

ЭКОЛОГИЯ

Авторы:

Кожевников Николай Владимирович – профессор кафедры охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета СГУ

Кожевникова Надежда Иосифовна – доцент кафедры охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета СГУ

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Экология» включена в базовую часть математического и естественнонаучного цикла Основных образовательных программ бакалавриата по некоторым небιологическим направлениям подготовки. Её освоение способствует формированию общекультурных и профессиональных компетенций выпускников вузов. Данное учебное пособие призвано помочь обучающимся в овладении этими компетенциями. Оно полезно также и студентам, получающим высшее образование по программе специалитета, т.к. содержание пособия соответствует основным требованиям Государственного образовательного стандарта второго поколения к дисциплине «Экология», предусматривающим прежде всего раскрытие темы «Биосфера и человек».

В учебном пособии рассмотрены:

- предмет и структура современной экологии, основные экологические понятия, термины, законы;
- учение В.И. Вернадского о биосфере, её эволюция, зависимость развития биосферы от особенностей состава и строения Земли, её места в Солнечной системе, характеристики основных геосфер и процессов биосферы, воздействие на них человека;
- проблемы загрязнения биосферы, глобальные экологические последствия загрязнения, быстрого роста населения и внешнего воздействия на планету;
- международное сотрудничество в области охраны природы;
- правовые основы природопользования;
- нормирование содержания загрязнений и мониторинг окружающей среды;
- методы защиты окружающей среды.

Учебное пособие рекомендовано к опубликованию кафедрой охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ	7
1.1. Предмет и структура современной экологии.....	7
1.2. Основные этапы развития представлений о взаимоотношении человека и природы.....	8
1.3. Экологические понятия и термины.....	10
1.4. Взаимоотношения организма и среды (экологические факторы, основные законы и правила экологии).....	13
2. БИОСФЕРА ЗЕМЛИ	19
2.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере.....	19
2.2. Биосфера и строение Земли.....	23
Происхождение Земли, её основные параметры и форма.....	23
Внутреннее строение Земли.....	25
Возраст Земли.....	30
Магнитное поле Земли.....	30
2.3. Эволюция Земли и её биосферы.....	32
Основные представления о процессах развития Земли.....	32
Геологическая периодизация развития Земли.....	34
2.4. Характеристика основных геосфер и процессов биосферы.....	38
Состав и строение атмосферы.....	38
Гидросфера Земли.....	41
Литосфера.....	42
Фотосинтез и круговорот веществ в природе.....	43
2.5. Воздействие человека на природную среду в процессе производства. Факторы деградации биосферы.....	48
3. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ	52
3.1. Общие проблемы загрязнения биосферы.....	52
3.2. Проблемы загрязнения гидросферы, атмосферы, литосферы и почвы.....	54
3.3. Физические (энергетические) загрязнения окружающей среды.....	56
4. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	63
4.1. Глобальные последствия загрязнения биосферы.....	63
Экологические проблемы атмосферного озона.....	64
Парниковый эффект и изменение климата.....	66
Кислотные осадки.....	71
4.2. Опасности внешнего воздействия на планету.....	73
4.3. Рост народонаселения.....	74
5. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ	80

6. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	85
7. НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	87
7.1. Нормирование содержания загрязнений в окружающей среде.....	87
7.2. Мониторинг окружающей среды.....	88
8. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	91
ПРИЛОЖЕНИЯ	96
1. Список основных понятий и терминов, используемых в курсе «Экология».....	96
2. Список ученых, внесших крупный вклад в развитие Экологии.....	106
3. Список рекомендуемой литературы.....	108

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

ВВЕДЕНИЕ

Экология как наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и со средой их обитания в настоящее время превратилась из строго биологической науки (биоэкологии) в комплексную науку, представляющую собой целый цикл знаний, вобравший в себя разделы самых различных естественных и гуманитарных научных дисциплин, связанные с проблемами взаимодействия живого и неживого. Все чаще она рассматривается как наука об организации, функционировании, рациональном использовании и охране окружающей среды. Дисциплина имеет ярко выраженный междисциплинарный характер.

Основной **целью** освоения дисциплины «Экология» является формирование у студентов представлений о взаимосвязях, которые существуют между человеком как компонентом биосферы и окружающей его неживой и живой природой, повышение уровня экологической культуры обучающихся, формирование личности, осознающей свою ответственность за сохранение окружающей среды и необходимость ограничения своей свободы для реализации условий эколого-нравственного императива.

Задачей дисциплины является передача студентам знаний о строении и функциях природы, её компонентов, о механизмах и закономерностях их взаимодействий между собой и с человеком, а также знакомство с некоторыми методами защиты природы и рационального использования её ресурсов.

Изучение данной дисциплины способствует осознанию целостности и взаимосвязанности окружающего нас мира, знакомит с закономерностями становления и развития жизни. Это особенно важно при обучении студентов по направлениям подготовки, не предусматривающим изучение дисциплины «Концепции современного естествознания».

Дисциплина «Экология» входит в раздел «Математический и естественнонаучный цикл. Базовая часть» Федерального государственного образовательного стандарта нового поколения (ФГОС-3). Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате изучения естественнонаучных и гуманитарных дисциплин в средних учебных заведениях: физики, химии, биологии, астрономии, основ математики, истории и др. Сформированные при этом компетенции необходимы студентам при изучении других естественнонаучных дисциплин, предусмотренных основной образовательной программой бакалавриата.

Данное учебное пособие полезно также и студентам, получающим высшее образование по программе специалитета, т.к. его содержание соответствует основным требованиям Государственного образовательного стандарта второго поколения (ГОС-2) к дисциплине «Экология», предусматривающим прежде всего раскрытие темы «Биосфера и человек».

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- предмет, задачи и структуру современной экологии;
- основные законы и правила экологии;
- основы взаимодействия живых организмов с окружающей средой;
- учение о биосфере и её структуре;
- связь условий развития биосферы с особенностями строения Земли;
- естественные процессы, протекающие в атмосфере, гидросфере, литосфере;
- влияние различных экологических факторов на развитие жизни на Земле и сохранение устойчивости биосферы;
- роль глобальных процессов в создании, развитии и современном состоянии биосферы;
- основные антропогенные факторы, приводящие к разрушению биосферы;
- принципы рационального природопользования;
- основы экологического права;
- основные формы и этапы международного сотрудничества в области охраны окружающей среды.

уметь:

- применять полученные знания о взаимосвязях, существующих между живой и неживой природой, человеком и окружающей его средой, в научно-исследовательской, культурно-просветительской, педагогической, организационно-управленческой и других видах деятельности;
- анализировать и систематизировать материалы исследований окружающей среды;
- применять принципы рационального природопользования.

владеть:

- навыками работы с научной литературой и другими источниками информации, нормативными и законодательными документами в области экологии;
- методами защиты окружающей среды.

1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

1.1. Предмет и структура современной экологии

Для устойчивого развития жизни на нашей планете необходимо, чтобы эксплуатация природных ресурсов человеком не наносила ущерба природе, не выводила её параметры за те пределы, после которых невозможна нормальная жизнедеятельность населяющих Землю живых организмов и в первую очередь – человека. Однако невозможно охранять природу, рационально пользоваться её ресурсами, если не знать, как она устроена, в соответствии с какими законами существуют, развиваются и взаимодействуют составляющие её живые и неживые системы, как они реагируют на изменения внешних условий, какие предельные нагрузки могут выдержать без разрушения. Совокупность наук о явлениях, объектах и процессах действующих в природе составляет естествознание. Отдельные естественные науки (физика, химия, геология, биология и т.д.) исследуют различные аспекты существования природных систем, в том числе и те связи, которые существуют между организмами и средой. Эти проблемы являются предметом науки, которая называется **экология**.

Термин «Экология» предложен в 1866 г. немецким биологом, профессором Йенского университета Эрнстом Геккелем (от греч. *ойкос* – дом, жилище и *логос* – учение, наука). **Экология – это наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания.**

Современная экология представляет собой широкую область знания, обладающую определенной структурой. Обычно экологию разделяют на общую и частную. **Общая экология** изучает основные (общие) закономерности взаимоотношений любых живых организмов и среды. В составе общей экологии выделяют следующие основные разделы:

- аутэкологию, исследующую индивидуальные связи отдельного организма (виды, особи) с окружающей его средой,
- демоэкологию (популяционную экологию), в задачу которой входит изучение структуры и динамики популяций отдельных видов,
- синэкологию, изучающую взаимоотношения сообществ и экосистем со средой.

Эти разделы экологического знания изучают главным образом биологические проблемы выживания живых организмов в окружающей среде, адаптацию организмов, саморегуляцию, устойчивость экосистем.

Частная экология, как правило, ограничена изучением конкретных групп организмов в их взаимодействии со средой обитания или изучает взаимодействие различных организмов с конкретной средой, или различные аспекты этого взаимодействия. То есть существуют разные критерии выделения частных экологий.

Так, соответственно объекту изучения, самостоятельно существуют такие науки, такие разновидности частной экологии, как экология растений, экология животных и т.д. Экология классифицируется также в зависимости от среды обитания (экология океана, экология почвы, космического пространства...).

Современная экология не ограничивается только рамками биологической дисциплины, а связана и со многими небиологическими науками. На стыке экологии с другими отраслями знания возникли такие частные экологии, как физическая экология, химическая экология, математическая экология, геоэкология, глобальная экология (т.е. в приложении к биосфере Земли) и т.д.

Особый статус имеет экология человека, которая представляет собой комплексную науку, изучающую закономерности его взаимодействия с окружающей средой, вопросы охраны природы, влияние природной и социальной среды на человека, развитие и сохранение народонаселения.

Экология как наука может быть связана и с гуманитарными науками. Например, существует такой раздел экологического знания, который называется экологией культуры (термин предложен академиком Д.С. Лихачевым). Эта научная дисциплина призвана исследовать культурную среду обитания человека, её формирование и воздействие на людей.

Все эти столь отдаленные, казалось бы, отрасли знания объединяет одно общее: их **экологичность**. Все они исследуют одну и ту же проблему: взаимодействие живого и неживого, живых организмов и среды их обитания. Все они базируются на ряде общих законов, понятий, терминов, правил. Таким образом, можно отметить, что характерной чертой современной экологии является то, что она из строго биологической науки превратилась в комплексную науку, представляющую собой целую систему знания, вобравшую в себя разделы многих других научных дисциплин («экология с большой буквы» по определению Д.С. Лихачева). В настоящее время экологию трактуют также и как науку о защите и рациональном использовании окружающей среды.

1.2. Основные этапы развития представлений о взаимоотношении человека и природы

Наши знания о том, как складывались взаимоотношения человека и природы в прошлом базируются на дошедших до нашего времени документальных свидетельствах, на изучении экологических аспектов древних мифов, сказаний. Характер взаимоотношений человека и природы менялся на разных этапах исторического развития, а также различался в разных регионах Земли. Сравнение старейших литературных источников позволяет выделить в мифотворчестве наших древних предков по крайней мере две тенденции в отношениях человека с природой, которые можно условно поделить по географическому принципу: восток – запад. Так тексты Древнего Китая, Индии проникнуты идеей единства человека и природы, полны проявлениями любви человека к природе и преклонения перед ней. В то же время в древнегреческой мифологии, а еще раньше и в шумеро-вавилонской литературе прослеживается противостояние человека и природы и даже агрессия человека по отношению к природе. Возможно, это связано с более сложной экологической обстановкой в этих регионах, с нару-

шением равновесия в экосистемах. Недаром именно в сказании шумеров о Гильгамеше (третье тысячелетие до н.э.) впервые упоминается о потопе. Один из героев этого сказания, как впоследствии и библейский Ной, спасает животных от потопа, погрузив их на корабль. А сам Гильгамеш вступает в борьбу с жестоким и сильным Хумбабой, олицетворяющим силы природы.

В древнегреческих мифах, изложенных Гомером и Гесиодом (XI–VII в.в. до н.э.), природные силы и явления были антропоморфизированы, т.е. уподоблены людям. Это Гея – богиня Земли, Уран – бог неба (супруг Геи), их сын Кронос, сын Кроноса Зевс и т.д. Природные силы также уподоблялись животным. А люди – герои этих повествований – то находятся под покровительством богов (т.е. сил природы), то вступают с ними в противоречие и даже борьбу. (Прометей, подвиги Геракла, противостояние с Зевсом...). Мотивы противостояния человека и природы звучат здесь достаточно сильно.

