизнедеятельности.

Устойчивость по своей сути означает способность экосистемы сохранять свою структуру и функции при воздействии внешних и внутренних факторов. Любая экосистема способна к самостоятельному восстановлению своих свойств после какого-либо природного или антропогенного воздействия с помощью принципа обратной связи между ее компонентами. Однако в условиях нарастания деструктивного воздействия общества на окружающую среду происходит ослабление адаптационного механизма экосистемы.

Поэтому общество стремится к тому, чтобы процесс природопользования органически сочетался с деятельностью общества по сохранению устойчивости экосистем. В современных условиях эта задача решается путем нормирования негативного

антропогенного воздействия на природу, оптимизации отношений с природной средой, сохранения и увеличения потенциала природных систем, т.е. сохранения способности экологических систем без ущерба для себя отдавать необходимую человечеству продукцию, сохранения состояния окружающей среды в наибольшей степени соответствующей потребностям человека.

Одним из ведущих направлений экологической деятельности общества является переход на научно обоснованную концепцию взаимодействия человека и природной среды. Решение этой задачи объективно обуславливает потребность в развитии экологической доктрины. Современная экологическая доктрина взаимодействия человека и природы включает следующие фундаментальные положения.

- Природа и человек представляют собой систему взаимосвязанных подсистем, где естественные связи человека и экологической среды органически переплетаются с социальными связями.
- Система «природа общество» состоит из двух подсистем, соответствующих двум формам взаимодействия общества охраны природы, использования природной И Экономическая подсистема направлена на использование потребление природных ресурсов, преобразование окружающей среды. Ее задача обеспечить удовлетворение экономических интересов общества. Вторая подсистема - экологическая. Она выражает экологические интересы человека, а следовательно, и всего общества в здоровой, благоприятной среде.
- В центре системы «природа общество» стоит человек. Он выступает одновременно и как субъект воздействия на природу в результате своей практической деятельности (в экономической подсистеме) и как объект, испытывающий обратное воздействие природы (в экологической подсистеме).
- Экономические интересы, выраженные экономической подсистемой, и экологические интересы, представляемые в рамках экологической подсистемы, едины по своей социальной направленности, так как все они призваны обеспечить качество жизни человека. Однако такое единство противоречиво. С объективной стороны, противоречия такого рода суть следствия

постоянного экономического воздействия на природную среду, потребления и использования ее ресурсов. Подобное воздействие вносит отрицательные элементы в содержание экологической функции путем ее попутного загрязнения, истощения, разрушения. В субъективном отношении такие противоречия возникают из-за пренебрежения человеком законами развития природы. В единстве и борьбе этих противоречий, преодолении недостатков системы следует видеть источник ее развития.

Объективные законы развития системы «природа – общество» отражают единство и взаимосвязь естественного и социального мира. Эти законы равно распространяются как на экологические, так и социально-экономические отношения. В процессе сложной эволюции человек сложился как биосоциальное существо. Его жизнедеятельность может быть охарактеризована биологическими и социальными показателями.

Биологические показатели выражаются в различных функциях организма человека, его непосредственных связях с окружающей природной средой. Ибо человек может существовать только во взаимодействии с экологией.

Социальные показатели позволяют нам определить степень развития культурных и общественных отношений, «встроенность» человека в сложившиеся отношения в коллективе, характер воздействия общества на окружающую среду.

Человек отличается от других биологических популяций не только социальностью, но и степенью развитости экологических связей и особенностью их реализации. Общество приспосабливает экологическую среду к собственным потребностям и преобразует природу в планетарных масштабах. Под воздействием трудовой и преобразовательной деятельности человечества возникают и обостряются экологические проблемы.

Давление человечества на природную среду по своим масштабам превышает сопротивление среды и часто подавляет ее. Растущий дисбаланс между антропогенным давлением на природу и ответным ее сопротивлением есть одна из основных экологических особенностей человеческой популяции. Именно в ней таится угроза полного уничтожения природных экосистем, в том числе и глобальной — биосферы. И чтобы нейтрализовать негативное

проявление этого закона общество предпринимает меры по разработке экологической стратегии и тактики.

Основу экологической стратегии составляют формирование оптимального природопользования, рационализация природоохранной деятельности и обеспечение экологической безопасности человека.

Экологическая политика государства строится с учетом и других социоприродных законов. Это, прежде всего, закон последовательного производственного освоения сложных экологических систем; закон оптимального соответствия природной среды характеру и темпам развития производства. Суть его состоит в том, что скорость развития материального производства ограничена пределом — состоянием природной среды данного региона. На основе этого закона разработана система нормирования качества экологической среды.

Под качеством природной среды следует понимать такое состояние окружающей природной среды, которое постоянно и неизменно обеспечивает процесс обмена веществ, энергии и информации между природой и человеком, воспроизводит и обеспечивает жизнь. К одной из важнейших функций благоприятной экологической среды следует отнести сохранение генофонда человечества.

Важно иметь в виду, что использование объективных законов осуществляется через принципы взаимоотношений природы выступают необходимыми инструментами человека. Они материализации объективного закона в конкретные меры и направления деятельности обшества по гармонизации экологических отношений. В современной науке существуют различные определению основных принципов подходы регулирования взаимодействия человека и природы.

- Принцип оптимального соотношения интересов общества и природной среды. Этот принцип вытекает из требования системного подхода к организации природопользования. Обмен веществом и энергией в процессе производства должен быть эквивалентным, а использование вещества и энергии безотходным.
- Принцип установления и поддержания целостности биосферы и ее равновесия. Равновесие биосферы рассматривается как важнейший природный ресурс человечества. Если процесс

равновесия биосферы будет нарушен, то естественные механизмы восполнения могут безвозвратно исчезнуть.

- Принцип компенсации соответственно значениям меры производимых у природы изъятий.
- Принцип комплексности и оптимальности использования природных ресурсов и научной обоснованности принимаемых решений.

Следует иметь в виду, что воздействие общества на характер функционирования экосистем осуществляется посредством хозяйственной, общественной и рекреационной деятельности. Весь комплекс деятельности человека по преобразованию природы рассматривается как антропогенный фактор воздействия на природную среду. При этом следует учитывать, что антропогенное воздействие человека на природную среду и ландшафты может быть разрушительным, стабилизирующим, конструктивным.

Разрушительное или деструктивное воздействие приводит к утрате, часто невосполнимой, богатств и качества природной среды. Деструктивный антропогенный фактор оказывает негативное воздействие и на характер функционирования экосистем. Некоторые экологические системы уничтожены человеком (например, степи, прерии). В других экосистемах нарушены свойственные им процессы, принципы и закономерности функционирования. К последствиям разрушительного воздействия относят сведение лесов, эрозию почвы, загрязнение окружающей среды и др.

Негативные последствия антропогенного воздействия принято также выражать в таких категориях, как экологическое загрязнение; экологическая напряженность; экологический кризис; экологическая катастрофа.

Загрязнение окружающей среды — любое внесение в ту или иную экосистему не свойственных ей твердых, жидких, газообразных веществ, различных видов энергии или биологических видов в количествах и концентрациях, прерывающих допустимый уровень для жизнедеятельности живых организмов и нарушающих процессы кругооборота и обмена веществ, потоки энергии и информации в биосфере.

Загрязнитель — любой природный или антропогенный физический, химический, биологический агент, попадающий в окружающую среду или возникающий в ней в количествах,

превышающих рамки обычного наличия – предельных естественных колебаний или среднего природного фона. Важно иметь в виду, что не всякое вещество, попадающее в экосистему, является загрязнителем.

Разнообразные виды вмешательства человека в естественные процессы биосферы можно сгруппировать по следующим категориям загрязнений:

- ингредиентное загрязнение или внесение химических веществ, которые количественно или качественно чужды естественным биогеоценозам;
- параметрическое (физическое) загрязнение, связанное с изменением качественных параметров окружающей среды;
- биоценотическое загрязнение, которое заключается в воздействии на состав и структуру популяций живых организмов, населяющих биогеоценоз;
- социально-деструктивное загрязнение, изменение ландшафтов и экологических систем в процессе природопользования, связанном с оптимизацией природы в интересах человека.

Деструктивное воздействие может носить осознанный и неосознанный характер. Суть неосознанных действий состоит в том, что человек не знает, не может знать последствий для окружающей среды своей хозяйственной деятельности. Для него ценны только сегодняшние доходы. Такая деятельность иногда называется хищнической.

Осознанные действия с точки зрения современной экологической науки характеризуются как рациональные. Их основу составляет концепция риска. Она исходит из того, что постоянное присутствие в окружающей среде веществ, потенциально опасных для здоровья человека, всегда создает ту или иную степень реального риска, который никогда не равен нулю.

Концепция риска включает два элемента: оценку риска и управление риском. Оценка риска предполагает не только анализ генезиса и масштабов риска в конкретной ситуации, но и разработку решения (юридического, экономического, экологического, социального), направленного на минимизацию риска (управление). Важно учитывать, что анализ и управление — это две фазы одного

процесса — принятия решения. Главная цель концепции риска состоит в определении приоритетов, основных направлений действий общества по минимизации негативного антропогенного воздействия на экосистему.

Оценка риска строится на фундаментальном, прежде всего, естественнонаучном анализе источника негативного воздействия на природную среду (например АЭС), факторов риска, особенностей конкретной экологической обстановки и механизма взаимодействия между ними. Управление риском опирается на экономикоматематический анализ и на правовые инструменты.

Стабилизирующее воздействие общества (культуры) — целенаправленная деятельность. Суть его состоит в том, что общество во все большей степени осознает опасность экологической проблемы, возрастающее негативное воздействие природы на человека и качество его жизни. Поэтому общество стремится замедлить деструктивное воздействие на природу и уменьшить негативное воздействие природы на общество. К такой деятельности можно отнести развитие природоохранной инфраструктуры, восстановление природных лесопарков, озеленение городов, и т.д.

Конструктивное воздействие — создание искусственных экологических ландшафтов, рекультивация земель, восстановление редких животных и растений и пр. Эта деятельность основана на исследовании объективных законов развития природы и общества, использовании достижений научно-технического прогресса и экологически чистых технологий.

Однако важно иметь в виду, что научно-технический прогресс открывает не только новые возможности человека в утверждении рационального природопользования и охране природы, но и сопровождается усилением деструктивного воздействия на окружающую среду. Проявление данной закономерности требует от общества пересмотра традиций покорения и завоевания природы, сложившихся на более ранних этапах цивилизации. Отказ от реализации данного требования может привести к новым сферам и видам загрязнения экологической среды.

Например, освоение околоземного пространства не только открывает перед человечеством новые горизонты, но и сопровождается загрязнением ближнего космоса, возрастанием опасности для космических полетов. Сегодня выделяют следующие

виды воздействия человека на околоземное пространство: химические выбросы ракетных двигателей; создание энергетических возмущений динамических В результате полетов ракет; загрязнение твердыми фрагментами, космическим мусором; электромагнитное излучение радиопередающих систем; радиоактивное загрязнение жесткое излучение ядерных И энергетических установок; попадание загрязнителей из приземной По некоторым данным, при сохранении темпов загрязнения общее количество твердых частиц размером более 1 см вырастет за 100 лет более чем в два раза. Как считают специалисты, обеспечение защиты околоземного пространства от космического мусора требует принципиального изменения технических средств и методов выведения космических кораблей на орбиту.

В современных условиях стратегические природоохранные задачи общества находят отражение в экологической политики, которая формируется на основе принципов системности и комплексности. Важно иметь в виду, что экологическая политика органично интегрирована в общую стратегию социально-экономического и культурного развития российского общества.

Системный подход к экологической политике позволяет обеспечить единство трех ее основных элементов: постановка целей, выбор инструментов их реализации, учет особенностей системных уровней политики. Структура механизма экологической политики выглядит следующим образом табл. 8.1.

Таблица 8.1 Механизм экологической политики

Инструменты	Целеполагание	Системные уровни
Нормативно-правовые	Задачи	Личность
Экономические	Исполнители	Предприятие
Информационные	Критерии	Город
Социальные	Ресурсы	Село
Социокультурные	Управление	
Психологические		

Основная цель экологической политики заключается в том, чтобы обеспечить рациональное использование природно-

ресурсного потенциала страны, сохранить и защитить природную среду при удовлетворении потребностей экономического развития с учетом перспективных интересов общества и охраны здоровья человека, обеспечить право граждан России на здоровую экологическую среду.

Данная целевая установка определена на основе анализа основных тенденций в развитии экологических отношений, текущих и перспективных интересов общества, материальных и социокультурных предпосылок для ее реализации. Более того, она является органической частью экологической доктрины России, разработанной в 2002 г.

Реализация целей государственной экологической политики обуславливает необходимость дифференциации основных целевых установок, определения исполнителей поставленных задач, выделения ресурсов, определения способов и сроков выполнения поставленных задач. В итоге исполнитель должен получить четкую и реальную программу действий и систему отчетности о выполнении поставленных задач.

В современных условиях общество располагает широким спектром инструментов для решения экологических задач. К основополагающим методам следует отнести:

- нормативно-правовые (законы, постановления органов государственной власти, стандарты и т.д.);
- экономические (бюджетные ассигнования, платежи за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды, налоги, льготы и т.д.);
- информационные, обеспечивающие объективное и своевременное информирование о ресурсосберегающих технологиях, об имеющихся отходах и возможностях их использования, о научно-технических достижениях в области охраны среды;
- социокультурные и психологические (наука, образование, воспитание, международное сотрудничество и т.д.).

При изучении природоохранной деятельности различных субъектов следует исходить из того, что государству должна принадлежать определяющая роль в регулировании взаимоотношений человека и окружающей среды. В его функции входит не только определение экологической стратегии, но и разработка конкретных

мер ПО обеспечению права человека на благоприятную Государство необходимый окружающую среду. формирует решения потенциал (ресурсы, кадры, полномочия) ДЛЯ экологических задач, определяет направления природоохранной деятельности, формы и методы решения экологических проблем.