Многие более поздние авторы начали выделять человека из природы и ставить его над ней. Такое воззрение, согласно которому человек – центр и высшая цель мироздания, получило название **антропоцентризма** (от греч. *антропо* – человек). К основоположникам антропоцентризма принято относить древнегреческих философов Протагора и Сократа (V в. до н.э.), которые провозглашали превосходство человека над остальной природой. Однако уже Сократ подчеркивал, что в основе отношений человека с природой должны лежать доброжелательность, порядочность, справедливость. Идеи антропоцентризма в той или иной степени были характерны для всей древнегреческой философии, но уже тогда возникло понимание того, что действия человека могут нанести ущерб природе. На это указывали и ученик Сократа Платон, и ученик Платона Аристотель. Причем, Аристотель отмечал, что природные богатства не беспредельны, а основой жизни и развития природы, включающей в себя и человека, является природное многообразие.

Христианская философия, пришедшая на смену античной, во многом опирается на учения Платона, Аристотеля и других античных философов. Однако в ней, наряду с представлениями о необходимости сотрудничества человека и природы, содержатся и антропоцентрические взгляды, которых придерживались многие богословы на раннем этапе развития христианства (Иоанн Златоуст, Августин Блаженный).

В эпоху средневековья главенствующим воззрением стал **теоцентризм** (от греч. *теос* – бог), что привело и к изменению характера отношений человека и природы. В этот период многие церковники не просто с пренебрежением относились к познанию окружающего мира, но и обвиняли природу в греховности. В связи с этим запрещались науки, более того, не признавалось права на существование за произведениями искусства (живопись, литература), изображающими явления природы.

Коренные изменения начались в эпоху Ренессанса (Возрождение), когда человек как бы вырвался из плена теоцентрического миропонимания и вновь начал исповедовать антропоцентризм, вникая в тайны природы и пытаясь её преобразовывать. Однако это вызывало и беспокойство. Например, Леонардо да Винчи, сам активный экспериментатор, испытывал тревогу за последствия

антропогенного воздействия на природу. Важнейшим открытием этой эпохи явилась теория Николая Коперника, которая коренным образом изменила представления человека о Вселенной и своем месте в ней. Переход от геоцентризма Птолемея к гелиоцентризму обеспечил дальнейшее развитие науки и обусловил, наряду с другими факторами, наступление эпохи Научной революции и Просвещения, эпохи от Коперника до Ньютона.

Наиболее яркие представители этого времени – английский философ Френсис Бэкон и французский философ и математик Рене Декарт, являлись приверженцами идеи покорения природы человеком. Целью науки по Бэкону является увеличение власти человека над природой. Но, в то же время, он считал, что взаимоотношения человека с природой должны строиться на нравственных основах. В отличие от Леонардо да Винчи и Аристотеля, полагавших, что все живые существа имеют душу, Декарт признавал наличие души только у человека, что оправдывает проведение экспериментов над живой природой, в том числе и над животными. Людей же он считал хозяевами и господами природы. Как выдающийся естествоиспытатель, Рене Декарт внес огромный вклад в развитие естествознания: он создал теорию эксперимента, заложил основы аналитической геометрии, применил алгебраические методы к геометрическим объектам, ввел прямоугольную систему координат, многие алгебраические обозначения. Он занимался разработкой теории движения небесных тел, проводил физические, химические опыты, эксперименты в физиологии, ввел представление о рефлексе.

По мнению многих современных ученых эпоха Научной революции и Просвещения явилась поворотным моментом в истории человечества, так как именно от неё начинается отсчет времени, когда производственная деятельность общества стала оказывать необратимое негативное воздействие на окружающую среду.

Антропоцентрическая точка зрения на характер взаимоотношений человека и природы, потребительское отношение к природе, представления о неисчерпаемости её ресурсов, природопокорительская деятельность характерны для многих наших современников, хотя постепенно приходит понимание того, что основой взаимоотношения с природой должна стать взаимопомощь, а не противоборство. Только сохранив природу, человек сможет обеспечить свое дальнейшее существование. Такое воззрение составляет основу нового типа экологического сознания – **экоцентризма**. Человек – не хозяин природы, а один из членов природного сообщества и целью взаимодействия человека с природой должно быть удовлетворение как потребностей человека, так и природы. Развитие природы и человека следует рассматривать как процесс коэволюции, взаимовыгодного единства, взаимовыгодного развития.

1.3. Экологические понятия и термины

Каждая наука имеет свои понятия, термины. Не представляет исключения и экология. Многие её понятия биологического происхождения, так как изначально эта наука возникла как один из разделов биологии.

Экологи установили, что животные и растения очень редко распределяются равномерно во всем пространстве обитания данного вида. Обычно они избирают наиболее благоприятные места и образуют более или менее обширные скопления. Совокупности совместно обитающих в течение многих поколений и взаимодействующих между собой организмов, принадлежащих к одному виду, получили название **популяции**. (**Вид** – совокупность организмов, обладающих рядом общих морфо-физиологических признаков и поведенческих особенностей, способных к скрещиванию с образованием плодovитого потомства. Организмы, относящиеся к одному виду, обособлены от других нескрещиваемостью в природных условиях).

На популяции разбивается большинство видов животных и растений, что имеет огромное значение. Совместный образ жизни растений одного вида обеспечивает их взаимное опыление, препятствует угнетению другими видами, животным совместный образ жизни облегчает добывание пищи и защиту от врагов, а в целом повышается выживаемость.

Организмы разных видов, как правило, живут не обособленно друг от друга, а определенным образом взаимодействуют между собой. Такие сообщества взаимодействующих организмов разных видов, проживающие на одной территории, называются биоценозом (от греч. *биос* – жизнь и *кайнос* – общий). То есть **биоценоз** – это сообщество популяций организмов совместно проживающих и взаимодействующих на определенном пространстве. Важным свойством любого биоценоза является взаимная приспособленность его членов. В состав одного биоценоза могут входить как виды конкуренты, так и те, совместное проживание которых приносит им пользу.

Биоценоз не может существовать без очень многих факторов неживой природы (солнечная энергия, вода, кислород, углекислый газ, питательные вещества и др.). Совокупность неорганических компонентов среды и её физико-химических факторов (температура, освещенность и т.д.) составляет содержание понятия **биотоп** (местообитания). Биотоп и связанный с ним биоценоз в совокупности образуют **экологическую систему**. Например, какой-либо водоем (озерo) представляет собой экологическую систему, состоящую из биотопа (вода, донные отложения, растворенные в воде соли и газы, температура, освещенность...) и биоценоза, т.е. совокупности всех живых организмов, населяющих озеро и взаимодействующих друг с другом (планктон, водная растительность, рыбы, лягушки, микроорганизмы и т.д.). Термин «экологическая система» или «экосистема» предложен английским ученым А. Тенсли в 1935 г. А несколькими годами позднее академик В.Н. Сукачев ввел в науку термин **биогеоценоз**, имеющий примерно тот же смысл, что и экологическая система.

Совокупность всех организмов разных видов, объединенных общей областью распространения, получила название **биота**. В отличие от биоценоза она может характеризоваться отсутствием экологических связей между организмами. А область распространения организмов одного вида – это **ареал**.

Экологические системы находятся в постоянном развитии. При изменении условий существования жизни происходит смена биоценозов. Последовательная смена биоценозов (а, следовательно, и экосистем), преемственно воз-

никающая на одной и той же территории под влиянием природных или антропогенных факторов, получила название **сукцессии**. Принято различать **первичную** сукцессию, если формирование сообщества начинается на первоначально свободном месте (например, после оползня, обвала) и **вторичную** сукцессию, когда при изменении внешних условий (например, после вырубki леса) происходит смена одного сообщества другим. Стабильная экосистема, содержащая наиболее приспособленное к данным условиям сообщество организмов, называется **климаксом** (например, болото, возникшее на месте заросшего озера).

В процессе взаимодействия живых организмов многие из них выступают в качестве пищи для других. В соответствие с системой пищевых взаимоотношений все организмы можно разделить на три взаимосвязанные группы: на продуцентов – производителей, консументов – потребителей и редуцентов – разлагателей органического вещества.

Продуценты – это организмы, способные, используя энергию Солнца и такие простые неорганические вещества, как вода и углекислый газ, синтезировать органическое вещество. Именно благодаря им мы имеем все то богатство органического мира, которое нас окружает (включая и самого человека). К продуцентам относятся прежде всего растения, а также некоторые микроорганизмы, способные синтезировать органические вещества из неорганики. Первый синтез органического вещества на Земле, осуществленный живыми существами, был синтез бактерий (около 3,5 млрд. лет назад).

Консументы (от лат. *консумо* – потреблять) – весь животный мир, а также некоторые бактерии и грибы, которые сами не могут синтезировать органические вещества, используя CO₂, а получают их в виде пищи (растительной или животной) и преобразуют в иные формы опять же органического вещества.

Редуценты (от лат. *редукция* – возврат) – основные санитары жизни – микроорганизмы и грибы, разлагающие до минеральных соединений отмершие тела животных, растений, отходы их жизнедеятельности, благодаря чему продуценты получают соли, необходимые им для построения собственного тела.

Пищевые взаимоотношения организмов в экосистемах можно представить в виде **цепей питания**, то есть последовательностей, в которых каждый предыдущий организм выступает в качестве пищи для последующего. Цепи питания часто называют **трофическими цепями** (*трофе* – питаться). Пример трофической цепи для водных экосистем: микроскопические водоросли (фитопланктон) – мелкие планктонные рачки (зоопланктон) – молодь рыб – взрослые хищные рыбы (например щука). В реальных природных условиях пищевые взаимоотношения организмов обычно бывают сложнее, взаимно переплетаются и образуют так называемые трофические сети.

Установлено, что при переходе от одного звена пищевой цепи к другому теряется (рассеивается) до 90 % энергии, заключенной в потребляемой пище. Отсюда следует, что с экономической точки зрения более выгодны короткие трофические цепи. Однако они менее устойчивы.

По способу питания организмы можно поделить на **автотрофов**, то есть самопитающихся, и **гетеротрофов** – питающихся другими. Автотрофные орга-

низмы для своего существования используют неорганические вещества, создавая из них первичные органические соединения (это – например, растения, осуществляющие процесс фотосинтеза, некоторые бактерии). Главным поставщиком углерода в этих процессах является углекислый газ. Гетеротрофные организмы при питании используют уже кем-то созданные органические вещества, которые и служат для них источником углерода. Гетеротрофные организмы делятся на фитофагов – растительноядные (корова), зоофагов – плотоядные (тигр) и эврифагов – всеядные (человек).

Таким образом, можно представить себе общую экологическую картину окружающего нас мира. Отдельные особи как животных, так и растений входят в более или менее постоянные объединения – семьи, стада, стаи, куртины (растения) и более значительные и длительно существующие объединения – популяции. Совместно обитающие и взаимно влияющие друг на друга популяции разных видов животных, растений и микроорганизмов образуют биоценозы. Биоценозы в совокупности с необходимыми им факторами неживой природы (биотопом) представляют собой экосистемы или биогеоценозы. Простые экосистемы могут объединяться в более сложные. Например, совокупность экосистем, входящих в одну природно-ландшафтную зону, называется **биом** (биом тайги, биом пустыни и т.д.). Общепланетарная экосистема получила название **биосфера**.

1.4. Взаимоотношения организма и среды

(экологические факторы, основные законы и правила экологии)

С экологических позиций среда – это тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных отношениях. Окружающая среда характеризуется огромным разнообразием, слагаясь из множества изменяющихся во времени и пространстве элементов, явлений, которые рассматриваются в качестве факторов.

Экологический фактор – это любой элемент или условие среды, способные оказывать влияние на живые организмы, их существование и развитие. Экологические факторы делятся на две категории: факторы неживой природы (абиотические) и факторы живой природы (биотические).

Рассмотрим примеры некоторых **абиотических факторов**.

Важнейшим из них для всех форм жизни на Земле является поступающая от Солнца энергия. Суммарный поток солнечного излучения, проходящий за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению солнечных лучей на верхней границе атмосферы (т.е. там, где еще не сказывается влияние атмосферы), зависит только от солнечной активности, которая изменяется в весьма узких пределах. Эта мало изменяющаяся величина получила название «солнечная постоянная». Она равна $2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \text{ мин})$ или $0,137 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \text{ с})$.

Около 99 % подходящей к Земле солнечной энергии сосредоточено в интервале длин волн от 170 до 4000 нм. Причем, почти половина (48 %) приходится на видимую часть спектра с длиной волны 380 – 770 нм, а остальная

часть распределяется в ближней ультрафиолетовой (менее 380 нм, 7 %) и инфракрасной (более 770 нм, 45 %) областях.