Одной из актуальных задач государственной политики в области рационального природопользования и охраны окружающей среды является развитие правового механизма регулирования взаимодействия общества и природы в условиях рыночной экономики.

## 8.2. Правовой механизм регулирования взаимодействия общества и природы

Взаимодействие общества и природы по своей сути есть перманентно развивающийся и взаимно обуславливающий процесс. Данная закономерность проявляется в том, что общество непрерывно и постоянно воздействует на природу, так и природа непрерывно и постоянно воздействует на общество. В начале XXI в. в России ежегодный экологический ущерб от загрязнения окружающей среды по разным оценкам составлял 15 – 20% ВВП.

Общество реагирует на обострение экологических проблем путем внутренних перестроек, развития экологической культуры и права, экономических реформ, экологизации научно-технического прогресса и изменения характера взаимоотношений с природой, создавая новые способы стабилизирующего и конструктивного воздействия на экологию. Инновационный подход к модернизации государственно-правового механизма регулирования взаимодействия общества и природы позволяет эффективнее использовать все достижения в области охраны окружающей среды.

В развитии правового механизма следует выделить несколько этапов. Первый относится к периоду 20–30-х годов XX в. По инициативе ученых в советской стране впервые были созданы природоохранные государственные и общественные структуры, заложены правовые основы природоохранной деятельности. Главной задачей правового механизма была защита природы, создание заповедников и рекреационных зон. Это правовое положение сохраняется и в современных условиях.

Второй этап в развитии правового механизма следует отнести к 1950 — 1980-м гг. В этот период резко возрастает антропогенное воздействие общества на окружающую среду. В стране стала проявляться тенденцию к росту экологической напряженности. В десятках городов атмосфера не отвечала санитарным нормам, многие экосистемы пришли в кризисное состояние. Достаточно сказать, в стране насчитывалось свыше 2000 небольших рек, которые превратились в сточные канавы, потеряли свой биологический потенциал.

Общество во все большей степени стало осознавать необходимость реформирования всей системы природопользования, перестройки правового механизма. Во всех союзных республиках были приняты законы об охране природы и созданы специальные государственные природоохранные институты. Эти решения положили начало модернизации государственного правового механизма, реализация которого позволило в значительной мере изменить характер взаимоотношений экономики и экологии.

Однако правовая система охраны природы формировалась на старой социально-экономической модели развития страны. В условиях так называемого бестоварного производства природные ресурсы не имели стоимостной оценки. Определяющее место в решении экологических проблем занимали административноправовые подходы. Благополучие предприятия в определяющей степени зависело не от рационального использования природных ресурсов, а от выполнения производственного плана любой ценой.

Изменения в правовом механизме, к сожалению, не внесли радикальных изменений в характер взаимоотношений общества и природы. Интересы охраны здоровья человека не нашли отражение в правовой системе. В условиях административной экономики затратный, продолжал господствовать нерациональный экологическую природопользования. Попытки смягчить напряженность путем усиления административно-командного нажима на природопользователей не принесли весомых результатов. обострению экологической ситуации в стране Тенденция К продолжала углубляться.

Качественно новый этап в перестройке правового механизма был органически связан с переходом страны на демократический путь развития и формированием рыночной экономики. В 1991 г. был

принят комплексный Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды», который охватывал все аспекты природопользования и охраны природной среды в новых исторических условиях.

этом законе были заложены основы современного правового механизма регулирования отношений обшества и природы. Впервые в нашей стране законодательно был закреплен экологических интересов человека. Более приоритетное значение было отдано экономическим инструментам в решении экологических проблем, т.е. формированию материального интереса в соблюдении экологических требований и Фундаментальную основу экологического права составила защита экологических интересов человека.

В Конституции России (1993 г.) впервые было закреплено право человека на благоприятную экологическую среду, определены основные подходы к его реализации. В экологическом праве нашла отражение система нормативно-правовых актов, принципов и методов, позволяющих регулировать взаимодействие общества и природы в условиях рыночной экономики. Природоохранное право как органическая часть юридической системы государства приобрело гуманитарный характер.

Экологическое право на здоровую экологическую среду обеспечивается:

- созданием благоприятных условий для жизнедеятельности;
- предоставлением возможности участия в обсуждении подготавливаемых решений, выполнение которых может оказать неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека;
- осуществлением государственных мер по предотвращению экологически опасной деятельности, предупреждению и ликвидации последствий техногенных аварий, природных стихийных бедствий;
- предоставлением достоверной информации о состоянии окружающей среды;
  - улучшением качества продуктов питания;
- возмещением ущерба, причиненного здоровью человека негативным воздействием окружающей среды;

• возможностью требовать в судебном порядке отмены решений о размещении, проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации экологически опасных объектов и т.д.

Правовой механизм включает себя экологическое право, систему управления природопользованием и охраной природной среды, но и целый ряд государственноправовых, экономических и социокультурных инструментов. К ним следует отнести институт собственности на природные ресурсы, платность за использование природными ресурсами и загрязнение лицензирование окружающей среды, И лимитирование природопользования, экологическое страхование и экологический аудит, нормирование качества окружающей среды и экологическую экспертизу, экологический мониторинг и государственный контроль качества природной среды.

Экологическое право строится на основе изучения тенденций и закономерностей взаимоотношений общества и природы, развития и эволюции социума (антропогенной системы). Эффективность правого механизма регулирования экологических отношений во многом зависит от нравственного и культурного развития общества.

экологического Современное право отражает собственности на природные ресурсы и природопользования, правовое регулирование ответственность обеспечивает И нарушение природоохранного законодательства. Эти правового механизма регулирования экологических отношений воплощены в таких федеральных законах, как «Об охране окружающей среды», «Об экологической экспертизе», «Об особо территориях», «О санитарно-эпидемиологическом охраняемых благополучии населения» и др.

К основным источникам экологического права относят Конституцию России, федеральные законы, указы Президента России, постановления Правительства, нормативные акты субъектов Российской Федерации, министерств и ведомств.

Конституция России вводит расширенное определение экологической деятельности человека: природопользование, охрана окружающей среды, обеспечение экологической безопасности. Конституция указывает, что земля и другие природные ресурсы

используются и охраняются как основа жизни и деятельности народов.

Это основополагающее положение дополняется правом каждого человека на благоприятную окружающую среду и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью и имуществу. А также провозглашает право граждан и юридических лиц на частную собственность на землю и другие ресурсы.

Положения Конституции конкретизируются в других источниках экологического права. Одним из них является Федеральный закон «Об охране окружающей среды» 2002 г. Этот закон является комплексным законодательным актом прямого действия, т.е. его нормы действуют без каких-либо дополнительных актов и постановлений. Закон определил пути разрешения экологических противоречий и основные задачи природоохранной деятельности, к которым отнесены:

- сохранение природной среды как основы жизнедеятельности человека;
- предупреждение и устранение вредного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду;
- оздоровление и улучшение качества окружающей природной среды.

Закон «Об охране окружающей среды» выводит общество на качественно новый уровень взаимодействия человека и природы. Этот закон в комплексе с мерами организационного, правового, экономического и воспитательного воздействия был призван способствовать формированию и укреплению правопорядка, обеспечению экологической безопасности на территории России.

Законодатели исходили из того, что в стране сложилась экологическая ситуация И природопользовании острая Ha большинстве господствовали негативные тенденции. предприятий отсутствовала природоохранная инфраструктура. Они выбрасывали вредные вещества в атмосферу и водоемы. Основными предприятия загрязнителями окружающей среды являлись металлургии (33%), энергетические объекты (29%), химической промышленности (7%).

Тяжелая обстановка сложилась в индустриальных центрах страны. Качество вод основных рек оценивалось как

неудовлетворительное. В стране продолжалось уменьшение и ухудшение качества сельскохозяйственных угодий. Допускались серьезные потери невозобновляемых природных ресурсов. При добыче угля терялось (по отношению к погашенным запасам) 14,2%; железной руды -28,6%, медной руды -7,6%, а извлечение нефти и пластов не превышало 30%. Деградация окружающей природной среды, прежде всего, отражалась на здоровье человека и состоянии генетического фонда людей.

Впервые в природоохранное законодательство вводится понятие «экономический механизм охраны окружающей природной среды», раскрываются его задачи, определяются его инструменты, в частности средства экономического стимулирования рационального природопользования. Цель этого нововведения состоит в том, чтобы превратить природоохранную сферу в экономически выгодную деятельность хозяйствующего субъекта.

В Законе подчеркивается, что переход на качественно новый уровень взаимодействия человека и природы возможен на основе научно обоснованного сочетания экологических и экономических интересов. В современных условиях необходимо обеспечить приоритет экологических (общественных) интересов экономическими (частными). Такое сочетание общественных и частных интересов позволит создать реальные материальные и социальные предпосылки для сохранения главных ценностей благоприятной современного мира - здоровья человека И экологической среды для его жизнедеятельности.

Научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов обеспечивается двумя группами правовых норм:

- 1) нормативы качества окружающей среды;
- 2) экологические требования к хозяйственной деятельности, оказывающей негативное воздействие на природную среду.

Механизм реализации Закона «Об охране окружающей среды» имеет две стороны статическую и динамическую. Статическая сторона фиксируется в нормах Закона, а динамическая – осуществляет движение правовых норм в жизнь.

К важнейшим особенностям механизма реализации Закона следует отнести сочетание экономических и административноправовых методов регулирования взаимодействия человека и

природы. Система экономического стимулирования (платность финансирование, природопользования, льготное кредитование экологических проектов и т.д.) дополняется такими методами административно-правового воздействия как экологическая экспертиза, экологический аудит, экологический контроль и т.д. Такой подход к организации рационального природопользования и окружающей природной среды отвечает охране стандартам и создает реальные возможности для улучшения экологической обстановки в стране.

Законе «Об охране окружающей среды» человек рассматривается не только как субъект преобразовательной деятельности, но и как объект воздействия негативных последствий его хозяйственной деятельности. И чтобы биологические интересы человека российском законодательстве провозглашается право граждан на здоровую и благоприятную окружающую среду.

Эта правовая форма находит конкретное выражение в понятии «качество природной среды». Качество экологической среды отражает определенную степень устойчивости экологической системы. Для оценки устойчивости экосистем используют следующие характеристики:

- естественное состояние (в экосистеме наблюдается лишь фоновое антропогенное воздействие);
- равновесное состояние (скорость восстановительных процессов в экосистеме выше или равна темпу разрушения);
- кризисное состояние (антропогенные нарушения в окружающей среде превышают скорость естественновосстановительного процесса, но сохраняется естественный характер экосистем);
- катастрофическое состояние (в экосистеме развивается трудно обратимый процесс разрушения равновесного состояния).

Кроме того, используется и медико-социальная шкала для оценки экологической среды как условия жизни человека. Она включает следующие показатели:

• благоприятная зона (окружающая среда способствует росту продолжительности жизни человека, снижению заболеваемости населения);

- зона напряженной экологической ситуации (в определенном регионе наблюдается переход от кризисного к критическому состоянию природы);
- зона критической обстановки (природные условия становятся практически непригодными для жизнедеятельности человека);
  - зона чрезвычайной экологической ситуации;
  - зона экологического бедствия.

В мировой практике признано, что стержнем концентрации экологической безопасности является теория экологического риска и прикладная ее часть — приемлемый риск. Этот риск определяется воздействием загрязненной природы на здоровье человека. Экологический риск, по своей сути, — это допущение вероятности причинения вреда природной среде ради достижения экономического эффекта.

Нормальный экологический риск — основанное на признании и правильном использовании законов природы допущение вреда при условии отсутствия необратимых последствий, реальной возможности воспроизводства потерянных природных ресурсов.

Эпоха индустриального и постиндустриального общества сопровождается давлением на окружающую среду, возникновением устойчивого загрязнения окружающей среды. Закон «Об охране окружающей среды» обосновывает два подхода к решению этой задачи.

Первый путь обуславливает необходимость реконструкции промышленных предприятий на основе современных ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий, биотехнологий. Второй путь с экономической точки зрения гораздо выгоднее. Речь идет о том, чтобы не допускать строительства нового хозяйственного объекта, являющегося источником загрязнения окружающей среды. Основным критерием допуска проекта к реализации выступают экологические требования ко всем видам хозяйственной деятельности, закрепленные в Законе «Об охране окружающей среды»:

• при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию предприятий и иных объектов;

• при эксплуатации предприятий и иных объектов, в том числе при использовании радиоактивных материалов.

экологическое Важно отметить, что право органичной частью общей правовой системы. Это предполагает и обуславливает необходимость комплексного использования различных отраслей права (административного, гражданского, уголовного, международного и экологического права) регулировании взаимодействия человека и природы.

К одному из важнейших направлений развития правового механизма относится внедрение эколого-правовых требований в содержание нормативно-правовых актов. Это позволяет повысить эффективность правового регулирования экологических отношений. Так, по отношению к хозяйствующим субъектам нормы экологического права действуют через нормативные акты, регулирующие экономическую деятельность этих субъектов и ответственность предприятия за ущерб, причиненный природе, за нарушение санитарно-гигиенических норм по защите здоровья человека.

Органической частью правового механизма является институт правовой ответственности. Он проявляется в том, что человек обязан не только выполнять соответствующие нормы поведения, но и нести неблагоприятные последствия за их нарушение. В области экологии ответственность имеет целый ряд специфических особенностей. К одной из них следует отнести ответственность юридических и физических лиц не только перед настоящим, но и будущим поколениями людей.

Эколого-правовая ответственность выступает как государстпринуждение исполнению правовых требований. Государство является гарантом исполнения экологического законодательства принимает все необходимые И меры утверждения правового порядка. За нарушение экологического законодательства человек или юридическое лицо подвергается определенным санкциям. Кроме того, эколого-правовая ответственность представляет собой совокупность юридических норм.

В экологическом праве существуют различные виды ответственности: эколого-правовая, наступающая за причинение неправомерного вреда; эколого-экономическая, наступающая за причинение вреда в результате правомерной, разрешенной

государством деятельности, связанная с выплатой компенсации, направленной на восстановление объектов природы.

Эколого-правовая ответственность обеспечивает реализацию охранительной (превентивной) функции — угрозы применения государственного (общественного) воздействия; компенсационной функции — восстановления потерь в природе; стимулирующей функции — функции, формирующей материальную заинтересованность в утверждении рационального природопользования. Экологоправовая ответственность наступает за вред: антропогенный (вред окружающей среде); физиологический (вред здоровью человека); генетический (вред будущим поколениям человечества).

Экологическое нарушение отражает субъективное и объективное противоречие, существующее в системе «общество – природа». Удовлетворяя свои экономические потребности, человек воздействует на окружающую среду и причиняет вред окружающей природе, разрушает среду своего обитания. Объективный характер загрязнения природы предопределил правовую необходимость дифференциации вреда, наносимого хозяйственной деятельностью природе.

В современном праве выделяют нормативные и сверхнормативные негативные воздействия человека на природу. Экологическое право допускает загрязнение окружающей среды, если оно не нарушает право человека на здоровую экологическую среду. Допускаемый уровень загрязнения находит правовое закрепление в нормативах качества окружающей среды.

Сверхнормативные загрязнения возникают в результате противоправного поведения природопользователя, нарушения нормативов качества среды. В этом случае экологическое право предписывает обязательность восстановления нарушенного равновесия экологических систем. Это требование реализуется в двух формах: экономической и юридической.

В условиях рыночной экономики ведущим принципом регулирования взаимодействия юридического лица и природы является принцип «загрязнитель платит». В настоящее время используются следующие виды экономической ответственности:

• обязательные платежи предприятий за нормативные и сверхнормативные сбросы, выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду;

- возмещение потерь сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства при изъятии земель или ограничении их использования;
  - взимание платы за использование вод в промышленности.

Платность используется как инструмент стимулирования рационального природопользования и развития природоохранной деятельности.

Юридическая ответственность возникает по факту нарушений экологических требований и реализуется через административные, уголовные, гражданские и другие правовые санкции. Уголовно-правовая ответственность применяется только к физическим лицам за совершение экологического преступления, т.е. посягательство на экологический правопорядок и его составную часть — экологическую безопасность населения.

Административная ответственность применяется к физическим и юридическим лицам за совершение экологического проступка при отсутствии состава преступления. Наиболее распространенная мера административного взыскания — штраф, а наиболее типичная мера — изъятие орудий и средств совершения правонарушения вплоть до конфискации средств передвижения.

Гражданско-правовая экологическая ответственность предусматривает возмещение нанесенного экологического ущерба (за реальный вред, упущенную выгоду, неполученный доход).

Дисциплинарная ответственность применяется к физическим лицам за невыполнение служебных обязанностей, которое причинило экологический вред.

Эколого-правовая ответственность функционирует на базе принципов: синхронности и адекватности. Сущность принципа синхронности проявляется в том, что каждому нарушителю экологического права должна соответствовать определенная санкция. Задача принципа адекватности заключается в обеспечении соразмерности правонарушения и применяемого взыскания. При вынесении взыскания учитываются характер правонарушения, размер причиненного вреда, форма совершенной вины (умысел, неосторожность, небрежность), повторяемость нарушения.

Цель эколого-правовой ответственности заключается в защите условий существования человека и общества. В силу этого экологическая ответственность не является самоцелью,

автоматически наступающей за совершением нарушений. И если устранение нарушения и перевоспитания нарушителя наступило раньше, чем применено юридическое взыскание, то ответственность может не применяться.

В управлении природопользованием и охраной природы используются правовые и внеправовые формы. Внеправовые формы регулировать природопользование позволяют оперативно необходимыми обеспечивать исполнителей средствами ДЛЯ функций. Правовые выполнения ИМИ своих формы носят правоприменительный характер. Существует правотворческий, следующие правовые методы:

- метод обязательных предписаний;
- метод рекомендаций, реализация которых допускает учет местных условий и особенностей;
- метод санкционирования или ограниченного самоуправления;
- метод согласования и разрешения или полного делегирования прав, означающий полное самоуправление природоохранных органов.

Все указанные методы прямо закреплены в Федеральном законе «Об охране окружающей среды», в земельном, водном, лесном законодательстве, в законодательстве о недрах, законах об использовании и охране животного мира и атмосферного воздуха. Цель методов состоит в том, чтобы обеспечить выполнение экологических требований, сохранение природной среды в интересах нынешнего и будущего поколений.

Структура органов управления природопользованием включает в себя:

- функциональные органы, осуществляющие надзор по ядерной и радиационной безопасности, горный и промышленный надзор;
- органы общего управления (Президент, Федеральное собрание, Правительство, органы власти местного самоуправления);
- органы комплексного управления специально уполномоченные органы (Министерство природных ресурсов и экологии, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Гидрометцентр);
- органы отраслевого природоохранного управления комитеты по земельным, водным, лесным и земельным ресурсам и т.д.;

• специальные территориальные органы – Роскомсевер и др.

Правовые нормы и методы государственного регулирования природопользования реализуются через функции управления. Данными функциями наделены государственные и ведомственные органы. В управленческой деятельности используются семь функций. К ним относятся:

- функция учета природных ресурсов и природных объектов, ведения государственных кадастров;
- функция планирования мероприятий по использованию и охране природных ресурсов;
- функция распределения и перераспределения природных ресурсов;
  - функция воспроизводства природных объектов;
- функция пространственно-территориального устройства природных объектов;
- функция контроля использования и охраны природных ресурсов;
  - функция разрешения споров о праве природопользования.

Модернизация правового механизма регулирования органически взаимодействия человека И природы была взаимосвязана c развитием отраслевых правовых основ использования природных ресурсов.

Рыночная экономика качественным образом изменила взаимодействия отЄ экологии. характер экономики предопределило основные тенденции в развитии отраслевого права. Этот процесс развивается по трем основным направлениям. Вовносятся качественные изменения существующие В правовые кодексы землепользования и водопользования. Во-вторых, перерабатываются старые (административно-правовые) кодексы и принимаются в новой редакции (Лесной кодекс). В-третьих, разрабатываются качественно новые разделы экологического права, правовые отношения в ввести сферы позволяющие новые природопользования.

### 8.3. Правовые основы использования атомной энергетики

Проблема создания правового поля (атомного права) в области использования атомной энергетики и обеспечения радиационной безопасности населения возникла еще на начальной стадии развития атомной промышленности. Актуальность решения этой проблемы возросла не только в связи с перспективами развития атомной энергетики, но и после нескольких техногенных катастроф на АЭС.

Практические шаги по созданию нормативно-правовой основы использования ядерной энергии были сделаны в конце 80-х — начале 90-х годов. Главная цель принятых программ заключается в снижении риска радиационного воздействия ядерных объектов на человека и среду его обитания до социально приемлемого уровня.

Важно иметь в виду, что деятельность в области использования атомной энергии в России регламентируется системой правовых и нормативных документов, которая имеет многоуровневую структуру (табл. 8.2).

Таблица 8.2 Структура системы правовых основ использования ядерной энергии

1-й уровень	Законы	
2-й уровень	Нормативные правовые акты Президента и	
	Правительства, органов государственной власти	
3-й уровень	Федеральные нормы и правила в области использования	
	атомной энергии	
4-й уровень	Нормативные документы Госатомнадзора	
5-й уровень	Стандарты, строительные нормы и правила, экологи-	
	ческие нормативы и требования, нормативные документы	
	органов управления использования атомной энергии	

Атомное право охватывает документы, определяющие права и обязанности организаций-участников использования атомной энергии, меру ответственности и порядок установления компенсации при причинении ущерба отдельному человеку, предприятию, окружающей среде.

К основным документам права следует отнести Законы «Об охране окружающей среды», «Об использовании атомной энергии» и «Об обращении с радиоактивными отходами».

В этих законах решаются принципиальные вопросы:

- обеспечения безопасности ядерных установок;
- защиты человека и окружающей среды от ионизирующих излучений;
  - безопасного захоронения радиоактивных отходов;
  - нормативного регулирования радиационного воздействия.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» впервые определяет правовые основы государственной политики в области использования атомной энергии и обеспечения радиационной безопасности. Они обеспечивают сбалансированное решение социально-экономических и научно-технических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей настоящего и будущих поколений, укрепления правопорядка в природопользовании и охране окружающей среды. Свою основную задачу государство видит в том, чтобы правовыми методами обеспечить безопасное для человека и природы развитие атомной индустрии. Такой подход в полной мере соответствует международным нормам и общечеловеческим интересам.

подчеркивается, при что размещении, проектировании, строительстве, вводе эксплуатацию В эксплуатации ядерных установок должна обеспечиваться охрана A окружающей среды. также должно осуществляться государственное регулирование безопасности окружающей среды и соответствии c законодательством общепринятыми принципами и нормами международного права.

Разработчики проекта АЭС или другого проекта обязаны заранее подготовить технологические решения, обеспечивающие безопасный вывод ядерного объекта из эксплуатации.

Важное место в Законе занимают требования в области охраны окружающей среды при использовании радиоактивных веществ и ядерных материалов. Юридические и физические лица обязаны соблюдать правила производства, хранения и транспортировки, применения, захоронения радиоактивных веществ

и ядерных материалов. Работа с этими веществами и материалами разрешается только при соблюдении установленных предельно допустимых нормативов ионизирующего излучения.

Далее, в целях обеспечения радиационной безопасности Закон запрещает ввоз в Россию радиоактивных отходов и ядерных материалов из иностранных государств для хранения или захоронения. В то же время в Законе подчеркивается, что ввоз в страну ОЯТ осуществляется на основе международных договоров, облученные тепловыделяющие сборки ядерных реакторов не являются радиоактивными отходами.

Значительный шаг в развитии правовых основ использования атомной энергии был сделан в конце XX в. К этому периоду относится принятие комплексного Закона «Об использовании атомной энергии», Законов «Об административной ответственности организаций за нарушение законодательства в области использования атомной энергии», «О радиационной безопасности населения» и др.

Принятие ряда законов призвано содействовать безопасному развитию атомной энергетики и другим направлениям использования атомной энергии.

В процессе разработки Закона «Об использовании атомной энергии» был использован не только накопленный опыт законотворчества, но и современные достижения юриспруденции. «Об Российский закон использовании атомной соответствует мировым юридическим стандартам. В нем заложены основные принципы регулирования отношений, возникающих при использовании атомной энергии. Впервые в нашей стране была принята единая концепция правового регулирования использования атомной энергии и обеспечения радиационной безопасности. В ее основу положены следующие положения:

- в стране должен функционировать единый для всех областей использования атомной энергии закон, который может быть дополнен другими законами и новыми актами;
- в законе предусмотрены меры социальной защиты населения, проживающего в районах расположения объектов использования атомной энергии, отражены права работников этих объектов, установлены права субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления;

- законодательное регулирование отношений при использовании атомной энергии распространяется на все этапы жизненного цикла ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения от стадии их размещения, проектирования, эксплуатации и выводов из эксплуатации до захоронения радиоактивных отходов;
- закон определил эффективные правовые и административно-контрольные меры для обеспечения безопасности при использовании атомной энергии;
- закон обеспечивает неуклонное выполнение Россией международных договоров в области использования атомной энергии, ядерной и радиационной безопасности, нераспространения ядерного оружия;
- положения закона предусматривают, что ядерная и радиационная безопасность будет находиться на уровне требований, установленных Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) и другими международными организациями, в деятельности которых участвует Россия.

В Законе рассмотрен широкий спектр вопросов и правовых норм регулирования использования атомной энергии, обеспечения экологической безопасности. Так, ущерб при радиационной аварии ранее возмещало государство. Это делалось после Кыштымской (1957 г.) и Чернобыльской (1986 г.) аварий. Теперь в соответствии с новым законодательством эксплуатирующая организация должна нести ответственность за безопасность при осуществлении деятельности в области обращения с радиоактивными материалами.

Сформулированы основные принципы использования ядерной энергии. К ним относят:

- обеспечение приоритета ядерной, радиационной безопасности, охрану здоровья людей, защиту природной среды;
- широкую гласность и открытость при принятии решения о размещении и сооружении ядерных установок, радиационных источников и пунктов захоронения радиоактивных отходов;
- участие граждан в обсуждении государственной политики, проектов законов;
  - возмещение причиненного ущерба.

В законе впервые определены объекты правового регулирования:

- ядерные установки сооружения и комплексы с ядерными реакторами;
- сооружения, полигоны, установки и устройства с ядерными зарядами для использования в мирных целях;
- сооружения, установки для производства, использования, переработки, транспортировки ядерного топлива и ядерных материалов;
- радиационные источники (установки, в которых содержатся радиоактивные вещества);
- пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов;
- ядерные материалы (способные воспроизвести делящиеся ядерные вещества);
- радиоактивные вещества, испускающие ионизирующее излучение;
- радиоактивные отходы (ядерные материалы и радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусматривается).

Большое внимание уделяется совершенствованию управления использования атомной энергии. В Законе были определены:

- структура управления использования атомной энергии, права и обязанности Президента, Федерального собрания, Правительства, органов власти всех уровней и эксплуатирующих организаций;
- права организаций и граждан в области использования атомной энергии;
- компетенция органов управления использованием атомной энергии;
- цели, задачи и средства осуществления государственного контроля радиационной обстановкой в стране;
- система государственного учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных материалов;

- государственная политика в области обращения с ядерными материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами;
- основные подходы к осуществлению экспорта и импорта ядерных установок, оборудования.