До поверхности Земли доходит только часть солнечной энергии, так как она частично рассеивается самой атмосферой, облаками, пылью, взвешенной в воздухе, а также поглощается некоторыми атмосферными газами. Например, в полдень летом в средних широтах в условиях безоблачного неба до поверхности Земли доходит около половины этой энергии. Достигающая поверхности Земли солнечная радиация имеет простой дневной ход с максимумом в околополуденные часы. С солнечным излучением связана освещенность земной поверхности, которая играет важную роль для всего живого. Вследствие вращения Земли вокруг собственной оси периодически чередуются светлое и темное время суток и организмы физиологически адаптированы к смене дня и ночи, у них существуют суточные ритмы активности. С солнечным излучением связана и температура на поверхности Земли, которая также является важным абиотическим фактором. В качестве других примеров абиотических факторов можно назвать влажность атмосферного воздуха, осадки, режим осадков, факторы почвенного покрова, характеристики водной среды (соленость, концентрация растворенных газов, кислотность и т.д.).

Для выполнения своих жизненных функций организмам необходим определенный набор абиотических факторов и поэтому они не могут распространяться повсюду. Причиной этому является наличие у разных видов организмов определенного **диапазона толерантности** по отношению к колебаниям абиотических факторов среды (*толерантность* – терпимость). Например, многие организмы могут жить лишь в определенном интервале температур. Если изобразить на графике зависимость численности популяции от температуры, то этот график будет иметь вид колоколообразной кривой. Средняя её часть, где число особей, чувствующих себя комфортно, самое большое, соответствует оптимальным условиям. По краям расположены зоны физиологического стресса. Они соответствуют таким значениям экологического фактора, которые еще позволяют выжить, но только меньшему числу особей этой популяции. Как правило, в таких условиях организмы не размножаются. Когда предел толерантности превышает, выживают лишь отдельные особи или гибнет вся популяция. Здесь расположены низший и высший уровни толерантности. **Диапазон толерантности** определяет пределы изменения значений фактора, при которых сохраняются условия для существования популяции.

Отдельные особи одной популяции могут иметь несколько различающиеся диапазоны толерантности (из-за различий в генетическом строении). Особи, ослабленные болезнями, обычно более подвержены стрессам, чем здоровые организмы. Как правило, диапазон толерантности в юном возрасте (когда защитные функции организма еще недостаточно развиты) уже, чем у взрослых особей. Многие организмы могут менять толерантность к абиотическим факторам, если условия изменяются постепенно. Такая адаптация к медленному изменению условий является полезным защитным средством.

В зависимости от способности к адаптации организмы делятся на **стенобионты** (т.е. организмы способные жить лишь в постоянных условиях среды и

плохо приспособляющиеся к её изменениям) и **эврибионты**, которые легко переносят такие изменения.

С понятием толерантность тесно связан **принцип лимитирующего фактора экосистемы** (его часто называют законом толерантности В. Шелфорда). Согласно ему, избыток или недостаток любого экологического фактора может повлечь за собой ограничение развития, вплоть до гибели организма, даже если все другие необходимые для его жизни факторы находятся при оптимальных значениях. Такой фактор, тормозящий развитие популяции в экосистеме, называется **лимитирующим фактором**. Впервые на значение лимитирующих факторов указал немецкий агрохимик Ю. Либих в середине XIX века. Он установил **закон минимума**: урожай сельскохозяйственных культур определяется содержанием в почве того вещества, концентрация которого минимальна, которого не хватает для нормального развития растения. Но позднее было показано, что урожайность снижается и при избытке необходимых для развития веществ. Академик В.Р. Вильямс установил, что, несмотря на взаимовлияние факторов, они не могут заменить друг друга – **закон независимости факторов В.Р. Вильямса**: ни один из факторов жизни не может быть заменен другим (действие влажности нельзя заменить действием света, температуры и т.д.). Наиболее полно и в наиболее общем виде всю сложность влияния экологических факторов на организм отражает **закон толерантности В. Шелфорда**. Например, недостаток или избыток какого-то вещества в почве (вода, питательные вещества) может сдерживать рост растения, хотя другие необходимые для жизни условия имеются. В роли лимитирующих факторов могут выступать температура, влажность, освещенность, содержание растворенных в воде солей или газов, кислотность (рН) среды и многие другие.

Под **биотическими факторами** понимают условия, определяемые жизнедеятельностью живых организмов, влияющие как на другие организмы, так и на неживые компоненты среды обитания. Взаимоотношения между животными, растениями и микроорганизмами очень многообразны и их все можно поделить на **прямые** и **косвенные**. Первые связаны с непосредственным воздействием одних организмов на другие, а вторые проявляются в том, что одни организмы своим присутствием изменяют режимы абиотических факторов среды для других организмов. Большая часть взаимодействия происходит через пищевой (трофический) фактор. Причем, любой вид животных или растений обладает четкой избирательностью к составу пищи.

Различают **внутривидовые** (т.е. между особями одного и того же вида) и **межвидовые** взаимодействия. К первым относится «групповой» эффект (когда особи объединяются в группы: стаи, стада, куртины, популяции, что повышает их выживаемость) и «внутривидовая конкуренция», которая заставляет организмы обособливаться друг от друга, что проявляется, в основном, в защите занимаемой территории, своих гнездовых, партнеров по браку.

Межвидовые взаимодействия гораздо более разнообразны. Два живущих рядом вида могут вообще никак не влиять друг на друга, могут влиять благоприятно или неблагоприятно. Возможны следующие типы взаимоотношений:

- **нейтрализм** – оба вида независимы и не влияют друг на друга,

- конкуренция – прямое взаимное подавление обоих видов, или не прямое подавление при дефиците какого-либо внешнего ресурса,
- мутуализм – взаимодействие благоприятное для обоих, причем, участвующие в нем виды не могут существовать друг без друга,
- протокооперация (содружество) – два вида образуют сообщество, которое приносит им обоим пользу, но они могут существовать и отдельно,
- комменсализм – один вид (комменсал) получает пользу от сожительства, а другому виду это объединение безразлично,
- аменсализм – один вид (аменсал) испытывает угнетение роста или размножения под воздействием организмов другого вида, например, продуктами его выделения,
- паразитизм – жизнь за счет другого с оказанием ему вреда. Организм-потребитель (паразит) использует тело живого хозяина как источник пищи и место для своего обитания,
- хищничество – особи одного вида питаются организмами другого вида.

Совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе называется **экологической нишей**. Согласно современным представлениям экологическую нишу часто рассматривают как часть воображаемого многомерного пространства (гиперобъема) отдельные измерения которого соответствуют факторам, необходимым для нормального существования вида. Понятие «экологическая ниша» обычно применяется при исследовании взаимоотношений экологически близких видов, относящихся к одному трофическому уровню. Еще в конце XIX, начале XX веков было замечено, что два вида, занимающих сходное положение в сообществе, не могут устойчиво сосуществовать на одной территории. Позднее это эмпирическое обобщение нашло подтверждение в математической модели конкуренции двух видов за одну нишу, разработанной итальянским математиком В. Вольтеррой, а также в экспериментальных работах советского биолога Г.Ф. Гаузе и получило название **принципа Вольтерры-Гаузе**. Этот принцип утверждает, что два вида не могут устойчиво существовать в ограниченном пространстве, если жизненные процессы обоих лимитированы (ограничены) одним и тем же фактором, т.е. одним и тем же важным ресурсом, количество и доступность которого ограничены. Или то же можно сформулировать с использованием понятия «экологическая ниша»: два вида не могут сосуществовать, если они занимают одну и ту же экологическую нишу. В этом случае происходит конкурентное вытеснение одного вида другим.

Общее число законов, принципов и правил экологии достаточно велико. Весь массив теоретических знаний безусловно интересен и необходим для специалистов. Но в рамках данного курса остановим внимание только еще на некоторых наиболее важных закономерностях.

Стабильность и саморегуляция природы возможны благодаря выполнению одного из важнейших экологических законов – **принципа Ле Шателье-Брауна**: внешнее воздействие, выводящее экологическую систему из равнове-

сия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Можно привести множество примеров действия в природе этого закона. Обратимся к одной из наиболее острых современных экологических проблем – климатическим изменениям, происходящим, по мнению некоторых ученых, под влиянием человека. Здесь имеет место внешнее воздействие на атмосферу Земли, когда сжигание все большего количества органического топлива приводит к изменению газового состава атмосферы, увеличению содержания в ней «парниковых газов», в частности, двуокиси углерода, и в результате – к потеплению глобального климата. В соответствии с принципом Ле Шателье-Брауна, природа должна сопротивляться таким изменениям, что и имеет место на самом деле. Увеличение концентрации углекислого газа интенсифицирует процессы его вывода из атмосферы путем ускорения процессов фотосинтеза растений. Однако человек часто оказывает комплексное негативное влияние на природу: он не только сжигает органическое топливо, но и одновременно с этим вырубает леса, призванные восстановить равновесный газовый состав атмосферы. В результате под влиянием человека действие этого важнейшего закона природы нарушается.

К числу важнейших законов природы следует отнести и **законы Коммонера**, сформулированные в 1926 г. американским экологом Барри Коммонером. Они просты и в то же время достаточно точно определяют принципы, на базе которых необходимо строить гармонирующие с окружающей средой производство и потребление, обеспечивать экологичность социальных и экономических программ общества. Формулировки этих законов лишены привычного наукообразия. Их широкая известность и популярность вызваны как содержательной глубиной, так и яркой емкой формой, что очень важно в деле пропаганды экологических знаний.

Вот эти законы:

- Все связано со всем
- Все должно куда-то деваться
- Природа знает лучше
- Ничто не дается даром.

Первый закон («все связано со всем») указывает на всеобщую связь процессов и явлений природы. Он утверждает, что все экологические системы являются взаимоуравновешенными, взаимонастраиваемыми. Человек в своей хозяйственной деятельности должен стремиться сохранять равновесие в природных экосистемах.

Второй закон («все должно куда-то деваться») фактически является перефразировкой фундаментального физического закона сохранения материи. В природе, как правило, продукты жизнедеятельности одних организмов служат как бы «сырьем» для других. Биогенные элементы используются по типу круговоротов. Эффективность этих круговоротов очень велика, а их движущей силой являются сами живые существа. Хозяйственная деятельность человека, как части природы, тоже должна строиться по тому же принципу. Однако человеческое общество действует в этом плане очень неэффективно и приводит к образованию огромных количеств отходов, которые часто не вписываются в при-

родные экосистемы и загрязняют их. Человек обязан учитывать это, чтобы избежать тяжелых негативных последствий.

Третий закон («природа знает лучше») призывает к предельной осторожности в использовании природных ресурсов. Мы пока не имеем достаточно достоверной информации о механизмах и функциях природы, а антропогенные изменения как правило вредны для неё. Между тем, в процессе длительной эволюции природные системы усовершенствовались до уровня тончайшего механизма, в котором любая деталь играет определенную и часто незаменимую роль. Если до конца не раскрыть механизмы природных процессов, то даже действия, направленные на охрану природы, чреваты новой опасностью, т.к. они могут отяготить нынешнее кризисное состояние новыми грубыми ошибками, которых в истории взаимодействия человека и природы было немало.

Четвертый закон («ничто не дается даром») подчеркивает, что в природе всякая вещь чего-то стоит, все, что извлечено из природы человеческой деятельностью, должно быть возмещено. За все нужно платить, причем, расплачиваться приходится разрушениями природной среды, а подчас – здоровьем и жизнями людей. Например, за относительно дешевую электроэнергию, вырабатываемую на гидроэлектростанциях, мы расплачиваемся потерями больших площадей затопленных плодородных земель, исчезновением поселков, природных и культурных памятников, попавших в зону затопления, нарушением гидрологического режима на больших территориях, размыванием и разрушением берегов, обострением оползневых процессов, сокращением численности ценных пород рыб и т.д.

Стратегия защиты биосферы должна учитывать не только нынешние, но и долгосрочные интересы человечества. При этом она должна быть тесно связана со стратегией использования природных ресурсов и стратегией экономического развития, которая, в свою очередь, должна быть экологизирована. Без этого в современных условиях человечество выжить не сможет.

2. БИОСФЕРА ЗЕМЛИ

2.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере

Одной из основных естественнонаучных концепций экологии является концепция биосферы. Согласно современным представлениям, **биосфера** представляет собой своеобразную оболочку Земли, содержащую всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которое находится во взаимодействии с этими организмами (или взаимодействовало с живыми организмами ранее). То есть биосферу можно определить как экологическую систему в планетарном масштабе.

Представления о взаимном влиянии живого и неживого впервые высказывались еще в начале XIX века французским естествоиспытателем Жаном Баттистом Ламарком. А сам термин «биосфера» – сфера жизни – был введен в науку в 1875 г. австрийским геологом Эдуардом Зюссом, который под биосферой понимал лишь совокупность всех живых организмов на Земле. Однако законченное учение о биосфере как об активной оболочке Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов (в том числе и человека) проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба и значения, создано нашим великим соотечественником Владимиром Ивановичем Вернадским (1926 г.). Учение о биосфере является одним из крупнейших и наиболее интересных обобщений Владимира Ивановича в области естествознания. Согласно Вернадскому, биосфера представляет собой оболочку Земли, «включающую в себя как область распространения живого вещества, так и само это вещество». Составным элементом биосферы является и человек, и человеческое общество с его производством, причем, для человека свойственно сознательное преобразование биосферы.

Основной идеей учения о биосфере является представление о тесном взаимодействии между живой и неживой природой, об обратной связи между живыми организмами и физическими, химическими и геологическими факторами, влияющими на них, в результате чего живое вещество в значительной степени меняет «лик Земли». В.И. Вернадский определил пространство, охватываемое биосферой Земли, хотя, конечно, границы биосферы довольно условны и определяются значениями абиотических факторов, при которых возможно развитие жизни. Толщина биосферы («пленки жизни») порядка нескольких десятков километров. Она включает в себя верхние слои литосферы материков (верхнюю часть земной коры) до глубины в несколько километров (на таких глубинах в подземных водах еще встречаются живые организмы), всю гидросферу (и на 1–2 км ниже дна океана) и нижние слои атмосферы. Живые организмы способны обитать на высоте до 5–6 км, хотя восходящими потоками воздуха споры и пыльца растений могут быть занесены и еще выше. В настоя-

щее время в качестве верхней границы биосферы часто рассматривают так называемый озоновый слой – область максимальной концентрации озона, расположенную в стратосфере на высоте 20–30 км. Озон поглощает губительное для всего живого жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца. Выше озонового слоя жизнь не возможна.

Для обозначения совокупности всех живых организмов В.И. Вернадский ввел новое понятие – «живое вещество». Масса живого вещества по современным оценкам равна примерно $2,4 \cdot 10^{12}$ тонн и она составляет примерно одну миллионную часть от массы биосферы. Тем не менее, именно живые организмы играют определяющую роль в её развитии. При этом на долю растений приходится около 99 % от массы живого вещества, а на долю животных – 1 %.

По представлениям В.И. Вернадского биосфера включает в себя кроме живого вещества еще и неживое вещество, состоящее из биогенного (захороненное органическое вещество – нефть, газ и т.д.), косного (в его образовании живое не участвует, например, магматические горные породы), биокосного (минеральное вещество, созданное с помощью живых организмов, например, почва), а также радиоактивного вещества и вещества космического происхождения (падающие на Землю метеориты, космическая пыль и др.).

По оценкам В.И. Вернадского за 1 секунду Земля получает от Солнца $170 \cdot 10^{12}$ кДж и он рассматривал биосферу как область превращения этой космической энергии в энергию первичных органических соединений, синтезируемых зелеными растениями в процессе фотосинтеза. Именно благодаря растениям существуем мы и все то богатство органического мира, которое нас окружает. Значительная часть живого вещества, минерализуясь, идет на образование новых минералов, вне биосферы не известных (биокосное вещество), а часть захоранивается в форме самого органического вещества, образуя горючие полезные ископаемые такие, как нефть, природный газ (биогенное вещество). В связи с выше сказанным, становится понятным утверждение В.И. Вернадского о том, что земная кора представляет собой в основном «остатки былых биосфер», т.к. её верхний гранитный слой образовался в результате превращения и переплавления пород, некогда возникших под влиянием живого вещества. С возникновением жизни на Земле живые организмы стали активно изменять, преобразовывать земную кору.

История жизни имеет общую продолжительность около 3,5 млрд. лет, и за это время образовалась новая комплексная оболочка Земли – биосфера, переработанная жизнью и заселенная живыми организмами. Одна из основных функций биосферы – устойчивое поддержание жизни – основывается на непрерывном круговороте веществ, связанным с направленными потоками энергии. Живое вещество, войдя во взаимодействие с литосферой, атмосферой и гидросферой, коренным образом преобразовало их, придало им новые свойства и качества.

Важнейшим аспектом учения В.И. Вернадского является разработанное им представление об организованности биосферы, которая проявляется в согласованном взаимодействии живого и неживого, взаимной приспособляемости организмов и среды.

В настоящее время в экологической науке известны две основные концепции взаимодействия биоты и окружающей её среды. Согласно первой концепции – традиционной – окружающая среда пригодна для жизни в силу уникальных условий на поверхности Земли, а естественная биота приспосабливается к окружающей её среде благодаря главному свойству живых организмов – способности к эволюции и адаптации к меняющимся условиям среды.

Во второй концепции основная роль отводится биотической регуляции окружающей среды. Биота Земли рассматривается как основной механизм поддержания пригодных для жизни условий окружающей среды в локальных и глобальных масштабах. В.И. Вернадский отмечал, что «жизнь создает в окружающей её среде условия благоприятные для своего существования». В этой концепции главным свойством жизни считается способность видов к поддержанию тех условий среды, которые пригодны для их существования, а не способность к непрерывной адаптации к изменяющимся внешним условиям. Биотическая регуляция окружающей среды возможна в результате согласованного взаимодействия между организмами и средой. При её переходе в новое состояние обязательно происходит существенная перестройка биоты. Но эта перестройка осуществляется без потери биотой способности предотвращать переход среды в состояние, непригодное для существования любой биоты.

В течение всего времени существования жизни на Земле живые организмы активно изменяли окружающую среду в благоприятном для себя направлении, т.е. биотическая регуляция среды имела место с самого момента возникновения жизни. Таким образом, биотическая регуляция окружающей среды – это механизм управления окружающей средой, основанный на отобранной в процессе эволюции видах, содержащих необходимую для управления средой генетическую информацию.

Вторым после возникновения жизни главным событием в истории Земли, по мнению Вернадского, является появление человека, что произошло сравнительно недавно – около 1,5 млн. лет назад. Учение В.И. Вернадского о биосфере впервые раскрыло становление нашей планеты как процесс, состоящий из исторически преемственных, но качественно различных этапов. Оценив роль живого вещества в развитии Земли, В.И.Вернадский отметил, что наряду с живым веществом, на судьбу планеты начинает влиять новый фактор – практическая деятельность людей. Её воздействие постепенно усиливается, приобретает глобальные масштабы, становится решающим фактором развития биосферы, сопоставимым с геологическими силами. Увеличение роли человеческой деятельности знаменует собой начало нового этапа в истории Земли. Оно происходит благодаря развитию науки, знаний. Это новое состояние биосферы, новый этап в её развитии, когда человек поставит свои взаимоотношения с природой на научную основу, В.И. Вернадский назвал **ноосферой** – сферой разума. Разработке представлений о роли человечества в преобразовании биосферы были посвящены последние годы жизни Владимира Ивановича. Однако законченного учения о ноосфере он создать не успел. Тем не менее, он указал ряд условий, необходимых для становления и существования ноосферы: заселение человеком всей планеты; расширение средств связи и обмена между странами; расши-

рение границ биосферы и выход человека в космос; открытие новых источников энергии; создание условий для свободного развития науки; подъем благосостояния трудящихся; разумное преобразование природы для удовлетворения потребностей человечества, бережное отношение к её ресурсам. Вернадский полагал, что переход биосферы в свою высшую фазу развития – в ноосферу еще только начинается и человек «может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни».

Однако концепция В.И.Вернадского о человеческом разуме как ведущей силе преобразования биосферы пока оправдывается лишь частично. Прогресс разума привел к научным, техническим и технологическим достижениям, позволившим человеку влиять на биосферные процессы в своих интересах, но того же разума не хватило, чтобы эксплуатировать ресурсы природы, не входя в противоречие с естественными законами существования биосферы, не нарушая сложившиеся за многие миллионы лет эволюции взаимоотношения, поддерживающие устойчивость биосферы. В.И. Вернадский замечал нежелательные, разрушительные последствия хозяйственной деятельности человека на Земле, но оптимистически считал их некоторыми временными издержками, которые удастся преодолеть. Он верил в человеческий разум и гуманизм научной деятельности. При этом он полагал, что биосфера рано или поздно перейдет в ноосферу и на определенном этапе развития человек вынужден будет взять на себя ответственность за дальнейшую эволюцию планеты.

Однако не все современные ученые однозначно разделяют ноосферные представления Вернадского. Многие полагают, что человечество должно не управлять природой (что нереально), а сохранять биосферу. В соответствии с положениями «биосферной этики», разработанными российским ученым Ф.Я. Шипуновым, не следует создавать организованность биосферы техническими средствами, поскольку это приведет к переходу от более совершенной организованности природы к менее совершенной и переводу биосферы на более низкую качественную ступень. Природа была и всегда будет сильнее человека. По мнению российских ученых В.И. Данилова-Данильяна, К.С. Лосева, Н.Ф. Реймерса человеку надо думать не об управлении эволюцией биосферы, а об управлении самим собой, что означает прежде всего следование законам природы. Главной экологической задачей человечества должно стать сохранение естественной биоты на Земле и сохранение равновесия естественных процессов, протекающих в биосфере, с целью организации гармоничного развития человека и природы.

Человек, став мощным геологическим фактором, оказывает глобальное воздействие на биосферу. Биосфера, со своей стороны, через экологические законы, которые человек вынужден соблюдать, чтобы выжить, воздействует на человека. В результате развитие природы и человека должно происходить как процесс совместной эволюции (коэволюции), взаимовыгодного единства. Ноосфера, согласно современной трактовке, является продуктом такой коэволюции. Её следует рассматривать как результат разумного вмешательства человека в биосферные процессы. Люди должны быть ориентированы и готовы к радикальному изменению системы ценностей и поведения, к отказу от перепотреб-

ления (для развитых стран), от установки на многодетную семью (для развивающихся стран) и от экологической безответственности и вседозволенности. Указанные требования представляют собой содержание нового типа экологического сознания – экоцентризма, который должен прийти на смену сложившейся в массовом сознании в течение многих столетий концепции антропоцентризма, предполагавшей главенство и превосходство человека над остальной природой.

2.2. Биосфера и строение Земли

Согласно представлениям В.И. Вернадского, биосфера – это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится во взаимодействии с этими организмами. Причем, он полагал, что биосфера это не какая-то обособленная, закрытая, самоуправляющаяся система, а система открытая, неразрывно связанная с другими геосферами нашей планеты, с процессами, протекающими в глубинах Земли. Изучение этих процессов, а также внутреннего строения Земли является одной из основных задач современного естествознания. Это связано как с чисто научной, познавательной стороной проблемы, так и с необходимостью решения ряда важнейших практических задач, а также с проблемой существования биосферы и человечества в частности. Средой обитания человека является наша планета со всеми её оболочками: атмосферой, гидросферой, наружными частями твердой Земли. Именно здесь возникла и развивается жизнь. Но все эти геосферы, входящие в биосферу, выделились из недр основного тела Земли в процессе её длительного развития. Дальнейшая эволюция биосферы также во многом будет определяться жизнью земных недр. Их активность проявляется в форме извержений вулканов, землетрясений, перемещений земной коры, изменений радиационного и магнитного полей Земли – важнейших абиотических экологических факторов. Условия жизни на планете зависят от ее формы, массы, внутреннего строения, химического состава, а также от места в Солнечной системе, параметров орбиты, влияния других космических тел и процессов, протекающих на них.

Происхождение Земли, её основные параметры и форма. Согласно одной из распространенных космогонических гипотез, наша планета образовалась одновременно с Солнцем и другими планетами Солнечной системы из единого газопылевого облака. В результате взрыва какой-то крупной звезды, полностью прошедшей свой эволюционный путь развития, это облако получило импульс начального сжатия и вращения, а также пополнилось веществом. По мере сжатия, которое усиливалось вследствие возникновения собственных гравитационных полей, в центральной части облака начали увеличиваться давление и температура и там сформировался гигантский газовый сгусток – протосолнце. Одновременно со сжатием протосолнечного облака его периферийные участки под влиянием гравитационных и центробежных сил стягивались к экваториальной плоскости вращения облака, превращаясь в плоский диск – протопланетное облако, на флуктуациях плотности которого возникли зародышевые тела будущих планет – планетозимали. Увеличение их размеров происходило за счет аккреции и сопровождалось уменьшением общего числа. У крупных планетозим-

малей появились собственные гравитационные поля, что повышало эффективность захвата мелких тел и увеличивало скорость роста. Процесс образования Солнечной системы длился около двухсот миллионов лет и в основном закончился примерно 4,5 млрд. лет тому назад. Считают, что с тех пор общая структура системы не претерпела существенных изменений.