Формирование правовой концепции использования атомной энергии было органично взаимосвязано с повышением ответственности за реализацию законодательства. Основные подходы к решению этих проблем были определены в Федеральном законе «Об административной ответственности организаций за нарушение законодательства в области использования атомной энергии».

В соответствии с Законом административная ответственность наступает в результате нарушения порядка учета ядерных материалов, правил их хранения или радиоактивного воздействия, использования атомной энергии с нарушением норм и правил безопасности. Особое внимание в Законе было обращено на повышение роли государства в регулировании норм и правил энергии. К основным атомной отнесен контроль государственных структур деятельности организаций по использованию атомной энергии, а также право налагать штраф нормативно-правовых за нарушение использования атомной энергии.

Важное место в правовом механизме использования атомной энергии занимают нормы и правила, которые утверждаются Госатомнадзором России. Эти нормативные документы включают требования ко всем этапам жизненного цикла объектов использования атомной энергии, являются важным инструментом обеспечения безопасности в работе ядерных установок. Они устанавливают принципы, критерии и общие требования ядерной и радиационной безопасности к объекту использования атомной энергии.

Основным нормативным документом федерального уровня, регламентирующим требования по защите людей от радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения, на которые распространяется действие норм радиационной безопасности НРБ-99, являются Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности

(ОСПОРБ-99). Они являются обязательными для всех юридических и физических лиц, в результате деятельности которых возможно облучение людей. Эти правила используются при работе, проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, перепрофилировании и выводе из эксплуатации радиационных объектов.

Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» во многих своих положениях не является законом прямого действия, а предписывает государственным структурам разрабатывать и утверждать соответствующие правовые акты для реализации Федерального закона. Впервые в нашей стране была принята Федеральная целевая программа «Обращение с радиационными отходами и отработанными ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996 – 2005 годы», а также разработана Федеральная целевая программа «Ядерная и радиационная безопасность России на 2000–2006 гг.».

Следует подчеркнуть, что в России, как и в мировой практике, решающую роль в обеспечении возмещения вреда здоровью человека и окружающей среде, причиненного в результате радиационного воздействия, начинает выполнять система страхования.

В современных условиях одним из условий получения лицензии на деятельность в области использования атомной энергии является предоставление предприятием-лицензентом гарантий возмещения возможного ущерба третьим лицам еще до начала своей деятельности. Это обусловлено спецификой ядерных или радиационных рисков, последствия которых могут проявиться через значительное время после нанесения ущерба, а к реальному моменту подачи от пострадавших исков на возмещение ущерба предприятие-ответчик может вообще приказать долго жить.

В области использования атомной энергии общий перечень видов страхования объемен. Это и страхование различных видов ответственности, и медицинское страхование, страхование различного рода рисков, страхование самих ядерных объектов и их персонала. Наиболее социально значимым является страхование гражданской ответственности предприятий (эксплуатирующих организаций) перед третьими лицами за ущерб, причиненный

радиационным воздействием при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии.

Современное ядерное страхование основывается на трех базовых принципах:

- существование максимального предела ответственности страховщика (страховой фирмы);
  - абсолютная ответственность страховщика;
- исключительная ответственность страховщика, когда иск на возмещение ущерба может быть предъявлен только эксплуатирующей организации или непосредственно страховщику.

Поскольку возможные страховые выплаты в сфере ядерного страхования очень велики, то ни одна даже очень крупная страховая компания не в силах взять на себя в полном объеме ответственность в результате страхового случая. Чтобы повысить свои обобщенные финансовые резервы, страховые компании объединяются страховые пулы. Таким образом, формируется коллективная ответственность группы страховых фирм перед страхователем. При этом только фирмам-участникам пула разрешено страхование ядерных рисков. В России ядерный пул был создан еще в 1997 г. Он страховых ведущих компаний, объединил 20 конкурсный отбор, проведенный по инициативе Госатомнадзора.

Закон «Об охране окружающей среды» ввел добровольное и обязательное государственное страхование предприятий, организаций и учреждений, а также граждан на случай стихийного бедствия, аварий и катастроф. Основными функциями страхования являются:

- страхование ответственности за аварийное загрязнение окружающей среды, иначе говоря, страхование убытков, могущих возникнуть у третьих лиц в результате экологических аварий;
- стимулирование противоаварийных мероприятий у страхователей за счет специальных резервов страховых экологических фондов;
- возмещение за счет страховых резервов убытков самого страхователя, которые причинены аварией на его собственном предприятии.

Важно иметь в виду, что экологическое страхование не рассчитано на страхование безответственности нарушителей

законодательства, виновник несет ответственность по закону. Особое внимание уделяется страхованию ядерных рисков.

Можно утверждать, что отношение населения к использованию ядерных технологий — скорее психологическая и социологическая проблема. Поэтому важнейшим технологическим аспектом страхования рисков объектов атомной промышленности является выявление и оценка рисков, снижение их до приемлемого уровня, т.е. собственно управление риском.

Управление риском — приведение данного объекта или системы в условия приемлемого риска или поддержания его в этих условиях, причем страхование основывается на анализе ущерба от принятых страховых случаев, а также на корректном представлении о реальной приемлемости риска. Страхование ядерных объектов должно включать, в частности, проведение кампаний по разъяснению отдельным лицам и обществу реального уровня риска инцидентов и аварий на объектах по использованию атомной энергии.

Страхование ядерных рисков относится к виду страхования, который предусматривает возмещение материальных ущербов или вреда, причиненного лицу вследствие радиоактивного влияния, обусловленного непредвиденными обстоятельствами при производстве, хранении и транспортировке радиоактивных веществ. К основным направлениям страхования ядерных рисков относятся:

- страхование гражданской ответственности операторов (владельцев) источников ионизирующего излучения и ядерных установок;
- страхование ответственности перед третьими лицами при транспортировке радиоактивных веществ, ядерных материалов, изделий на их основе и их отходов;
- страхование персонала от несчастных случаев и отрицательного влияния ионизирующего излучения на производстве.

Образование страхового пула позволяет создать условия для решения достаточно сложных задач. Он позволяет создать условия для организации страхования ранее неизвестных рисков, которые не только затруднительно оценить, но и также трудно сформировать сбалансированный страховой портфель.

За счет объединения финансовых средств страховщиков существенным образом увеличивается емкость, а следовательно, и возможности страховщиков по принятию на страхование крупных рисков. Образование пула повышает надежность страховой защиты за счет увеличения гарантии выполнения страховщиками обязательств по возмещению ядерного ущерба.

В современных условиях Россия активно включена в систему международного ядерного страхования. Правительством России подписана Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб, в соответствии с которой для каждого ядерного объекта должна быть предусмотрена страховая ответственность на сумму не менее 50 млн дол.

### Контрольные вопросы

- 1. Какие объективные законы определяют характер и сущность взаимодействия общества и природы?
- 2. Какие инструменты использует государство для решения экологических проблем?
- 3. Почему Федеральный закон «Об охране окружающей среды» носит комплексный характер?
- 4. Какие понятия используются для оценки устойчивости экологических систем?
- 5. Почему экологическая ответственность рассматривается как многоплановый юридический институт?
- 6. Перечислите законодательные акты, в которых регламентируется использование атомной энергии.
- 7. Почему в современных условиях возрастает роль экологического страхования в обеспечении безопасного использования атомной энергии?

#### ГЛАВА 9

## ЭКОНОМИКА И ЭКОЛОГИЯ: ПРОБЛЕМА РАЦИОНАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

# 9.1. Формирование экономического механизма природопользования в условиях рыночной экономики

Переход к рыночной экономике поставил перед Российским государством и обществом целый ряд сложнейших эколого-экономического характера. Среди них проблема эффективного обеспечения рационального И использования природных ресурсов. Рыночная экономика по-новому поставила вопрос о взаимодействии экономики и экологии. Необходимо было определить, какие методы следует использовать для управления природопользованием; как заинтересовать предпринимателя в рациональном использовании природных ресурсов и в организации природоохранной деятельности; эффективной как рациональное сочетание экономических (частных) и экологических (общественных) интересов; как повысить воздействие общества на природоохранную политику; в какой степени следует использовать исторический опыт в организации взаимодействия человека и окружающей среды, в том числе и в условиях административнокоманлной экономики.

Исходным моментом решения этих задач является поиск основных причин неэффективности управления природопользованием не только в условиях административно-командной, но и рыночной экономики. Важно иметь в виду, что противоречие между обществом и природой носит объективный, общечеловеческий причины экологических проблем также характер. И Социально-экономический универсальный характер. цивилизации объективно взаимосвязан с ростом экономического могущества человека, которое сопровождается усилением негативного антропогенного воздействия общества на окружающую среду. С другой стороны, в процессе развития цивилизации формируются материальные и субъективные предпосылки для оптимизации взаимодействия общества и природы.

Процесс формирования условий для перехода на качественно новый уровень взаимодействия человека и природы развивается неравномерно. Индустриально развитые страны обладают огромным научно-техническим, социально-экономическим и политическим потенциалом для решения экологических проблем. Они первыми включили в основные юридические документы право человека на благоприятную экологическую среду. Поэтому для них решение экологических проблем имеет приоритетное значение. В то же время слабо развитые страны имеют ограниченные материальные и финансовые ресурсы. Для них первостепенное значение имеет решение социально-экономических, а не экологических проблем.

Неравномерность вызревания материальных и субъективных предпосылок объективно обуславливает неравномерность осознания развития природоохранной экологической опасности И деятельности. Лидирующие позиции в обеспечении благоприятных экологических условий для жизни человека занимают страны индустриального мира. В этих странах создается богатейший опыт по регулированию взаимодействия экономики и экологии. И он, несмотря на некоторую специфику, является достоянием всего человечества. Любая страна может использовать этот опыт по регулированию экологических отношений с учетом особенностей социально-экономического развития и специфики климатических условий.

Анализ основных тенденций взаимодействия общества и природы позволяет выяснить, что на различных этапах развития экономики индустриального общества природопользование имело свои специфические особенности. Они нашли отражение в сущности экономического механизма. В истории взаимодействия экономики и экологии выделяют три основных этапа, которым соответствуют определенные типы экономического механизма природопользования — мягкий или догоняющий механизм, стимулирующий, жесткий или подавляющий.

По своей сущности либеральный экономический механизм ставил общие ограничительные экологические рамки для развития экономики. Он был направлен на ослабление негативных последствий антропогенного воздействия общества на природу, а не на устранение причин обострения экологических проблем.

Мягкий свойственен экономический механизм типу Ha экстенсивному экономики. этапе экстенсивного взаимодействия экономики и экологии, когда еще не осознавалась глубина экологической опасности, и общество еще не располагало экологическими технологиями, первостепенное внимание уделялось увеличению темпов экономического роста. то же недооценивалась потребность развитии В природоохранных сооружений. В результате темпы развития экономики опережали темпы развития природоохранной инфраструктуры. В производство вовлекался значительный объем природных ресурсов, а количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду, увеличивалось с каждым годом. И как следствие, экстенсивное взаимодействие экономики и экологии сопровождалось усилением негативного антропогенного воздействия на природу.

К другим основным причинам обострения экологических неэффективность следует во-первых, отнести, государственной экологической политики; во-вторых, провалы рынка в экологической сфере (отсутствие или заниженность цен на природные ресурсы, отсутствие рынка экологических работ и услуг институциональную неэффективность в-третьих, (неразвитость правового механизма регулирования экологических ответственности отсутствие предприятий за загрязнение окружающей среды).

Следующий тип - стимулирующий механизм природопользования, который действует в условиях интенсивной экономики и создает условия для экологизации развития производства. Основу функционирования стимулирующего механизма природопользоосновном рыночные инструменты. составляют формирует материальную заинтересовать предпринимателей в соблюдении экологических требований, способствует развитию технологий, производства на базе новых позволяет рационализировать использование природных ресурсов, модернизировать природоохранную инфраструктуру.

Основу жесткого, «подавляющего» экономического типа механизма составляет интегрированное использование административно-правовых и экономических инструментов в организации природоохранной деятельности и взаимодействия экономики и экологии. Посредством жесткой налоговой, кредитной,

штрафной политики практически подавляет развитие экологически грязных отраслей.

Следует иметь в виду, что в реальной действительности эти экономического механизма природопользования существуют в чистом виде. Отдельные элементы стимулирующего и формируются различных механизмов на Проанализируем взаимодействия экономики И экологии. особенности становления стимулирующего типа экономического механизма.

Во второй половине XX в. в индустриально развитых странах, в том числе и в СССР, во все большей степени осознавалась необходимость уровень перехода на качественно новый регулирования взаимодействия общества и природы. Серьезной критике подверглись постулаты основные экстенсивного природопользования, защиты политика приоритетности (частных) общественными экономических интересов над (экологическими), принцип безответственности предприятий за загрязнение окружающей среды.

Качественный перелом в экологической политике произошел в последней четверти XX века, когда в мире разразился глобальный экологический кризис. воздействием Под его индустриального мира завершили переход от догоняющего к стимулирующему экономического типу механизма. материальной основой переход стал OT экстенсивного интенсивному пути развития экономики. Это предопределило необходимость использования новых инструментов регулирования эколого-экономических отношений.

В эффективности решения целях повышения природоохранных задач в правовой механизм был введен принцип и правовой ответственности предприятий экономической окружающей Существенные загрязнение среды. произошли и в выборе методов управления природоохранной деятельностью. Приоритетная роль в решении экологических проблем стала отводиться экономическим инструментам. К ним следует отнести:

• принципы платности использования природных ресурсов и загрязнения окружающей среды (загрязнитель платит);

- финансирование и планирование природоохранной деятельности;
- государственную поддержку отраслей, производящих экологическое оборудование и аппаратуру и др.