Земля – третья по мере удаления от Солнца планета Солнечной системы (среднее расстояние от Солнца 149,6 млн. км), самая крупная из четырех внутренних (землеподобных) планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс. Её масса равна $5,98 \cdot 10^{21}$ т, средний радиус 6371 км.

Все внутренние (по отношению к астероидному поясу) планеты имеют сравнительно небольшие размеры и высокие плотности (средняя плотность Земли равна $5,52 \text{ г/см}^3$) за счет содержания тяжелых оксидов, силикатов, наличия железистого ядра.

Внешние планеты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) обладают значительно меньшей плотностью и отличаются по составу. Некоторые из них, например, планеты-гиганты Юпитер и Сатурн, состоят в основном из смеси водорода и гелия, близкой к составу Солнца. Полагают, что эти различия связаны с соответствующей химической дифференциацией протопланетного газопылевого облака. Однако механизм этой дифференциации пока не известен. Самая удаленная от Солнца и самая маленькая планета Плутон исключена из числа планет на съезде астрономов в Праге в августе 2006 года.

Все известные к настоящему времени планеты Солнечной системы движутся вокруг Солнца по орбитам, близким к круговым, причем, почти в одной плоскости – плоскости эклиптики. Кроме того, они вращаются вокруг собственных осей. Ось вращения Земли образует с перпендикуляром к плоскости эклиптики угол, равный $23,5^\circ$, что обуславливает существование такого важнейшего для всех форм жизни абиотического экологического фактора, как смена времен года.

Мысль о том, что Земля имеет форму шара, была высказана еще Пифагором в 530 г. до новой эры. Так же достаточно давно (200 г. до н. э., Эратосфен) были найдены размеры этого шара. Но только в конце 17 века после формулировки И. Ньютоном закона всемирного тяготения вопрос о форме и размерах Земли стал рассматриваться не только с геометрической, но и с физической точки зрения. Вращение Земли вокруг собственной оси обуславливает действие на любой элемент её поверхности центробежной силы, в роли которой выступает часть силы тяготения. Вследствие этого форма Земли изменилась таким образом, что касательная, проведенная к любой точке её поверхности, перпендикулярна не силе тяготения (как на шаре), а результирующей этих двух сил, т.е. Земля приняла форму эллипсоида вращения, полярный радиус которого меньше экваториального. При достаточно строгом подходе поверхность Земли описывается индивидуальной фигурой, которая называется геоидом. По данным современных измерений экваториальный радиус Земли равен 6378,1 км, а полярный – 6356,7 км. Средний радиус (6371 км) определяется как радиус шара, имеющего тот же объем, что и объем эллипсоида вращения.

Обнаруженное отклонение формы планеты от шарообразной свидетельствует о том, что вещество, из которого она состоит, обладает пластичностью, т.е. имеет свойства, характерные для вязкой жидкости. Однако степень сжатия Земли оказалась меньше, чем можно было ожидать для такого вещества. Следовательно, материал земных недр сопротивляется действующим силам, т.е. обладает прочностью и в этом смысле отличен от жидкости.

О механических свойствах материала Земного шара можно получить информацию также из наблюдений за так называемой приливной деформацией, которую испытывает Земля под воздействием Луны. Каждая точка земной поверхности поднимается и опускается под действием приливообразующей силы (силы взаимного притяжения и центробежной силы). Эти движения имеют довольно большую амплитуду (до 0,7 метра), но возникающие деформации человек не замечает благодаря плавности движения и огромной длине волны. Характер этих явлений зависит от свойств вещества. При их изучении пришли к выводу, что вещество Земли в целом довольно близко по свойствам к идеально упругому телу, хотя приливы несколько запаздывают по отношению к приливообразующей силе. Это свидетельствует о том, что недра Земли обладают вязкостью, т.е. свойством, характерным для жидкостей.

Накопившиеся к настоящему времени данные позволяют считать, что вещество Земли обладает и вязкостью, и твердостью. Такие материалы принято называть вязкоупругими. В различных условиях они могут проявлять свойства как жидкости, так и твердого тела. Например, геологические исследования показали, что при длительных горообразовательных процессах породы как бы текут аналогично жидкостям с вязкостью $10^{20} - 10^{22}$ Пуаз, тогда как при воздействии не слишком долго действующих сил (секунды – дни) они ведут себя как обычные твердые упругие тела.

Внутреннее строение Земли. Наиболее полные сведения о внутреннем строении нашей планеты дают наблюдения за распространением в теле Земли упругих **сейсмических волн**, возникающих вследствие землетрясений или каких-то искусственных взрывов. Различают два вида объемных сейсмических волн: продольные и поперечные. Продольные – это упругие волны сжатия, представляющие собой колебания вещества вдоль направления распространения волны. Поперечные – это упругие волны сдвига возникающие при колебании вещества перпендикулярно этому направлению. Оба вида волн распространяются в веществе Земли подобно световым лучам в оптических средах, отражаясь и преломляясь на поверхностях раздела, где их скорости и направления распространения изменяются в зависимости от свойств среды. Объемные сейсмические волны пронизывают нашу планету и позволяют выявить внутреннее строение Земли без непосредственного проникновения в её недра.

Очаги большинства землетрясений располагаются не далее 100 км от поверхности Земли, и лишь в случае наиболее крупных из них гипоцентр землетрясения может находиться еще глубже (до 700 км). Сейсмические волны доходят от места их образования до сейсмостанций за некоторое время (время пробега волны), зависящее от удаленности станций, которая оценивается по величине центрального угла (в градусах) между двумя радиусами, проведенными в

сторону землетрясения и в сторону станции. Этот угол называется эпицентральным расстоянием. На основе полученных данных устанавливают зависимость между указанными величинами, называемую годографом. Отдельные точки годографа соответствуют разным сейсмическим лучам.

Одна из основных задач сейсмологии состоит в том, чтобы перейти от годографа к зависимости скорости распространения сейсмических волн от глубины их проникновения в тело Земли (рис. 1), так как информацию о внутреннем строении планеты дает распределение скоростей сейсмических волн по глубине (скоростной разрез Земли).

Вскоре после начала сейсмических исследований было обнаружено, что продольные и поперечные волны наблюдаются только до эпицентрального расстояния, равного 103° . Между 103° и 142° волны исчезают и создается так называемая зона тени. При больших эпицентральных расстояниях ($142\text{--}180^\circ$) появляется более поздняя продольная волна, а поперечная вовсе отсутствует. Для объяснения этих данных было сделано предположение о том, что приблизительно на половине расстояния до центра Земли существует граница раздела, ниже которой вещество характеризуется высокой плотностью (из-за чего продольные волны резко замедляются) и находится в жидком состоянии (поперечные волны исчезают, т.к. они не могут распространяться в жидкой среде). Эту границу, находящуюся на глубине 2900 км, впервые определил немецкий сейсмолог **Б. Гутенберг** в 1914 г. На границе Гутенберга скорость продольных сейсмических волн V_p скачком уменьшается от 13,6 до 8,1 км/с, а скорость поперечных волн V_s убывает от 7,3 км/с до нуля. Другая отчетливая поверхность раздела внутри Земли, расположенная довольно близко от её поверхности, была обнаружена югославским сейсмологом **А. Мохоровичичем**. На этой границе скорости сейсмических волн скачкообразно возрастают (на 8–10 %).

На основе этих данных сложились современные представления о внутреннем строении Земли. Часть планеты, расположенная глубже границы Гутенберга, была названа **ядром**. Выше ядра (между границами Гутенберга и Мохоровичича) располагается оболочка, или **мантия** Земли, вещество которой находится в твердом состоянии. Слой, расположенный выше границы Мохоровичича, называют земной **корой**.

Толщина коры различна в разных частях поверхности Земли. Она изменяется от нескольких километров под дном океанов до нескольких десятков километров под континентами. В результате граница Мохоровичича является почти зеркальным отражением рельефа земной поверхности. Земная кора различается не только толщиной, но и строением, составом и возрастом. Верхняя часть коры континентального типа слагается из гранитов и родственных им пород и называется гранитным слоем. Глубже располагается слой с более высокой плотностью и упругостью, в котором сейсмические волны распространяются быстрее. Его условно называют базальтовым. Океанический тип коры имеет гораздо меньшую толщину и состоит только из базальтового слоя. Географические области континентов и океанов не всегда совпадают с областями распространения земной коры соответствующего типа, т.к. вследствие тектонических движений некоторые части земной поверхности, находящиеся сейчас под во-

дой, раньше были сушей и наоборот.

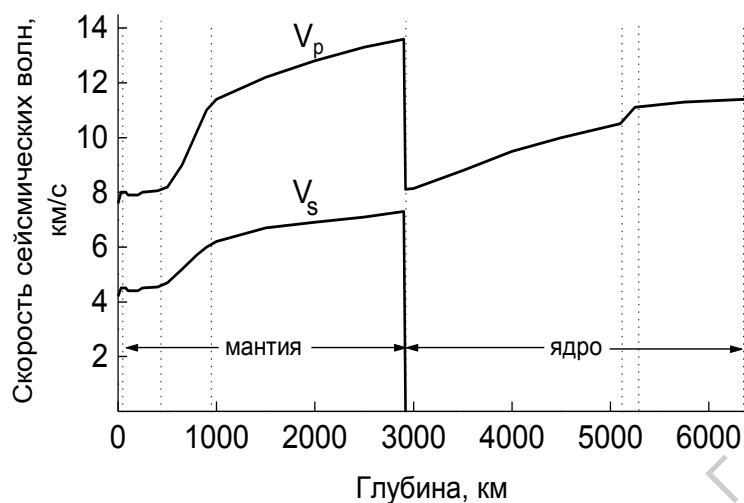


Рис. 1. Распределение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн внутри Земли

Ниже земной коры начинается мантия Земли. По характеру кривых скоростей сейсмических волн мантия может быть разделена на три части: верхняя — до 400 км (скорости сейсмических волн растут слабо или даже убывают), переходный слой — 400–900 км (быстрое увеличение скоростей) и нижняя — 900–2900 км (плавное постепенное увеличение скоростей сейсмических волн). Мантия играет очень важную роль в жизни и развитии Земли. Согласно современным представлениям, земная кора, непосредственно взаимодействующая с живыми организмами и являющаяся составным элементом биосферы, представляет собой продукт выделения вещества из мантии Земли в результате выноса вверх наиболее легких и легкоплавких компонентов. В мантии же располагаются очаги крупных землетрясений. Верхние слои мантии, так же как и кора, состоят из силикатов и алюмосиликатов, различающихся по составу и форме кристаллической решетки в зависимости от условий по давлению и температуре. Нижняя мантия, по-видимому, содержит ещё и смеси окислов железа, магния, кремния и др.

Вопрос о составе внутренних слоев Земли решается на основе сопоставления физических параметров слоя с аналогичными характеристиками различных горных пород, которые получены в опытах с высокими давлениями и температурами, моделирующими условия на разных глубинах. Определенную информацию дает также анализ горных пород, выбрасываемых при извержениях вулканов, а также исследования состава метеоритов.

Как уже отмечалось, часть Земного шара, расположенная глубже 2900 км, называется ядром. Оно также разделяется на три слоя: внешнее — до глубины 5100 км (постепенное увеличение скорости продольных сейсмических волн), переходную зону толщиной 100–200 км (скачок скорости) и внутреннее ядро (волны ускоряются медленно), которое занимает центральную часть планеты.

Важными свойствами вещества ядра являются большая плотность и высокая металлическая электропроводность. Полагают, что ядро состоит в основном из железа (что подтверждается фактом существования железных метеоритов), находящегося во внешнем ядре в расплавленном состоянии. Во внутреннем ядре вещество вновь становится твердым, так как его температура оказывается недостаточной для плавления при очень больших давлениях, характерных для этой части Земли.