Действия экономических инструментов ориентированы на качественное изменение отношений предпринимателей к природе и соблюдения экологических требований. Одновременно были установлены строгие меры ответственности руководителей предприятий за выброс вредных веществ в окружающую среду.

Таким образом, стимулирующий экономический механизм природопользования представляет собой систему норм экономической и юридической (гражданско-правовой, административной, уголовной и др.) ответственности, обеспечивающих:

- повышение экономической заинтересованности и ответственности субъектов в выполнении экологических требований;
- формирование и распределение финансовых потоков с целью наиболее эффективного использования средств, предназначенных для решения экологических задач.

конце двадцатого столетия странах цивилизации был определен оптимальный подход к обеспечению рационального взаимодействия экономики И экологии. Его сущность заключается в обеспечении диалектического единства административно-правового экономического И подходов регулированию взаимодействия человека и природы, приоритета (экологических) общественных интересов частными над (экономическими).

Здесь важно подчеркнуть, что определенный поворот советского государства к экологическим проблемам произошел одновременно с общемировой тенденцией. К сожалению, процесс совершенствования отношений экономики и экологии развивался на базе централизованного государственно-правового механизма и экстенсивной экономики. В 70-х годах был принят целый ряд правовых актов, свидетельствовавших об определенных изменениях в отношениях государства и общества к экологическим проблемам.

Однако государство по-прежнему абсолютизировало административные инструменты и продолжало недооценивать

экономические способы решения экологических проблем. Проблема состояла в том, что административно-командная система объективно была не восприимчива к экономическим методам управления природопользованием. Природные ресурсы принадлежали государству и не имели стоимостной оценки. В стране господствовал затратный характер природопользования.

Государство монополизировало регулирование экологоэкономических отношений и природоохранной деятельности. В условиях централизованного управления экономикой действовал достаточно простой и четкий механизм выделения и распределения средств на природоохранную деятельность. Государство обладало абсолютной монополией на финансовые и материальные ресурсы и распределяло их через систему бюджетного финансирования и планирования. Государственный план определял основные направления природоохранной деятельности и являлся основным источником финансирования природоохранных мероприятий.

Начиная с 1974 г. в состав годовых и пятилетних планов социально-экономического развития был включен раздел «Охрана природных ресурсов», который содержал целый ряд заданий, в том числе и охране атмосферного воздуха, лесных ресурсов, воспроизводству рыбных запасов, охране недр и рациональному использованию минеральных ресурсов, развитию природоохранной инфраструктуры и охране отдельных территорий.

Включение в государственный план конкретных природоохранных мероприятий обеспечивало устойчивое финансирование плановых заданий. Несомненно, это был прогрессивный шаг, который принес определенные качественные изменения в процесс взаимодействия общества и природы. Однако попытка регулировать природоохранную деятельность «сверху» не позволила учесть всего многообразия региональных экологических проблем и специфику их решения. Значительные возможности советского общества в решении экологических проблем не были использованы.

Опыт централизованного управления показал, что существенных изменений во взаимодействии общества и природы в конце двадцатого века не произошло. Причины неэффективного государственного регулирования следует искать не только в сущности самой административной системы, но и во внешнеполитических условиях существования советского государства.

Политика «холодной войны» требовала направления основных материальных, финансовых и научно-технических ресурсов на развитие тяжелой индустрии, и, прежде всего, на развитие военно-промышленного комплекса. В этих условиях экологические (общественные) интересы общества были отодвинуты на второй план. Поэтому развитие природоохранной инфраструктуры осуществлялось по остаточному принципу.

В процессе анализа взаимодействия советского общества и природы следует учитывать и монопольные интересы министерств и ведомств. С одной стороны, для них определяющее значение имели экономические показатели предприятий. Поэтому они требовали от них обязательного выполнения производственного плана. А вопросы охраны окружающей среды занимали второстепенное значение. инвестиции направлялись на развитие основных фондов. Во-вторых, финансирование производственных работ осуществлялось, природоохранных правило, как остаточному принципу. При этом строгого контроля над целевым использованием экологических инвестиций не осуществлялось. производственные объекты вводились соответствующих природоохранных сооружений. И как следствие, недооценка экологических (общественных) интересов сопровождалась утверждением приоритета ведомственных (экономических) интересов.

В середине 80-х годов руководство страны и общество во все большей степени осознавали необходимость реформирования всей системы социально-экономических, политических, духовнонравственных и экологических отношений. Реальные возможности для перестройки механизма взаимодействия общества и природы были открыты с началом экономической и социально-политической реформы 90-х годов.

Россия получила возможность использования опыта западных стран по совершенствованию регулирования эколого-экономических отношений. Однако следует иметь в виду, что утверждение рациональных эколого-экономических отношений имеет свои специфические особенности по сравнению с мировым опытом.

Во-первых, в западной цивилизации процесс преобразования всех сфер общественных отношений, в том числе и экологических,

осуществлялся в течение длительного исторического периода, и имел эволюционный характер. Руководство нашей страны, в исторических традициях советского государства, решило использовать революционные преобразования методы разрушена обшественных отношений. результате была политическая и экономическая система, потеряна управляемость обществом.

Во-вторых, специфические особенности экологических преобразований были обусловлены не только особенностями социально-экономических условий, но и научно-техническим уровнем развития производительных сил. В стране отсутствовал механизм внедрения достижений науки и техники, экологических технологий в производственный процесс.

В-третьих, процесс преобразования системы взаимодействия затруднялся экологии И тем, что ЭКОНОМИКИ первый изменений выступили революционных на план общественные, интересы. Принцип общности a частные государственных общественных интересов подвергался инфляционным разрушениям. К этому следует добавить, что приватизация основных производственных фондов не изменила экстенсивного характера взаимодействия экономики и экологии. Более того, экономика нашей страны приобрела сырьевой характер, объективно сопровождалось усилением что негативного антропогенного воздействия общества на природу.

В-четвертых, реформирование экономики осуществлялось без учета экологической составляющей. Ни один договор о передаче государственных предприятий в частную собственность не содержал экологических требований. Основным регулятором являлся стихийный рынок, который абсолютизировал частные интересы. Главная цель производства и природопользования заключалась в получении наивысшей прибыли. Поэтому экстенсивная эксплуатация природных ресурсов становилась одним из важнейших источников получения прибыли.

В-пятых, первые шаги по пути рыночных отношений подтвердили объективную незаинтересованность частных предпринимателей в экологизации производства и инвестировании в экологическую сферу. Разгосударствление подавляющего числа экономических объектов не привело, в целом по России, к

снижению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Статистика свидетельствует об усилении тенденции к загрязнению окружающей среды, осложнению экологической обстановки в стране.

Анализ первых шагов в организации взаимодействия общества и природы в условиях формирующейся рыночной экономики показал, что переход к стимулирующему хозяйственному механизму требует не радикальных изменений, а эволюционных преобразований не только в экономических отношениях, но и в государственно-правовой системе управления природопользовании-ем. Стало очевидным, что для успешного осуществления природоохранной деятельности необходимо обеспечить:

- приоритетное значение экологических интересов над экономическими;
- сочетание методов экономического стимулирования с методами государственного регулирования;
- приоритетность экономических инструментов управления над административными;
- перевод административной системы управления на рыночные механизмы в сфере экологии;
- повышение экономической и юридической ответственности предпринимателей за выполнение экологических требований.

Решение этих актуальных задач позволит радикальным роль государственного регулирования образом изменить взаимодействия экономики и экологии. Если экономический механизм позволяет обеспечить финансирование экологических стимулирование природопользователей, программ природоохранные нормативы и стратегические задачи стабилизации и улучшения экологической обстановки в стране устанавливаются с помощью административных методов управления.

При этом государство в процессе разработки и утверждения природоохранных требований должно учитывать состояния экономической ситуации. В это время в законодательных актах основное внимание следует уделять созданию правовых механизмов, позволяющих накапливать средства для выполнения природоохранных мероприятий. И, наоборот, в условиях подъема экономики и хорошей экономической конъюнктуры государство

должно повышать экологические требования в целях обеспечения благоприятной природной среды для жизнедеятельности человека.

В процессе формирования рыночной государственной системы управления законодатели и представители правящей элиты пришли к выводу, что стимулирующий экономический механизм природопользования должен представлять собой систему правовых норм экономической и юридической ответственности всех субъектов хозяйственной деятельности за загрязнение окружающей среды. Они должны обеспечить:

- повышение экономической ответственности руководителей предприятий за выполнение экологических требований;
- формирование и распределение финансовых потоков с целью наиболее эффективного использования инвестиций, предназначенных для решения экологических задач.

Для ускорения процесса формирования стимулирующего механизма необходимо решить ряд сложнейших проблем. К ним следует отнести, во-первых, научно-практическое обоснование места и роли государства в регулировании взаимодействия экономики и экологии. Во-вторых, нужно активизировать процесс формирования нового типа эколого-экономического мышления.

Стало очевидным, что устаревшая философская основа взаимодействия человека и природы является серьезным препятствием на пути эколого-экономических преобразований. Обновление философской основы взаимодействия общества и природы, несомненно, внесет серьезные коррективы в экологическую политику государства и общества, станет активным фактором привлечения широких кругов предпринимателей и общественности к решению экологических проблем.

Таким образом, решение этих задач создаст благоприятные предпосылки для качественного изменения взаимоотношений государства и общества, разработки механизма обеспечения широкой гласности, повышения роли общественности в утверждении рационального природопользования.

В то же время формирование стимулирующего экономического механизма природопользования открывает новые перспективы природоохранной деятельности, повышения эффективности осуществления задач по совершенствованию взаимодействия экономики и экологии. К основным направлениям

совершенствования взаимодействия общества и природы следует отнести:

- рациональное распределение прав собственности на природные ресурсы между федеральным центром и его субъектами;
- совершенствование и внедрение в практику прогрессивных методов экономической оценки природных ресурсов;
- повышение уровня платежей за загрязнение природной среды и за пользование природными ресурсами;
- рациональное и справедливое распределение ресурсной ренты для всего населения страны;
- создание условий для внедрения экологических технологий и научных разработок в природопользование;
- прогнозирование и планирование экологических проектов и программ по охране окружающей среды;
- расширение круга источников финансирования природоохранной деятельности;
- совершенствование рыночных механизмов регулирования природопользования;
- создание рынков лицензий, проектов вторичных ресурсов, экологических работ и услуг, продажи прав на загрязнение и т.д.

Мировой отечественный И опыт доказывает, осуществление этих задач требует мобилизации ресурсов общества, государства и бизнеса, всех слоев диверсификации методов регулирования эколого-экономических отношений. Проанализируем тенденцию включения методов стимулирования экономического В современную систему управления природопользованием.

# 9.2. Экономическое стимулирование природоохранной деятельности

Экономическое стимулирование является составной частью экономического механизма управления природопользованием и природоохранной деятельностью. Оно представляет собой систему инструментов, приемов и способов воздействия государства на взаимодействие экономики и экологии с целью обеспечения рационального природопользования.

Стимулирующий экономический механизм природопользования использует несколько групп методов. К ним относят:

- методы экономического сдерживания развития экологически опасных технологий и продукции;
- методы экономического стимулирования рационального природопользования и природоохранной деятельности;
  - методы экономической оценки природных ресурсов.

В последнее время в нашей стране наметилась тенденция к более широкому использованию эколого-экономических стимулов для оптимизации взаимодействия общества и природы. При этом учитывают, что такие методы, как планирование и финансирование природоохранной деятельности, установление лимитов, платы за ресурсы загрязнение окружающей природные И за среды, экологическое страхование и экологический аудит, представляют собой систему косвенных регуляторов качества окружающей среды. А экономические методы, затрагивающие имущественные интересы природопользователей, способствующие пониманию зависимости между экономической выгодой и соблюдением экологических требований, относят к стимулирующим инструментам.

Сущность экономического стимулирования рационального природопользования заключается в создании у природопользователей экономической заинтересованности в соблюдении экологических требований и осуществлении природоохранных мероприятий. К эколого-экономическим стимулам относят:

- налогообложение (в том числе и экологическое);
- финансово-кредитный механизм природоохранной деятельности (льготное кредитование, субсидирование и др.);
- ценовую политику (использование поощрительных цен и надбавок на экологически чистую продукцию, регулирование цен на первичные ресурсы и конечную продукцию);
- государственную поддержку предприятий, производящих природоохранное оборудование;
  - создание системы экологической сертификации;
  - формирование рынка экологических работ и услуг;
- проведение политики торговли правами на загрязнения (использование механизма купли-продажи государственных лицензий на право загрязнения окружающей среды);

- введение ускоренной амортизации основных фондов природоохранного назначения;
- лицензирование использования природных ресурсов (лицензионный сбор).

В системе методов эколого-экономического стимулирования различают две группы методов позитивной и негативной мотивации.

Эти две стороны экономического стимулирования можно определить как меры заинтересованности и меры ответственности. определяется Использование ЭТИХ групп методов уровнем законодательно-нормативного обеспечения отдельных вопросов природопользования, экономической оценкой выгодности проводимых природоохранных мероприятий для предприятия.

Важно иметь в виду, что все существующие в России экологические платежи можно разделить на два вида: налоговые и неналоговые. К налоговым платежам за пользование природными ресурсами относят земельный и водный налоги, сборы за пользование объектами животного мира и водных биологических ресурсов. К неналоговым относят платежи за пользование лесным фондом, систему платежей за пользование недрами, платежи за пользование землей, плата за негативное антропогенное воздействие на окружающую среду.

Рассмотрим более подробно отдельные инструменты эколого-экономического стимулирования.