Представления о распределении плотности и давления внутри нашей планеты стали складываться только после появления сейсмических данных, показавших наличие нескольких оболочек с разными свойствами. Определение Г. Кавендишем значения гравитационной постоянной, входящей в уравнение закона всемирного тяготения, позволило найти массу и среднюю плотность Земли. Последняя оказалась значительно больше плотности горных пород (гранит – $2,8 \text{ г/см}^3$, базальт – 3 г/см^3) и, следовательно, с глубиной плотность Земли должна увеличиваться. Эти представления опираются на знание значений скоростей распространения сейсмических волн на разных глубинах, поскольку скорости зависят от плотности вещества. В настоящее время установлено, что с увеличением глубины плотность в мантии постепенно растет, причем, наиболее быстро в переходном слое. На границе с ядром плотность скачком увеличивается почти в два раза (с $5,5$ до 10 г/см^3). В ядре она монотонно возрастает, но имеется небольшой скачок между внешним и внутренним ядром, что свидетельствует об изменении фазового состояния или состава вещества ядра на глубине $5100\text{--}5200 \text{ км}$. В центре ядра плотность оценивается величиной $12,5\text{--}13,5 \text{ г/см}^3$.

Зная размеры различных оболочек Земли и плотность их вещества, можно определить давление внутри Земли. Оно постепенно повышается и на границе с ядром достигает $1,5 \text{ млн.}$, а в центре Земли – $3\text{--}4 \text{ млн.}$ атмосфер.

Одной из наиболее сложных проблем внутреннего строения Земли является выяснение характера изменения температуры в зависимости от глубины. В настоящее время наука не располагает методами непосредственного её измерения. Тепловой режим поверхности Земли определяется двумя потоками тепла, идущими от Солнца и из недр Земли. Первый из них в несколько тысяч раз превышает второй. Однако вследствие низкой теплопроводности земного вещества лишь малая часть солнечной энергии проникает внутрь Земли, причем, на глубину, не превышающую нескольких десятков метров. Мощность теплового потока, излучаемого Землей, оценивают величиной порядка 10^{21} Дж/год . Возникает вопрос об источнике этой энергии. Внутреннее разогревание Земли могло происходить в результате неупругих соударений твердых частиц в период формирования планеты, когда часть кинетической энергии переходила в тепловую, а также вследствие сжатия её вещества под тяжестью выше расположенных слоев. Разогрев мог происходить и в последующие эпохи, например, вследствие продолжающегося до сих пор процесса дифференциации её вещества по удельному весу. Однако, согласно современным представлениям, наибольший вклад в тепловой баланс вносит энергия, выделяющаяся при распаде радиоак-

тивных элементов, входящих в состав вещества Земли. Первым на это указал еще в 1906 г. Дж. Рэлей.

Измерения показывают, что в верхних слоях Земли температура увеличивается с глубиной на 15–20° на каждый километр. Оценка температуры при более значительном удалении от поверхности Земли достаточно сложна и вопрос о температуре земных глубин относится к числу наименее изученных. При его решении прежде всего находят возможные пределы для температуры на разных глубинах. При этом учитывается факт прохождения поперечных сейсмических волн через всю толщу коры и мантии, указывающий на то, что температура этих слоев меньше температуры плавления вещества. Полагают, что на глубине порядка 100 км температура мантии равна примерно 1200 °С. Затем она растет с глубиной, принимая промежуточные значения между температурой плавления вещества мантии при соответствующих данной глубине давлениях и температурой, обусловленной его адиабатическим сжатием под тяжестью вышележащих слоев. Если считать, что ядро состоит в основном из железа, находящегося в жидком состоянии во внешнем ядре, и в твердом состоянии во внутреннем ядре, то температура во внешнем ядре должна быть выше, а во внутреннем – ниже температуры плавления железа. Таким образом, температура в ядре изменяется незначительно, что согласуется с представлениями о его металлической природе и, следовательно, высокой теплопроводности. В центре Земли температура достигает примерно 5000 °С.

Радиоактивные элементы входят в состав горных пород, а также внутренних оболочек Земли. Концентрация таких элементов относительно мала. Причем, распределение радиоактивных элементов по геосферам Земли изменялось на разных этапах её развития. В настоящее время процесс гравитационной дифференциации вещества в недрах продолжается, что приводит к изменению содержания радиоактивных изотопов во внешней оболочке планеты и радиационного фона Земли, который влияет на жизнь населяющих её организмов. На Земле постоянно происходит смена видов организмов. К числу факторов, влияющих на этот процесс, относят и изменение радиационного фона, приводящего к мутагенезу, то есть возникновению в организмах наследственных изменений в результате нарушений и перестроек в хромосомах и генах. За последние 600 млн. лет (с начала заселения материков) можно выделить 20 мутагенных эпох, которые повторяются с периодичностью примерно 30 млн. лет. Их возникновение связывают с интенсивным рифтогенезом, то есть поступлением на поверхность Земли через рифтовые зоны срединно-океанических хребтов вещества мантии. Под воздействием этих магматических расплавов, обогащенных токсическими и радиоактивными элементами, происходили скачки в развитии органического мира – исчезали одни виды и появлялись другие. Нарушение равномерного хода эволюционного процесса вызывалось различными земными и космическими факторами. В частности, предполагают, что активный рифтогенез мог быть результатом падения на Землю крупных астероидных тел. Увеличение частоты падения метеоритов (судя по периодичности кратерообразования на Луне) совпадало по времени с мутагенными эпохами на Земле и также происходило с периодом примерно в 30 млн. лет.

Таким образом, условия развития жизни на Земле находятся в теснейшей зависимости от её внутренних процессов, а также от внешнего воздействия на планету.

Возраст Земли. Вхождение радиоактивных изотопов в кристаллическую решетку многих минералов и горных пород позволило решить вопрос об их возрасте, а в конечном счете и возрасте Земли (4,5 миллиарда лет). Радиоактивность, то есть самопроизвольное превращение ядер одних элементов в другие, сопровождаемое испусканием альфа- или бета-частиц и гамма-излучением, представляет собой внутриядерный процесс. В отличие от химических реакций, на него не оказывают никакого воздействия вид химического соединения (в состав которого входят атомы радиоактивного элемента), его агрегатное состояние, давление, температура, электрические и магнитные поля, то есть внешние условия, в которых протекает этот процесс. Это позволяет использовать радиоактивный распад в качестве своеобразного счетчика времени.

Количество ядер радиоактивного элемента уменьшается во времени по экспоненциальному закону. С целью установления возраста горных пород или минералов изучают распад долгоживущих радиоактивных элементов и, прежде всего, изотопов урана ${}_{92}\text{U}^{238}$ и ${}_{92}\text{U}^{235}$, период полураспада которых равен $4,5 \cdot 10^9$ и $7,1 \cdot 10^8$ лет соответственно. Однако продукты их распада сами оказались радиоактивными и с различной скоростью участвуют в последующих реакциях распада вплоть до образования устойчивых изотопов свинца ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ (из ${}_{92}\text{U}^{238}$) и ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ (из ${}_{92}\text{U}^{235}$). Например, в случае распада U^{238} образованию изотопа свинца предшествует 8 реакций альфа- и 6 реакций бета-распада. Но наиболее медленным, лимитирующим скорость реакции в целом является превращение урана в реакции альфа-распада.

Начальная концентрация радиоактивного изотопа обычно не известна, поэтому определение возраста исследуемых образцов ведется путем подсчета количества сохранившихся исходных (материнских) радиоактивных изотопов и образовавшихся (дочерних) стабильных продуктов их распада. При этом методы радиохронологии могут быть применены, если исследуемый объект является замкнутой системой, то есть за длительную геологическую историю из него не мигрировали начальные радиоактивные изотопы и конечные продукты распада.

Для определения возраста Земли прибегают также к изучению метеоритов. Предполагается, что они образовались из того же газопылевого облака, что и Земля, и в то же время. Первичная дифференциация вещества на Земле и вещества метеоритов была одинаковой, так как формирование всей планетной системы происходило одновременно и по общим законам. Проведенные измерения в железных метеоритах позволили определить изотопный состав первичного свинца, так как содержание тяжелых радиоактивных элементов (например, урана) в них (как и в ядре Земли) очень мало. Распад урана, содержащегося в каменных метеоритах, приводит к появлению радиогенного свинца. По отношению радиогенного свинца к первичному можно судить о возрасте Земли.

Магнитное поле Земли. Предположение о существовании у Земли металлизированного ядра объясняет происхождение её магнитного поля. Современное

менные теории геомагнетизма основаны на гипотезе так называемого динамо-эффекта, выдвинутой академиком Я.И. Френкелем в 1947 г. В жидком металлическом ядре под влиянием тепла, выделяющегося при распаде содержащихся в нем радиоактивных элементов (например, K^{40}), или вследствие некоторых гравитационных процессов, возникают конвекционные течения вещества, которые можно рассматривать как проводники, движущиеся в слабых магнитных полях. В этих проводниках возникают индукционные токи, которые создают свои поля, усиливающие процесс. Таким образом, возникает механизм, подобный динамо-машине, работающей на самовозбуждении. Различные конвективные ячейки создают магнитные поля, имеющие разные знаки. Суммируясь, они в результате дают не очень сильное поле Земли. Магнитные поля наблюдаются у многих космических объектов. Они обнаружены у Солнца, звезд, облаков плазмы, перемещающихся в космическом пространстве, большинства планет Солнечной системы.

В первом приближении магнитное поле Земли можно рассматривать как поле постоянного магнита, помещенного почти в центре Земли, ось которого составляет угол $11,5^\circ$ с осью вращения Земли. Именно с этим связано несовпадение географического и магнитного полюсов (магнитное склонение, открытое Х. Колумбом в 1492 г.).

Магнитное поле Земли играет очень важную роль в жизни нашей планеты, защищая её поверхность и все живое на ней от потоков заряженных частиц (протоны, электроны) с высокой энергией, идущих от Солнца («солнечный ветер») и из космоса. Солнечный ветер представляет собой истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство. На уровне орбиты Земли скорость частиц оценивается в 400 км/с, а число частиц – несколько десятков в 1 см^3 . Геомагнитное поле является также ориентиром для морской, воздушной и спутниковой навигации.

Всю область околоземного пространства, заполненную заряженными частицами, движущимися в магнитном поле Земли, называют **магнитосферой**. Под действием солнечного ветра магнитосфера принимает каплевидную форму: со стороны, обращенной к Солнцу, она сжата и простирается до расстояния в 60–90 тысяч километров от Земли, а на противоположной стороне – сильно вытянута, образуя магнитный хвост длиной в несколько миллионов километров. При увеличении активности Солнца и усилении солнечного ветра магнитосфера уплотняется и магнитное поле Земли претерпевает кратковременные возмущения – магнитные бури. Заряженные частицы, проникая в магнитосферу, концентрируются в отдельных её областях, называемых радиационными поясами. При этом существует внешний электронный пояс, удаленный от планеты на 20–30 тысяч километров, и внутренний протонный. Протоны, обладающие большей массой, энергией, проникают ближе к Земле (3–5 тыс. км).

Проведенные исследования показали, что геомагнитное поле изменяется в пространстве и во времени. Так в Северном полушарии магнитный полюс за сутки перемещается на 20,5 м или на 7,5 км в год. В настоящее время он располагается на севере Канады, а к концу двадцать второго века должен совместиться с Северным географическим полюсом и склонение будет равно нулю.

Изменение положения полюсов объясняют, с одной стороны, изменением самого поля, а с другой стороны – дрейфом континентов, а также перемещением земной коры и верхних слоев мантии относительно внутренних частей Земли.

Об изменениях геомагнитного поля можно судить на основании исследований магнитных свойств горных пород, обладающих «магнитной памятью» о древнем геомагнитном поле, в котором они образовались. Свойство горных пород, содержащих ферромагнитные материалы, намагничиваться в период своего формирования под действием магнитного поля Земли и сохранять приобретенную намагниченность при остывании до температуры ниже точки Кюри (для железа ~ 750 °С) называется **палеомагнетизмом**. Исследования показали, что изменялось не только местоположение магнитных полюсов, но и знак магнитного поля в прошлом неоднократно менялся на обратный. На это указывает противоположная намагниченность горных пород разного возраста. В период **инверсии** поля исчезает магнитный экран, защищающий Землю от потока заряженных частиц. Космическое излучение, доходя до поверхности Земли, воздействует на живые организмы и приводит к их мутации, что обуславливает скачкообразный характер развития органического мира на планете. При этом возможны также и климатические изменения, так как при убывании поля усиливается проникновение космической радиации в атмосферу, меняется её состав (вследствие ядерных превращений) и прозрачность атмосферы. Изменение полярности геомагнитного поля происходило через интервалы времени от нескольких тысячелетий до миллионов лет. За последние 600 млн. лет насчитывается более тысячи инверсий. Полагают, что они сыграли важную роль и в формировании человека.

Исходя из современного характера спада напряженности ГМП, можно ожидать, что она достигнет нулевого значения примерно через 1200 лет и полярность изменится на противоположную. Промежуток времени между последней и наступающей новой инверсией тогда составит примерно 6 тыс. лет.