В современных условиях эффективное использование природно-ресурсного потенциала страны становится главным фактором ее экономического роста. Государство рассматривает принцип платности природопользования как важнейший инструмент регулирования эколого-экономических отношений ресурсов в условиях рыночной экономики. К основным целям введения платного природопользования относят:

- рациональное и комплексное использование природных ресурсов;
  - улучшение охраны природной среды;
- выравнивание социально-экономических условий хозяйствования при использовании природных ресурсов;
- формирование специальных фондов финансирования охраны окружающей среды и воспроизводство природных ресурсов.

Система платежей за природные ресурсы включает: виды платежей; методы определения размера отдельных видов платежей; порядок установления, изъятия и использования платы.

Природоресурсные платежи выполняют компенсационную; стимулирующую фискальную. И Компенсационная функция реализуется посредством направления платежей возмещение причиненного взимаемых на вреда, окружающей загрязнением среде здоровью человека, восстановление и воспроизводство ресурсов.

Стимулирующая функция направлена на повышение экономической заинтересованности в снижении уровня негативного антропогенного воздействия на окружающую природу, на отказ от нерационального использования природных ресурсов.

К одному из основных видов платности относится плата за загрязнение окружающей природной среды. Она реализует принцип экономической ответственности за нарушение природоохранного законодательства и является одним из экономических методов управления в сфере природопользования. Она выполняет три функции: компенсационную; стимулирующую и экологическую.

Во-первых, плата за загрязнение направлена на компенсацию вреда, причиненного природной среде, здоровью человека, материальным ценностям. В отличие от юридической ответственности, которая наступает по факту правонарушения, обязанность платы за загрязнение возникает по факту правомерного, разрешенного государственными органами причинения вреда, независимо от вины хозяйствующего субъекта.

Во-вторых, установленная плата взимается в бесспорном порядке за счет прибыли или себестоимости продукции предприятия-загрязнителя. Плата за загрязнение стимулирует сокращение выбросов вредных веществ в окружающую среду.

В-третьих, платежи за загрязнение служат главным источником образования и пополнения внебюджетных экологических фондов, средства которых используются для оздоровления и охраны окружающей среды. В этом проявляется экологическое значение платы.

Законодательством России предусматриваются три вида платы за загрязнения природы:

- за выбросы, сбросы вредных веществ в пределах установленных лимитов;
- за выбросы, сбросы вредных веществ сверхустановленных норм или без разрешения компетентных органов;
  - за размещение отходов в окружающей среде.

Порядок установления платы состоит из трех этапов:

- 1) определение базовых нормативов платы;
- 2) определение дифференцированных ставок;
- 3) определение конкретных размеров платы за загрязнение.

Базовые нормативы находятся по каждому виду загрязнителя или виду вредного воздействия (шум, электромагнитное излучение) с учетом степени их опасности для окружающей среды и здоровья человека.

Базовые нормативы представлены в двух видах:

- 1) за выбросы, сбросы, размещение отходов в пределах установленных нормативов;
- 2) за выбросы, сбросы, размещение отходов в пределах утвержденных лимитов или временно согласованных выбросов.

Дифференцированные нормативы исчисляются на основе базовых нормативов, но с поправкой на экологическую ситуацию соответствующих регионов. К последним относятся природно-климатические, экономические особенности территорий, значимость охраняемых природных объектов. Дифференцированная ставка платежей для конкретных регионов, бассейнов рек и морей определяется умножением коэффициента, отражающего экологические особенности регионов, на базовую ставку платежей.

Конкретные размеры платежей за загрязнение ДЛЯ предприятий-загрязнителей определяются исполнительными органами власти города, района с участием органов охраны природы, Госсанэпиднадзора и предприятия. При отсутствии у природопользователя разрешения на выброс вредных веществ плата за загрязнение устанавливается как за сверхлимитное загрязнение окружающей природной среды. Причем с учетом экологической ситуации местные исполнительные органы вправе повышать коэффициенты экологической значимости. Так, в крупных городах и промышленных центрах такое повышение разрешается до 20%, в зонах экологического бедствия, районах Крайнего Севера, на территории национальных парков, особо охраняемых территориях, курортных регионах – в два раза.

Платежи за выбросы и размещение отходов в природной среде производятся за счет себестоимости продукции, а платежи за превышение лимитных загрязнений — за счет прибыли, которая остается в распоряжении предприятия.

В установленные сроки предприятия должны перечислить платежи за загрязнение:

- 90% на специальные счета внебюджетных государственных экологических фондов (федерального, регионального и местного уровня 10, 30, 60% соответственно);
- 10% в доход федерального бюджета для финансирования деятельности органов государственного управления в области охраны окружающей среды.

Платность загрязнения окружающей среды имеет свои особенности. Во-первых, платежи за загрязнение носят налоговый характер, поэтому их плата дает право взыскивать эти платежи с предприятий в бесспорном порядке. Во-вторых, если платежи предприятия равны или превышают размер прибыли, которая остается в распоряжении предприятия, то местными органами охраны окружающей среды или органами Госсанэпиднадзора рассматривается вопрос о приостановлении или прекращении деятельности данного хозяйствующего субъекта.

К числу важнейших направлений развития института платности за загрязнение окружающей среды следует отнести:

- развитие природоохранного законодательства, в том числе по упорядочению использования льгот по платежам за загрязнение;
- формирование рыночных институтов природопользования, дополняющих систему правового и административноэкономического механизма;
- введение новых платежей с учетом региональных особенностей хозяйственной деятельности, а также технологических производственных особенностей;
- совершенствование механизма индексации базовых ставок в соответствии с прогнозируемым уровнем инфляции.

Одним из эффективных инструментов стимулирования рационального природопользования считается финансовокредитный механизм, который включает:

- льготное кредитование природоохранных мероприятий;
- займы с уменьшенной ставкой процента;
- субсидии, представляющие специальные выплаты предприятиям-загрязнителям за сокращение выбросов (сбросов);
- инвестиционные субвенции регионам, предоставляемые на природоохранные цели на безвозмездной основе.

Политика льготного кредитования подразумевает предоставление кредитов на природоохранные цели из бюджета, а банковских кредитов. Преимущество привлечение банковского кредита по сравнению с бюджетным заключается в соблюдении принципа платности и возвратности предоставляемых Возвратность кредитов обусловливает рациональное использование инвестиций в оптимальные сроки проведения природоохранных мероприятий. При ЭТОМ государство предоставляет банку-кредитору налоговую льготу и тем самым стимулирует банки к кредитованию природоохранных мероприятий.

Использование экономических методов стимулирования рационального природопользования во многом зависит от уровня развития рынка экологических работ и услуг.

## 9.3. Развитие рынка экологических работ и услуг

Одним из важнейших направлений природоохранной деятельности государства является поддержка развития рынка экологических работ и услуг. Этот сегмент рынка рассматривается как один из эффективных инструментов экологизации экономических отношений, утверждения рационального взаимодействия экологии и экономики.

Конкурентная способность промышленных товаров и сельскохозяйственных продуктов на мировых и национальных рынках все в большей степени определяется экологическими параметрами, а также затратами на охрану окружающей среды, влияющими на уровень общих издержек. По оценкам экспертов

природоохранные технологии в перспективе будут представлять одно из основных средств конкурентной борьбы.

Развитие рыночных механизмов регулирования экологоэкономических отношений рассматривается как наиболее оптимальный способ обеспечить благоприятный экономический климат для внедрения малоотходных и безотходных технологий. Опыт стран с развитой рыночной экономикой показывает, что наиболее эффективным способом решения экологических проблем является функционирование самостоятельной отрасли экономики экологического предпринимательства хозяйствующих субъектов, которые стремятся сочетать собственные экономические интересы с государственными и общественными.

В конце XX – начале XXI вв. Российское государство сформировало стратегическую концепцию развития природоохрандеятельности. этой концепции экологическое В предпринимательство рассматривается как одно из важнейших направлений реализации намеченных эколого-экономических преобразований. документе В ЭТОМ ПОД экологическим предпринимательством подразумевается деятельность производству и реализации товаров, осуществления работ и услуг, направленных на предотвращение негативного воздействия на окружающую среду.

В странах развитого капитализма рынок экологических работ и услуг является одной из наиболее емких и динамично развивающихся отраслей экономики. По различным оценкам его годовой оборот составляет от 500 до 700 млрд дол. И имеет ярко выраженную тенденцию к росту. Рынок экологических работ и услуг играет важную роль в экологизации экономики. Поэтому не случайно, что развитие этого сегмента рынка сопровождается улучшением экологической ситуации.

Россия находится в начале процесса формирования экологического рынка. Сегодня доля экологизированной экономики не превышает одного процента. Рынок экологических работ и услуг развивается слабо и идет стихийно. А это означает, что современное государство практически не использует свой организационно-политический, научно-технический и административно-правовой потенциал для стабилизации экологической ситуации в стране.

Следует учитывать, что для эффективного развития экологического рынка недостаточно только формирования потребностей и спроса на экологически чистую продукцию, поведения потребителей. Развитие рынка экологических работ и услуг является одним из стимулирующих факторов роста всей экономики страны, перехода на интенсивный путь экономического развития, оздоровления окружающей среды и улучшения природных условий для жизнедеятельности человека.

Интерес государства в развитии рынка экологических работ услуг обусловливается его функциями и стратегическими задачами по обеспечению рационального природопользования и защите интересов современного и будущих поколений людей. Поэтому государство должно не только формировать экологические требования, но И выступать заказчиком производства природоохранной технологий, поддерживать техники И экологический бизнес.

Формирование экологического бизнеса невозможно без рыночной инфраструктуры, системы эффективных рыночных институтов, нормативно-правовых основ и благоприятных условий. Рассмотрим основные направления деятельности государства по развитию рынка экологических работ и услуг:

- развитие экологического предпринимательства;
- создание благоприятных финансовых и правовых условий для развития экологического предпринимательства;
- переход от контрольно-административных к инновационным методам регулирования взаимодействия экономики и экологии;
  - повышение эффективности экологических инвестиций;
  - поддержка основных видов экологических работ и услуг;
- деятельность по производству и реализации товаров, осуществления работ и услуг, направленных на предотвращение негативного воздействия на окружающую среду.

Ускорение процесса формирования экологического предпринимательства во многом зависит от политической воли государства. Оно владеет множеством экономических воздействия административных рычагов на формирование экологического бизнеса. Экономические методы государственного управления дифференцированы на две группы:

- принудительные методы (применение негативных стимулов к предприятиям, деятельность которых является опасной для окружающей природной среды и здоровья человека);
- поощрительные методы (применение позитивных стимулов к предприятиям, разработчикам и производителям экологических работ и услуг).

В последнее время государство все активнее стало использовать экономические и материальные инструменты для поддержки экологического предпринимательства. В последнее время в деятельности государства по поддержке экологического бизнеса появились новые формы:

- оказание производителям экологически чистой продукции (работ и услуг) правовой поддержки, помощи в поиске партнеров, заключении сделок под государственные гарантии;
- инициирование государством демонстрационных проектов по продвижению экологических инноваций на рынок;
- формирование информационной инфраструктуры в области экологических разработок.

Механизм содействия или ограничения на рынке представляет собой комплекс организационных мер, которые позволяют предоставить дополнительные экономические преимущества экологически чистым предприятиям или создать экономические ограничения экологически грязным предприятиям.

Государство владеет множеством рычагов воздействия на формирование экологического бизнеса. Однако оно еще недостаточно эффективно использует этот потенциал для развития рынка экологических работ и услуг, формирования спроса на экологические товары и развитие экологического предпринимательства. Все более актуальной становится задача совершенствования нормативно-правового механизма регулирования экологических отношений.

Целый ряд объективных и субъективных причин тормозят реализацию этих правовых норм. К сдерживающим факторам развития экологического предпринимательства следует отнести низкий уровень экологической культуры и потребления природоохранной продукции, усложненную систему налогообложения, практическую недоступность льготных кредитных ресурсов.

К важнейшим аспектам государственной политики в области формирования рынка экологических работ и услуг следует отнести создание благоприятных условий для развития экологической индустрии. К важнейшим направлениям реализации этой задачи относятся:

- стимулирование развития товаров и услуг природоохранного назначения, особенно в аспектах оптимизации емкости таких рынков (разумное принуждение предпринимателей к соблюдению природоохранных ограничений; создание единого конкурентного инновационного пространства);
- ullet создание, при необходимости, специфических рынков (например, рынка квот на выбросы  ${\rm CO_2}$ );
- дополнение прямых рыночных оценок природных ресурсов социальными услугами.

Стабильное развитие страны предполагает возможности роста объектов промышленного производства, повышение жизненного уровня людей при одновременном сохранении и качественном улучшении среды обитания человека.

#### Контрольные вопросы

- 1. Почему в условиях рыночной экономики произошло обострение экологических причин?
- 2. Определите сущность стимулирующего экономического механизма природопользования.
- 3. Почему административно-правовой подход к решению экологических проблем не принес позитивных результатов?
- 4. Почему в современных условиях приоритетную роль в регулировании эколого-экономических отношений играют экономические инструменты?
- 5. Какие экономические стимулы используются для формирования материальной заинтересованности предпринимателей в соблюдении природоохранного законодательства и экологических требований?
- 6. Какие методы использует государство для привлечения частных инвестиций в развитие природоохранной инфраструктуры?

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» 2002 г.
- 2. Федеральный закон РФ «Об экологической экспертизе» 2006 г.
- 3. Болятко В.В., Ксенофонтов А.И. Сборник задач по курсу «Основы экологии и охраны окружающей среды». М.: МИФИ, 2007.
- 4. Букс И.И., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду. М.: Изд-во МНЭПУ, 1999.
- 5. Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиоактивное излучение и здоровье. М., 2003.
- 6. Василенко О.И. Радиационная экология. М.: Медицина, 2004.
- 7. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976.
- 8. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
- 9. Машкович В.П., Кудрявцева А.В.. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 10. Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Медоуз Д.Л. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: ИКЦ «Академкнига», 2008.
- 11. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990.
  - 12. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975.
- 13. Орлов А.С., Безуглова О.С. Биогеохимия. Учебник для студентов вузов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
- 14. Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. М., 2004.
  - 15. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М., 1990.
- 16. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. М., 2003.
  - 17. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Лань, 2006.
- 18. Masters G.M. Introduction to Environmental Engineering and Science. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1991.

# СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

## Основные и некоторые производные единицы СИ

Величина	Единица	
	Наименование	Обозна-
		чение
Основі	ные единицы	
Длина	метр	M
Macca	килограмм	КГ
Время	секунда	c
Сила электрического тока	ампер	A
Температура	кельвин	К
Количество вещества	МОЛЬ	моль
Сила света	кандела	кд
Дополнительные единицы СИ		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Произво	дные единицы	
Площадь	квадратный метр	<b>M</b> <sup>2</sup>
Объем	кубический метр	$\mathbf{M}^3$
Плотность	килограмм на куб. метр	$\kappa\Gamma/M^3$
Энергия, работа, теплота	джоуль	Дж
Электрический заряд	кулон	Кл
Удельное количество теплоты	джоуль на килограмм	Дж/кг
Энтропия	джоуль на кельвин	Дж/К
Поток энергии, мощность	ватт	Вт
Интенсивность излучения	ватт на кв. метр	$BT/M^2$
Активность радионуклида	беккерель	Бк
Удельная активность	беккерель на килограмм	Бк/кг
Объемная активность	беккерель на куб. метр	$\mathbf{E}\mathbf{\kappa}/\mathbf{M}^3$
Поглощенная доза	грей	Гр
Эквивалентная доза	зиверт	Зв
Коллективная доза	человеко-зиверт	челЗв

### Внесистемные единицы и соотношения с единицами СИ

Внесистемная единица		Соотношения с единицами СИ
Наименование	Обозначение	
ангстрем	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ M}$
атмосфера	атм	$1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \Pi$
тонна	T	$1 \text{ T} = 10^3 \text{ K}\Gamma$
литр	Л	$1 \pi = 1 \text{ дм}^3$
баррель (нефтяной)	бар	158,988 дм <sup>3</sup>
гектар	га	$1  \Gamma a = 10^4         $
год	год	$1$ год = $3,1536 \cdot 10^7$ с
герц	Гц	$1 \Gamma_{\rm H} = 1 {\rm c}^{-1}$
электрон-вольт	эВ	1 эВ= 1,602·10 <sup>-19</sup> Дж
эрг	эрг	$1 \text{ эрг} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$
британская тепловая единица	БТЕ	1 БТЕ = 1055 Дж
квадриллион	Q	$1 Q = 10^{18} \text{ GTE}$
тонна условного топлива	тут	$1 \text{ тут} = 2,93 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$
калория	кал	1 кал = 4,1868 Дж
кюри	Ки	$1 \text{ Kи} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
рентген	P	$1 P = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
рад	рад	1 рад = $0.01 \Gamma p$
бэр	бэр	1 бэр = 0,01 Зв
барн	б	$1  \text{G} = 10^{-28}  \text{m}^2$
градус Цельсия	$^{0}\mathrm{C}$	$^{0}C = K-273$

## Десятичные кратные и дольные единицы

Множи-	Приставка	Обозна-	Множи-	Приставка	Обозна-
тель		чение	тель		чение
$10^{1}$	дека	да	10 <sup>-1</sup>	деци	Д
$10^{2}$	гекто	Γ	10 <sup>-2</sup>	санти	c
$10^{3}$	кило	К	$10^{-3}$	милли	M
$10^{6}$	мега	M	$10^{-6}$	микро	МК
$10^{9}$	гига	Γ	10-9	нано	Н
$10^{12}$	тера	T	10 <sup>-12</sup>	пико	П
$10^{15}$	пета	П	$10^{-15}$	фемто	ф
$10^{18}$	экса	Э	$10^{-18}$	атто	a
$10^{21}$	зетта	3	10 <sup>-21</sup>	зепто	3
$10^{24}$	йотта	И	10 <sup>-24</sup>	йокто	И

#### Физические постоянные

Скорость света в вакууме, м/с	$2,998 \cdot 10^8$
Постоянная Планка, Дж-с	$6.626 \cdot 10^{-34}$
Заряд электрона, Кл	$1,602 \cdot 10^{-19}$
Масса покоя электрона, кг	$9.11 \cdot 10^{-31}$
Число Авогадро, моль-1	$6,023\cdot10^{23}$
Объем моля идеального газа, м <sup>3</sup> /моль	$2,24\cdot10^{-2}$
Постоянная Стефана – Больцмана, Вт/(м <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )	$5,67\cdot10^{-8}$
Постоянная Вина, м-К	$2,90\cdot10^{-3}$
Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	1000
Плотность льда, кг/м <sup>3</sup>	910
Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>	1,29.
Теплоемкость воды, кДж/(кг·К)	4,18
Теплоемкость льда, кДж/(кг·К)	2,10
Удельная теплота испарения воды, кДж/кг	2260
Коэффициент объемного расширения воды, К-1	$1,5\cdot10^{-4}$
Радиус земного шара, м	$6,4\cdot10^{6}$
Площадь земного шара, м <sup>2</sup>	$5,1\cdot10^{14}$
Масса воды Мирового океана, кг	$1,38 \cdot 10^{21}$
Масса атмосферы Земли, кг	$5,1\cdot10^{18}$
Солнечная постоянная, Bт/м <sup>2</sup>	1367
Радиус Солнца, м	$7,0.10^{8}$
Масса Солнца, кг	$2,0.10^{30}$

#### Технико-экологические термины и определения

Альбедо Земли — отношение солнечной радиации, отражаемой Землей с ее атмосферой в мировое пространство, к солнечной радиации, поступающей на границу атмосферы. Средняя величина — 33%.

Апвеллинг – подъем океанических холодных глубинных вод, богатых биогенными химическими элементами. Зоны апвеллинга одни из самых богатых регионов морского рыбного промысла.

Атмосфера – газообразная оболочка планеты, на Земле состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Условно она делится на следующие слои. Нижний слой *тропосфера* простирается до высоты 8 – 10 км в полярных областях, 10 - 12 км – в умеренных широтах, 16 - 18 км – на экваторе. Здесь сосредоточено более 80% массы атмосферного воздуха и почти весь водяной пар. Температура убывает с ростом высоты со средним градиентом вертикальным 0,7 °C/100 M. Выше стратосфера с верхней границей на высоте 50 – 55 км, на высотах 20 – 25 км - максимальная концентрация озона. Температура с ростом высоты возрастает до 0 °C. Следующий слой – мезосфера, верхняя граница которого находится на высоте 80 – 85 км. Температура с высотой понижается на 0,3 °C на каждые 100 м. энергетическим процессом Основным является теплообмен. Затем - термосфера до высоты 800 км. Она состоит из ионосферы и магнитосферы. Температура растет до высот 200 -300 км, где достигает значений 1500 К, после чего остается постоянной. В ионосфере солнечная радиация и космическое излучение вызывают ионизацию воздуха («полярные сияния»). Выше расположена магнитосфера, которая представляет собой наружный край магнитного поля Земли. И, наконец, внешний слой атмосферы – экзосфера. Температура достигает значения 3000 К. На больших высоте Земли (2 – 3 тыс. км) экзосферу образуют почти исключительно атомы водорода, ниже заметную долю составляют атомы гелия.

 $\mathit{Кларк}$  – среднее содержание химических элементов в земной коре, выраженное в процентах.

 $\it Литосфера$  — верхняя оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю мантию. Мощность литосферы до 200 км, в том числе земной коры — 75 км на континентах и 10 км под дном океана.

\* \* \*

Aбсорбция — поглощение вещества или энергии всей массой поглощающего тела.

Адсорбция — поглощение вещества из газообразной среды или раствора поверхностью другого вещества. Десорбция — противоположный процесс.

*Алармизм* — наука, которая акцентирует внимание на катастрофических последствиях воздействия человека на природу.

*Ассимиляция* — превращение веществ, поступающих из внешней среды, в собственное тело организма.

Aэрация — естественное или искусственное поступление воздуха в какую-нибудь среду.

Аэробы — организмы, способные жить лишь в среде, содержащей кислород. Противоположным видом являются анаэробы, способные жить в отсутствии свободного кислорода.

*Бентос* – совокупность организмов, обитающих на дне водоемов.

 $\mathit{Биогены}-1$ ) вещества, необходимые для существования живых организмов; 2) вещества, синтезируемые организмами в ходе жизнедеятельности.

Биогеохимические круговороты — переход питательных веществ от неживой природы (из запасов атмосферы, гидросферы и земной коры) к живым организмам и обратно в неживую среду с использованием солнечной энергии.

Биологическая продуктивность (БП) — способность сообщества на основе использования вещества и энергии к воспроизводству органического вещества; выражается в массовых или энергетических единицах на единицу площади. БП первичная — прирост биомассы автотрофных организмов за единицу времени. БП вторичная — прирост биомассы гетеротрофов за единицу времени.

*Биосфера* — самая крупная экосистема Земли, состав и энергетика которой определены работой живого вещества.

*Биота* – исторически сложившаяся совокупность организмов, обитающих на определенной территории.

*Биотоп* — участок территории, однородный по условиям жизни для определенных видов растений или животных.

*Биом* — единый природный комплекс, характеризующийся каким-либо основным типом растительности или другой особенностью ландшафта.

*Биомасса* — выраженное в единицах массы количество живого вещества тех или иных организмов.

Биоценоз — исторически сложившаяся совокупность организмов населяющих участок суши или водоема и характеризующаяся определенными отношениями как между собой, так и с абиотическими факторами среды.

 $Bu\partial$  — совокупность популяций особей, представители которых фактически или потенциально скрещиваются друг с другом в естественных условиях.

Водородный показатель (pH) — свойство водных растворов (их кислотность или щелочность), которое определяется концентрацией ионов  $H^+$  и  $OH^-$ . По определению,  $pH = -lg[H^+]$  и эта величина может изменяться в пределах от -1 до 15. При этом изменению концентрации ионов  $H^+$  в 10 раз соответствует изменение pH на одну единицу. В нейтральных растворах pH = 7, в кислых растворах pH < 7, а в щелочных pH > 7. Лимонный сок -2,3; вода океанов -7,9-8,4.

*Гомеостаз* — состояние внутреннего динамического равновесия природной системы или организма, поддерживаемое регулярным возобновлением ее основных структур, веществ и энергии.

 $\Gamma$ умус — органическое вещество почвы, образующееся в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов. Почвы, богатые гумусом, обладают высоким плодородием.

Дампинг – сброс, захоронение отходов в океане и его морях.

ДНК – дезоксирибонуклейновая кислота – один из двух типов нуклейновых кислот, обеспечивающих хранение, передачу из поколения в поколение и реализацию генетической программы развития и функционирования живых организмов.

Дыхание – использование кислорода клетками и тканями для окисления органических веществ с освобождением содержащейся в них энергии, необходимой для жизнедеятельности. Анаэробное дыхание - энергетический процесс окисления микроорганизмами органических веществ в анаэробных условиях, при которых окислителем служит не свободный кислород, а нитраты, нитриты и сульфаты.

*Естественный отбор* — процесс выживания и воспроизводства наиболее приспособленных к изменяющимся условиям среды организмов и вымирание в ходе эволюции неприспособленных.

Закон максимизации энергии и информации — наилучшими шансами на самосохранение обладает система, в наибольшей степени способствующая поступлению, выработке и эффективному использованию энергии и информации.

 $\it 3$ акон неограниченности прогресса – развитие от простого к сложному неограниченно.

Закон однонаправленности потока энергии — энергия, получаемая экосистемой и усваиваемая продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передается консументам. Так как в обратный поток от редуцентов к продуцентам поступает значительно меньшее количество вовлеченной энергии, круговорот энергии не осуществляется.

Закон развития природной системы за счет окружающей ее среды — любая природная система может развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды.

Законы системы «хищник — жертва» — 1) процесс уничтожения жертвы хищником нередко приводит к периодическим колебаниям численности популяций обоих видов; 2) средняя численность популяции для каждого вида постоянна, независимо от начального уровня, при условии, что скорости роста численности популяций и эффективность хищничества постоянны; 3) при аналогичном нарушении популяций хищника и жертвы (например, когда промысел пропорционален их численности) средняя численность популяции жертвы растет, а популяции хищника — падает.

Закон снижения энергетической эффективности природо-пользования — со временем при получении из природных систем

полезной продукции на ее единицу в среднем затрачивается все больше энергии.

Закон физико-химического единства живого вещества – все живое вещество Земли физико-химически едино. Из закона следует, что вредное для одних видов существ вредно и для других. Например, физико-химические агенты, смертельные для одних организмов (пестициды), не могут не оказывать вредного влияния на другие организмы.

*Канцероген* – вещество или физический агент, способствующие возникновению злокачественных новообразований.

*Кислотный дождь* – дождь, водородный показатель которого pH < 5,6.

Консументы – потребители органического вещества.

*Пимитирующий фактор* – фактор, который при определенном наборе условий окружающей среды ограничивает какое-либо проявление жизнедеятельности организмов.

*Литосфера* – верхняя оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю мантию Земли (50-200 км).

*Метаболизм* — способность живых веществ поглощать и обмениваться с внешней средой энергией и материей.

*Мутации* – устойчивые изменения генотипа, возникающие под влиянием факторов внешней и внутренней среды.

*Ноосфера* – сфера разума, высшая стадия развития биосферы, связанная со становлением в ней цивилизованного человечества.

Поллютант – загрязняющее вещество.