2.3. Эволюция Земли и её биосферы

Основные представления о процессах развития Земли. За миллиарды лет своего существования Земля и её биосфера прошли сложный путь развития, прежде чем приобрести современные свойства, строение и состав. Одной из дискуссионных проблем, касающейся внутреннего строения Земли, является вопрос о механизме формирования земной коры.

К началу XX века господствующей была гипотеза **контракции** или постепенного сжатия Земли. Она базировалась на представлениях о первоначально сильно разогретой, расплавленной Земле, в которой произошла дифференциация вещества по удельному весу: возникло тяжелое железное ядро, менее плотная оболочка – мантия и самая легкая часть сконцентрировалась сверху в виде земной коры. Кора остыла и затвердела первой. При дальнейшем остывании происходило сжатие планеты, кора становилась слишком большой для уменьшающегося объема Земли. Она сморщивалась, сжималась в складки, которые образовали горы. Однако эта гипотеза находится в противоречии со многими современными данными о строении Земли. Кроме того, неверны исход-

ные положения гипотезы, так как в настоящее время общепризнанно, что Земля не проходила через стадию всеобщего расплава. Скорее она постепенно разогревается под влиянием радиогенного тепла и кора становится мала для расширяющихся недр, вследствие чего она разрывается, а не сминается (**гипотеза расширяющейся Земли**). Согласно другим представлениям, кора растягивается в одних местах и сжимается в других из-за наличия систем конвекционных потоков (**гипотеза конвекции**). Образование различных типов коры некоторые авторы связывают с неравномерностью разогрева земных недр (например, вследствие различий в содержании радиоактивных элементов). В наиболее разогретых частях мантии происходило выплавление легкоплавкой и малоплотной части, которая поднималась вверх, образуя континентальную кору. На ранних этапах развития Земли могли существовать в значительных количествах короткоживущие изотопы, вызывающие подобный процесс, который прекратился после их распада. Такой механизм формирования коры предполагает, что океаническая кора является первичной, а возраст континентальной коры должен быть меньше, чем океанической, хотя проведенные исследования свидетельствуют об обратном.

Научные концепции, объясняющие развитие земной коры за счет вертикальных перемещений в мантии, объединяют под названием **фиксизма**. В науках о Земле долгое время существовал психологический барьер очевидности того, что все геологические структуры (континенты, океаны, острова) всегда находились на поверхности Земли в строго фиксированном положении, а сколько-нибудь значительные горизонтальные перемещения геологических структур – исключались. Однако в начале XX века стал развиваться и **мобилизм**, признающий приоритетное значение горизонтальных движений земной коры и вещества мантии. Одним из первых идеи мобилизма выдвинул немецкий геофизик А. Вегенер, выступивший в 1912 г. с гипотезой **дрейфа континентов**, которые некогда (более 200 млн. лет назад) образовывали единый суперконтинент Пангею. Затем он раскололся с образованием Лавразии (на севере) и Гондваны (на юге). Этот процесс продолжался и в последующие эпохи. Около 135 млн. лет назад Африка отделилась от Южной Америки, а около 85 млн. лет – Европа от Северной Америки. В пользу такой гипотезы говорит удивительное сходство очертаний западных и восточных береговых линий Атлантического океана, однотипность геологического строения смежных материков (например, единство гранитных массивов Бразилии и Африки), общность древней фауны и флоры. Оледенение, которое было на земле 300 млн. лет назад, захватывало столь разные области, что объяснение этого явления встречает большие сложности. То же можно сказать и о положении магнитных полюсов Земли в прошлые эпохи: по палеомагнитным данным, полученным на разных континентах, они не совпадают друг с другом. Но все встает на свои места, если сблизить континенты. Гипотеза пережила большую популярность в 20–30-е годы и утратила ее к середине XX века, т.к. в те годы был неясен механизм, приводящий в движение материи.

Идеи мобилизма начали возрождаться на новой основе в 60-х годах после открытия подводных хребтов, протянувшихся по осевым зонам океанов (средин-

но-океанические хребты). По гребням этих хребтов располагаются глубокие трещины растяжения – рифтовые зоны, через которые на поверхность Земли поступает мантийное вещество. Рифты соединены друг с другом в единую общепланетарную систему. Возраст дна океанов оказался сравнительно небольшим (150–160 млн. лет) и увеличивается по мере удаления от срединно-океанических хребтов, тогда как средний возраст самих континентов обычно превышает 2–3 млрд. лет. Вновь поступающее мантийное вещество оттесняет ранее выделившееся. В результате происходит раздвигание (спрединг) океанского дна в стороны от хребтов. По гипотезе спрединга расширение океанского дна обусловлено конвективными потоками вещества в верхней мантии, горячее вещество которой выносится наружу в местах расположения рифтов. За 200–300 млн. лет все раздвигающееся океанское дно обновляется, а прежние породы погружаются в мантию в так называемых зонах субдукции (океанские желоба, расположенные вблизи островных дуг). В этих областях происходит погружение океанской литосферы, которая вначале уходит под островную дугу, а затем дальше под континент. По-видимому, именно этот процесс вызывает дрейф континентов. Например, Северная Америка и Европа постепенно удаляются друг от друга по мере того, как между ними образуется новая океаническая кора. Напротив, Америка постепенно сближается с Евразией со скоростью 2–4 см в год за счет сокращения Тихого океана и он должен исчезнуть примерно через 300 млн. лет. Теоретическая концепция, которая рассматривает и объясняет эти перемещения получила название концепции **тектоники литосферных плит** (*тектоника* – строительство, архитектура).

В результате сжатия континентальной коры сходящимися плитами возникают молодые складчатые горы. Горообразование объясняется тем, что континентальная кора имеет малую плотность и поэтому при столкновении плит не может опуститься в мантию. При боковых перемещениях соседних плит возникают поперечные сдвиги (трансформные разломы). Там, где блоки океанской и континентальной коры воздействуют друг на друга, возникают сейсмически активные континентальные окраины. Гипотеза тектоники литосферных плит была наиболее популярна в конце XX века, но тем не менее, не приобрела статус общепризнанной теории, т.к. и ей не удается объяснить некоторые геофизические явления.

Геологическая периодизация развития Земли. В истории нашей планеты можно выделить догеологический этап, который продолжался около 200 млн. лет примерно в период с $4,7 \cdot 10^9$ до $4,5 \cdot 10^9$ лет назад. Он называется катархейским (наиболее древний). А геологическая история Земли как уже сформировавшегося космического тела делится еще на два неравных этапа (табл. 1). Наиболее древний из них, охватывающий около 85 % времени существования нашей планеты, называется докембрием. Такое название он получил, так как предшествует первому (кембрийскому) периоду последующего мегаэтапа, который называется фанерозоем (явная жизнь) и охватывает последние 570 млн. лет. Докембрий подразделяется на две эры: архейскую (первоначальная, древняя эра) и протерозойскую (наиболее ранняя жизнь). Фанерозой делится на три

эры: палеозойскую (древняя жизнь), мезозойскую (средняя жизнь) и кайнозойскую (новая жизнь), каждая из которых делится на несколько периодов.

Таблица 1

Основные этапы эволюции Земли

Эон	Эра	Период	Начало (млн. лет назад)
Катархей			4700
Докембрий	Архейская		4500
	Протерозойская	Нижний	2600
		Верхний (рифей)	1650
Фанерозой	Палеозойская	Кембрийский	570
		Ордовикский	500
		Силурийский	440
		Девонский	410
		Каменноугольный	355
		Пермский	285
	Мезозойская	Триасовый	230
		Юрский	195
		Меловой	140
	Кайнозойская	Палеогеновый	65
		Неогеновый	25
Антропогеновый		1,5	

На первом, катархейском этапе, Земля была сравнительно холодной и тектонически пассивной планетой. В эту эпоху она лишь постепенно прогревалась за счет распада радиоактивных элементов, рассеивания приливной энергии, гравитационной дифференциации её вещества. Дегазация Земли в катархее почти не происходила. Поэтому земная атмосфера была крайне разреженной и состояла в основном из инертных газов, так как все химически активные газы сорбировались её пористым грунтом и постепенно захоранивались в земных недрах. Гидросфера в этот период вовсе отсутствовала.

Выделение водяных паров и других атмосферных газов началось лишь через 600 млн. лет после образования Земли. В архее она уже оказалась окутанной плотной атмосферой, состоящей из эндогенных газов (оксидов углерода, аммиака, метана, водорода, водяного пара), вызывавших сильный парниковый эффект, вследствие чего имели место значительно более теплые климатические условия. Но все же постепенно происходила конденсация водяных паров и появились первые мелководные изолированные морские бассейны, а уже к концу архея сформировался единый, хотя еще и неглубокий Мировой океан. Появление на Земле воды в жидком состоянии имело очень важные последствия. Оно способствовало растворению в ней парниковых газов, в частности, связыванию углекислого газа в карбонатах. В результате уже в самом начале раннего проте-

розоя (около 2,5–2,4 млрд. лет назад) содержание CO_2 значительно снизилось и средняя приземная температура упала.

Чрезвычайно сложным является вопрос о происхождении жизни на Земле, который занимал умы человечества на протяжении многих тысячелетий. Еще со времен Аристотеля (4 век до н. э.) многие выдающиеся мыслители, такие как Декарт, Галилей, Гегель, допускали возможность постоянного самопроизвольного зарождения жизни. После опровержения этой идеи (в частности, и благодаря работам известного французского ученого Луи Пастера, доказавшего, что жизнь в условиях современной Земли может возникнуть только из живого) выдвигался еще ряд гипотез. Была выдвинута идея вечности жизни, которая вообще снимала с повестки дня проблему её возникновения на Земле. Другие (С. Аррениус) придерживались концепции панспермии, полагая, что жизнь была занесена на Землю из космоса. Современные представления о происхождении жизни основываются на получивших широкое признание работах А.И. Опарина, английских естествоиспытателей Дж. Холдейна, Дж. Бернала и др., согласно которым возникновение жизни на Земле подготовлено длительным процессом эволюции материи в течение сотен миллионов лет. И сама возможность абиогенеза, то есть возникновения жизни из неживого, обусловлена специфическими абиотическими условиями, существовавшими на древней Земле.

Первоначальная атмосфера почти не содержала кислорода (не более 0,1 % от современного количества). Отсутствие кислорода, а следовательно, и образующегося из него озона, сыграло очень важную роль в дальнейшей судьбе планеты. В этих условиях ультрафиолетовое излучение легко проникало сквозь атмосферу, что создавало благоприятные условия для протекания фотохимических реакций и образования из растворенных в воде газов таких органических веществ, как аминокислоты, азотистые основания и т.п., то есть тех самых веществ, молекулы которых входят в состав белков, нуклеиновых кислот и других главных составных частей живой материи. Причем, благодаря отсутствию кислорода не происходило окисления органических молекул до углекислого газа и воды, а происходило разложение их на отдельные фрагменты, которые служили исходным материалом для синтеза более сложных веществ. Они постепенно накапливались в отдельных наиболее благоприятных местах, что привело к образованию более или менее устойчивых сгущений или **коацерватов**, которые считаются первичными предбиологическими системами. Коацерваты имели некоторую границу раздела с окружающим раствором. Постепенно они приобрели способность к делению и самовоспроизведению, а затем и к избирательному поглощению нужных им веществ из окружающего раствора и выделению ненужных, что знаменует собой начало обмена веществ. Считают, что с возникновением этих процессов окончилась предыстория развития жизни, которую называют химической эволюцией, и коацерватная капля превратилась в простейший организм. В середине XX века был экспериментально осуществлен абиогенный синтез белковоподобных органических веществ в условиях, воспроизводящих условия первобытной Земли. Древнейшие остатки живых организмов найдены в слоях литосферы, образовавшихся около 3,5 млрд. лет назад.