Правило внутренней непротиворечивости — в естественных экосистемах деятельность входящих в них видов направлена на поддержание этих экосистем как среды собственного обитания (не относится к современному человеку).

*Правило* 10% – средний переход с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой 10% энергии.

 $Правило\ 1\%$  — изменение энергетики природной системы в пределах 1% выводит природную систему из равновесного состояния. Все крупномасштабные явления на поверхности Земли, как правило, имеют суммарную энергию, не превышающую 1% от энергии солнечного излучения, падающую на поверхность планеты.

Принцип неполноты информации — информация при проведении каких-либо действий по преобразованию природы всегда недостаточна для априорных суждений о всевозможных результатах осуществляемого мероприятия.

*Принцип Реди* – живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непроходимая граница.

Принцип торможения развития — в период наибольших потенциальных темпов развития системы возникают максимальные тормозящие эффекты.

Принцип удаленности события — явление, удаленное во времени и в пространстве, кажется менее существенным. Например, неверно, что в будущем на основе научно-технического прогресса экологические проблемы решатся легче.

Прокариоты — организмы, не обладающие, в отличие от эукариот, оформленным клеточным ядром и другими внутренними мембранными образованиями. К прокариотам относятся бактерии, в том числе сине-зелёные водоросли.

Продуценты — автотрофные организмы, продуцирующие органическое вещество из простых неорганических веществ (фототрофы используют энергию солнечного света, хемотрофы — за счет окисления сероводорода, аммиака и др. веществ, имеющихся в среде).

Популяция – см. биоценоз.

*Редуценты* – гетеротрофные организмы, главным образом, бактерии и грибы, превращающие органические вещества в неорганические соединения.

*РНК* — рибонуклеиновые кислоты; высокомолекулярные органические соединения, образованные нуклеотидами. В клетках всех живых организмов РНК участвуют в реализации генетической информации.

*Седиментация* — оседание под действием гравитационных сил в газе или жидкости различных примесей.

Cинергизм — свойство сложных систем, когда результат взаимодействия не является простой суммой отдельных воздействий, а порождает качественно новые результаты, ведущие к усилению эффекта.

Смог фотохимический — вторичное (кумулятивное) загрязнение воздуха, возникающее в результате разложения загрязняющих веществ солнечными лучами.

Стресс – совокупность физиологических реакций, возникающих в живом организме в ответ на воздействие различных неблагоприятных (благоприятных) факторов.

Cукиессия — прогрессивное развитие экосистемы, состоящее в изменении во времени видовой структуры и биологических процессов.

Толерантности пределы – диапазон между экологическим минимумом и экологическим максимумом значений параметров существования организма.

*Точки Пастера* – критические для истории биосферы Земли уровни содержания кислорода в атмосфере планеты (1, 10% от современного уровня).

Трофическая цепь — взаимоотношения между организмами, через которые в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии. Цепь, в которой каждое предыдущее звено служит пищей для последующего.

Фотосинтез – образование органических веществ зелеными растениями и некоторыми бактериями с использованием энергии солнечного света. В ходе фотосинтеза происходит поглощение из атмосферы диоксида углерода и выделение кислорода. Наряду с фотосинтезом зеленых растений и водорослей, сопровождаемым выделением кислорода, в природе осуществляется бактериальный фотосинтез, в котором окисляемым субстратом является не вода, а другие, например, сероводород. Кислород при бактериальном фотосинтезе не выделяется. Эффективность фотосинтеза примерно 0,2% от поступающей солнечной радиации.

Фотосинтетически активная радиация ( $\Phi AP$ ) — область спектра солнечного излучения с длиной волны от 400 до 700 нм, - которая может использоваться растениями для фотосинтеза. Прямая радиация Солнца содержит до 45%  $\Phi AP$ , рассеянная — до 90%.

Фитофаги – растительноядные организмы.

*Ценоз* – любое сообщество (биоценоз, зооценоз и т.п.).

Эвтрофикация – повышение уровня первичной продукции природных вод благодаря увеличению в них концентрации биогенных элементов.

Экологическая катастрофа — полное нарушение экологического равновесия в природных живых системах, возникшее, как правило, в результате воздействия человеческой деятельности, а также в результате космических причин (эволюционные катастрофы).

Экологическая ниша — место вида в природе, включающее не только положение вида в пространстве, но и функциональную роль его в сообществе, и его положение относительно абиотических условий существования и взаимодействия с другими видами.

Экологическая система (экосистема) — любое единство, включающее все организмы на данном участке и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы.

Экологическое обоснование проекта — доказательство вероятного отсутствия неблагоприятных экологических последствий осуществления предлагаемого проекта и, наоборот, улучшения в ходе его осуществления условий для жизни людей и функционирования хозяйства.

Экологический риск — вероятность неблагоприятных для экологических ресурсов последствий любых антропогенных изменений природных объектов и факторов.

Экосфера – сфера современной активной жизни.

*Эстуарий* – затопляемое устье реки, расширяющееся в сторону моря.

*Эукариоты* - организмы, обладающие оформленным клеточным ядром (человек, животные, растения).

\* \* \*

 $A \kappa m u в н o c mo n o c mo$ 

 $\mathcal{L}$ оза излучения — средняя энергия, поглощенная единицей массы облученного вещества. Мощность дозы — значение дозы в единицу времени.

Коллективная доза — сумма средних эффективных доз в облученных группах лиц, умноженных на число лиц в каждой группе. Единица измерения является человеко-зиверт (чел.-Зв).

*Коммитментная доза* - ожидаемая к 70-му году жизни эффективная и поглощённые в отдельных органах и тканях дозы.

 $\it Летальная доза (LD)$  — минимальное количество ядовитого вещества, попадание которого в организм приводит к его смерти.  $\it LD_{50}^{30}$  — летальная доза облучения, при которой гибнет 50% популяции в течение первых 30 дней.

Экспозиционная доза — количественная характеристика рентгеновского излучения или гамма-излучения, основанная на их ионизирующем действии и выраженная суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в единице объёма воздуха. Единицей измерения кулон на килограмм (Кл/кг), внесистемной – рентген (Р).

Радиация (излучение) — испускание и распространение энергии в виде волн и частиц. Излучение ультрафиолетовое с длиной волны от 10 до 400 нм, спектр видимого света с длиной волны от 400 (фиолетовый свет) до 740 нм (красный свет), инфракрасное (тепловое) излучений с длиной волны от 770 нм до  $1-2\,\mathrm{MM}$ .

Эквивалентная доза – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения. Единица эквивалентной дозы - зиверт (Зв).

Эффективная доза — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Единица эффективной дозы — зиверт (Зв).

\* \* \*

Авария ядерная — авария, которая связана с выходом в окружающую среду радиоактивных материалов и ионизирующих излучений, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Aктивная зона реактора — центральная часть реактора, в которой находится ядерное топливо, протекает цепная ядерная реакция и выделяется энергия.

Дезактивация — удаление или снижение радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды.

Делящийся нуклид — нуклид, способный претерпеть ядерное деление в результате взаимодействия с медленными (тепловыми) нейтронами. Существуют три наиболее важных делящихся нуклида, представляющих интерес ядерной энергетике: природный уран-235 и два искусственных (уран-233 и плутоний-239).

Кондиционирование радиоактивных отходов – перевод отходов в форму, пригодную для транспортировки, хранения и захоронения. Остекловывание – отверждение жидких РАО путем смешивания их со стеклообразующимися материалами.

*Отработанное ядерное топливо* (ОЯТ) — ядерное топливо, извлеченное из реактора после облучения и не подлежащее дальнейшему использованию в этом реакторе.

Продукты ядерного деления — продукты, которые образуются при делении ядер в ядерном реакторе. В природную среду попадают с радиоактивными отходами переработанного топлива ядерных реакторов.

Радиоактивные отходы (РАО) — жидкие, твердые и газообразные продукты, образующиеся на всех стадиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ) и не представляющие ценности для дальнейшего использования.

Реактор на быстрых нейтронах (РБН) – ядерный реактор, в котором цепная реакция деления осуществляется на быстрых нейтронах (энергия выше 0,1 МэВ). В РБН отсутствует замедлитель.

 $TB\mathcal{I}\!\!\!\mathcal{I}$  — тепловыделяющий элемент ядерной сборки, состоящий из ядерного топлива и оболочки и обеспечивающий надежный отток тепла от топлива к теплоносителю.

*Трансмутация* — превращение одного нуклида в другой в результате ядерных реакций.

*ВВЭР-1000(440)* — водо-водяной энергетический реактор мощностью 1000(440) МВт (эл) — легководный реактор, в котором вода находится под давлением, достаточным для предотвращения ее закипания и в то же время обеспечивающим высокую температуру теплоносителя (воды). В западных странах этот тип реакторов обозначают PWR.

РБМК – реактор большой мощности канальный.

\* \* \*

*Биогаз* – смесь газов (метан, углекислый газ, примеси других газов), образующаяся в процессе разложения отходов (навоза,

соломы и т.п.) или органических бытовых отходов анаэробными организмами при участии бактерий метанового брожения.

*Биотопливо* – любая биомасса, способная, сгорая, давать энергию, а также органические отходы, способные при брожении давать тепло.

*Возобновляемые ресурсы* – ресурсы, темпы потребления которых не должны превышать темпов регенерации (почвы, вода, лес и др.).

*Невозобновляемые ресурсы* – ресурсы, темпы потребления которых не должны превышать темпов их замены на возобновляемые ресурсы (ископаемое топливо, минеральные руды, грунтовые воды).

*МОКС-топливо* — плутоний, выделяемый при переработке ОЯТ, а также при утилизации оружейного плутония, является основой смешанного оксидного уран-плутониевого топлива для последующего использования в ядерных реакторах атомных электростанций.

Парниковый газы — газы, поглощающие в атмосфере излучаемое Землей тепловое излучение. Антропогенный рост концентрации углекислого и некоторых других газов приводит к повышению температуры и изменению климата.

Условное топливо — топливо, которое служит для сопоставления тепловой ценности различных видов органического топлива. Единицей измерения являются тонны условного топлива (тут): теплота сгорания 1 кг твердого топлива или 1 м $^3$  газообразного, равная 7000 ккал.

#### Календарь экологических дат

1 января	Всемирный день мира
11 января	День заповедников и национальных парков
2 февраля	Всемирный день водно-болотных угодий
11 февраля	Всемирный день гуманного образования
19 февраля	Всемирный день китов и морских млекопитающих
14 марта	День действий против плотин. День действий в защиту
	рек, воды и жизни
15 марта	Всемирный день действий против охоты на бельков
22 марта	Всемирный день воды (водных ресурсов). Международный день Балтийского моря
23 марта	Всемирный день климата (метеорологический день)
1 апреля	Международный день птиц
4 апреля	Всемирный день крыс
7 апреля	Всемирный день охраны здоровья
15 апреля	День экологических знаний
с 15 апреля по	Общероссийские дни защиты от экологической
5 июня	опасности
18 - 22 апреля	Марш парков
19 апреля	День подснежника
19 - 26 апреля	Весенняя неделя добра
22 апреля	Всемирный день Земли
24 апреля	Всемирный день защиты лабораторных животных
4-я суббота	День биолога
апреля	
1 мая	Международный праздник «Майский день»
3 мая	День солнца
12 мая	День экологического образования
с 15 мая по	Единые дни защиты малых рек и водоемов
15 июня	
22 мая	Международный день биологического разнообразия
24 мая	Европейский день парков
25 мая	День нерпенка
1 июня	Всемирный день защиты детей
5 июня	Всемирный день охраны окружающей среды. День эколога в России
8 июня	Всемирный день океанов
15 июня	День создания юннатского движения
17 июня	Всемирный день по борьбе с опустыниванием и засухой
4 июля	Международный день дельфинов-пленников
11 июля	День действий против рыбной ловли

2	П
2 августа	День оленя
9 августа	Всемирный день коренных народов
4-е воскресенье	День Байкала
августа	
16 августа	Международный день бездомных животных
8 сентября	День журавля
16 сентября	Международный день охраны озонового слоя
с 15 сентября	Месячник охраны природы
по 15 октября	
21 сентября	Международный день мира
3-е воскресенье	День работников леса
сентября	
21 сентября	Международная ночь летучих мышей
20 сентября	Международный день риса
21 - 27	Неделя всемирной акции «Мы чистим мир»
сентября	(очистим планету от мусора)
27 сентября	Международный день кроликов
4-ая неделя	Всемирный день моря
сентября	
1 октября	Всемирный вегетарианский день
2 октября	Всемирный день сельскохозяйственных животных
3 - 10 октября	Неделя защиты животных
4 октября	Всемирный день защиты животных
5 - 6 октября	Всемирные дни наблюдения птиц
6 октября	Всемирный день охраны мест обитаний
10 - 16 октября	Всемирная неделя дождевых лесов
2-я среда	Международный день по уменьшению опасности
октября	стихийных бедствий
14 октября	День работников заповедников
Последняя	Дни Волги
неделя октября	
31 октября	Международный день Черного моря
15 ноября	День вторичной переработки
20 ноября	Всемирный день ребенка
30 ноября	Всемирный день домашних животных
3 декабря	Международный день борьбы с пестицидами
5 декабря	Международный день добровольца
10 декабря	Международный день акций за принятие Декларации
	прав животных
11 декабря	Всемирный день гор

# ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### Учебное пособие

Под общей редакцией А.И. Ксенофонтова

## Редактор М.В. Макарова

Подписано в печать 29.09.2008. Формат 60х84 1/16 Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Печ.л. 20. Уч.-изд.л. 20. Изд. № 1/51. Тираж 150 экз. Заказ № 1-2062

Московский инженерно-физический институт (государственный университет). 115409, Москва, Каширское шоссе, 31

Типография издательства «Тровант» г. Троицк Московской области