Первыми видами живых организмов были, вероятно, гетеротрофные анаэробные бактерии, не содержащие ядра (прокариоты), у которых обмен веществ происходил без участия кислорода. Около 3,4 млрд. лет назад появились автотрофные организмы (известны хемо- и фотоавтотрофы). Важнейшим результатом деятельности фотоавтотрофов стало накопление кислорода в атмосфере, сопровождаемое поглощением из неё углекислого газа. Однако увеличение содержания кислорода в воздухе долгое время сдерживалось наличием в мантии свободного железа, которое выносилось из рифтовых зон срединно-океанических хребтов и разносилось по всему океану. Микроводоросли окисляли его, используя кислород, а продукты окисления железа отлагались по акваториям океана, особенно на мелководьях. В геологической летописи Земли этот период (около 2 млрд. лет назад) четко выделяется отложениями железорудных формаций криворожского типа, когда сформировалось более 90 % всех запасов железных руд мира. Только с исчезновением из мантии свободного железа, являвшегося до этого мощнейшим поглотителем кислорода, последний стал в заметных количествах накапливаться в атмосфере. Это привело к возникновению в атмосфере на высоте 20–30 км области с повышенной концентрацией озона, в который превращался молекулярный кислород при поглощении им жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Озоновый слой защитил поверхность Земли от биологически активной солнечной радиации, что позволило живым организмам выйти из вод океана на сушу. Развитие наземной растительности значительно ускорило эволюцию биосферы. Все увеличивающееся содержание кислорода в атмосфере способствовало окислению аммиака до азота и воды. Так постепенно создавалась азотно-кислородная атмосфера Земли. Но большая часть кислорода, выделившегося в результате фотосинтеза за всю историю планеты, не осталась в атмосфере, а была захоронена в литосфере в виде карбонатов, сульфатов, оксидов железа и других веществ. Захоронению подвергся и углерод, что снизило содержание углекислого газа в атмосфере. Продукцией биохимической деятельности живых организмов стали залежи угля, нефти и других горючих полезных ископаемых.

В начале палеозойской эры произошло быстрое расселение организмов с твердым скелетом, ранее не встречающихся. Появились рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, насекомые. Расцвет пресмыкающихся, крупных рептилий (динозавров) относится к началу мезозойской эры (триасовый период). Тогда же появились первые млекопитающие. Динозавры вымерли в конце мелового периода. Дальнейшее развитие жизнь на Земле получила в кайнозойской эре. Растительный и животный миры постепенно становятся близкими к современным.

В начале четвертичного периода наблюдалось резкое изменение климата, характеризующееся общим похолоданием и периодическим возникновением в средних широтах обширных материковых оледенений (плейстоцен). После окончания последнего из них началась современная послеледниковая эпоха, называемая голоценом. Четвертичный период называется еще антропогеновым периодом, поскольку в его начале на Земле появились первые люди.

На протяжении последних нескольких миллионов лет химический состав атмосферы практически не изменяется. Это можно объяснить тем, что он регулируется биологическими процессами, происходящими в направлении оптимизации условий развития биосферы.

В завершение темы следует еще раз обратить внимание на уникальность нашей планеты. Её развитие в решающей мере было предопределено как местом Земли в Солнечной системе, так и её массой, спецификой химического состава. Земля, Солнце, Луна образуют оптимальную, тонко сбалансированную систему, обеспечивающую условия для возникновения и развития жизни. При этом надо учитывать, что даже сравнительно небольшие отклонения от равновесных значений основных параметров Солнечной системы или химического состава Земли могли привести к необратимым и катастрофическим последствиям для земной жизни. В частности, при существовании таких отклонений наша планета еще в архее могла превратиться в «горячую» планету типа Венеры, или наоборот, замерзнуть в раннем протерозое. При несколько других соотношениях железа и его окислов в протопланетном веществе могли возникнуть ситуации, при которых в атмосфере Земли вообще не появилось бы заметного количества кислорода, либо наоборот, его избыток уже сегодня привел к появлению все той же «горячей» атмосферы венерианского типа.

2.4. Характеристика основных геосфер и процессов биосферы

Ранее отмечалось, что в состав биосферы, кроме всех живых организмов, входят (полностью или частично) такие геосферы, как атмосфера, гидросфера и литосфера. Условия развития жизни на Земле определяются их строением и свойствами.

Состав и строение атмосферы. Внешняя воздушная оболочка Земли представляет собой смесь многих газов, вращающихся вместе с планетой, толщиной около тысячи километров и массой $5,15 \cdot 10^{15}$ тонн. Атмосфера не имеет четкой верхней границы и плавно переходит в космическое пространство. Она защищает биосферу от космической радиации и метеорных тел, регулирует климат Земли, её тепловой баланс, способствует круговороту веществ. Воздух – среда обитания животного и растительного мира. Благодаря содержащемуся в нем кислороду, воздух участвует как химический реагент в природных и антропогенных процессах окисления (горение, дыхание). Из атмосферного воздуха получают кислород, азот, инертные газы. Его используют как хладагент, тепло-, электро- и звукоизоляционный материал. Движущиеся воздушные массы – источник энергии.

Ранее отмечалось, что атмосфера Земли, как и сама планета, прошла длительный путь развития, при этом значительно изменялся её газовый состав. Но на протяжении последних нескольких миллионов лет он остается практически постоянным. У поверхности Земли средний химический состав сухого атмосферного воздуха (без учета водяных паров) следующий: азот – 78,1, кислород – 20,9, аргон – 0,93, углекислый газ – 0,035, неон – 0,0018, гелий – 0,0005, криптон – 0,0001, водород – 0,00005 об. %. Кроме того, в атмосфере содержатся незначительные примеси озона, метана, оксида углерода, аммиака, серово-

дорода, оксида азота и некоторых других газов. В нижних частях атмосферы всегда присутствует водяной пар, количество которого зависит от времени года, широты местности, состояния погоды, удаления от поверхности Земли и многих других факторов. Его содержание варьируется от 3 % в тропиках до $2 \cdot 10^{-5}$ % в Антарктиде. Следует отметить, что состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия поддерживаемого деятельностью автотрофных и гетеротрофных организмов, а также различными геохимическими процессами. Постоянного по составу воздуха не существует, т.к. происходит непрерывный обмен между живыми организмами, гидросферой и глубокими слоями литосферы (вулканическая деятельность). Тем не менее средний состав воздуха над планетой остается более или менее стабильным.

Плотность воздуха с высотой резко уменьшается (у поверхности Земли 1 куб. м воздуха имеет массу 1200 г, на высоте 20 км – 43 г и на высоте 40 км – 4 г).

Активная жизнь в атмосфере распространяется примерно до 6 км, то есть до уровня вечных льдов. На высотах, больших 6 км, жизнь некоторых организмов продолжается, но ограничивается с высотой в связи с увеличением интенсивности ультрафиолетовой радиации, наиболее жесткую часть которой поглощает озоновый слой Земли. Выше озонового слоя Земли (более 20 км) живые существа погибают.

Некоторые свойства атмосферы резко изменяются на определенных высотах, что позволяет говорить о её слоистом строении. Причем, принято выделять различные системы слоев в зависимости от того, изменение каких параметров атмосферы является основанием для этого.

Если в качестве характеристики взять газовый состав, то можно выделить два слоя: **гомосферу** (до высоты примерно 90–100 км) и **гетеросферу** (выше). В гомосфере процентное соотношение основных газов (за исключением водяного пара, озона) постоянное, что обусловлено их интенсивным перемешиванием. В гетеросфере под воздействием ультрафиолетовой радиации молекулы газов диссоциируют на ионы и радикалы, которые благодаря своей активности участвуют в различных химических реакциях, приводя к образованию новых соединений и к изменению химического состава этого слоя. Выше 100 км растет доля легких газов, а на очень больших высотах преобладают гелий и водород

Если в качестве характеристики взять температуру и проследить за ее изменением с высотой, то в атмосфере можно выделить пять слоев (рис. 2).

В самой нижней части атмосферы, называемой **тропосферой**, где сосредоточено около 80 % всей массы атмосферы, в том числе почти весь водяной пар и основная масса загрязнений, происходит понижение температуры с увеличением расстояния от Земли в среднем на шесть градусов на каждый километр. Это объясняется тем, что воздух в тропосфере нагревается, в основном, от поверхности Земли, и в верхней части тропосферы он охлаждается примерно до -50 °С. Неравномерность нагревания атмосферы способствует её общей циркуляции, которая влияет на погоду и климат Земли.

Выше тропосферы находится **стратосфера**, а между ними расположен переходный слой – тропопауза, на протяжении которой температура не изменя-

ется. Уровень тропопаузы зависит от широты местности, так что различают тропическую тропопаузу (на высоте 15–18 км), тропопаузу средних широт (10–12 км) и полярную (8–10 км). Стратосфера имеет протяженность около 40 км, то есть расположена до высоты 50–55 км от поверхности Земли. Она, в свою очередь, делится на нижнюю (изотермическая область) и верхнюю (область инверсии). Начиная с высоты 20–25 км, температура стратосферы возрастает и достигает положительных значений (0–10 °С) на уровне следующего переходного слоя – стратопаузы. Такое повышение температуры связано с поглощением солнечной ультрафиолетовой и инфракрасной радиации озоновым слоем.

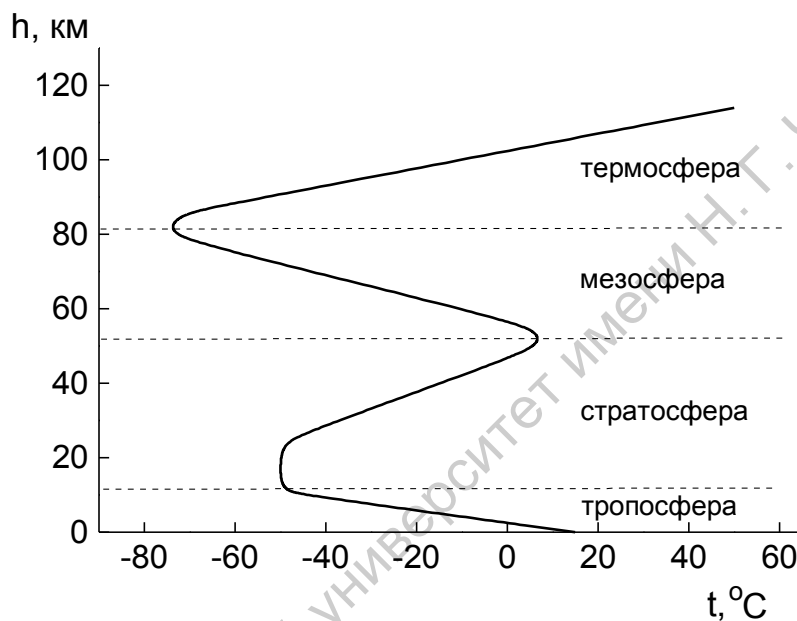


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры атмосферы

С дальнейшим удалением от Земли количество озона уменьшается и температура вновь снижается. На высоте примерно 80 км достигается абсолютный минимум температуры, которая достигает значений минус 70–80 градусов, или даже ниже. Слой, следующий за стратосферой, называется **мезосферой**.

С высоты 85–90 км начинается **термосфера**, где температура вновь увеличивается с высотой, достигая 500 °С на высоте 200 км и более 1000 °С на высоте 500–600 км.. На высоте свыше 800 км расположена **экзосфера**. Температура здесь 1200–1500 °С. Высокие температуры верхней термосферы и экзосферы обусловлены большими скоростями частиц газов, двигающихся в условиях сильного разрежения. В экзосфере эти скорости столь велики, что частицы постепенно уходят из сферы земного притяжения в межпланетное пространство.

На высотах, соответствующих термосфере, газы находятся в ионизированном состоянии, поэтому эту часть атмосферы называют **ионосферой**. Газы в ионосфере находятся преимущественно в атомарном состоянии, а под действием солнечного излучения происходит отщепление электронов от нейтральных атомов и молекул, которые становятся положительно заряженными. Свободные

электроны, присоединяясь к нейтральным атомам или молекулам, наделяют их отрицательным зарядом, превращая в анионы. Ионизация разных газов происходит на различных высотах, в связи с чем в ионосфере выделяют еще подслои, обозначаемые буквами латинского алфавита. Способность ионизированных слоев верхней атмосферы отражать радиоволны используется для осуществления дальней радиосвязи.

Все параметры атмосферы (температура, давление, плотность, состав) обладают значительной пространственно-временной изменчивостью. Поэтому приведенные здесь количественные данные отражают лишь некое среднее состояние атмосферы.

Гидросфера Земли. Вода – самое распространенное вещество на Земле. Гидросфера включает в себя воду мирового океана, поверхностные, грунтовые и подземные воды, ледники, воду, содержащуюся в атмосфере, а также входящую в состав живых организмов. Её общая масса составляет $1,44 \cdot 10^{18}$ тонн ($1,44$ млрд. км³), т.е. более чем по 200 млн. тонн на каждого жителя планеты. Вода покрывает 71 % поверхности Земли и средняя толщина слоя воды в океане – 4 км. Не смотря на это кажущееся изобилие воды, все чаще говорят о её нехватки, о кризисе водных ресурсов. Одна из причин этого заключается в том, что более 97 % воды сосредоточено в Мировом океане, то есть это вода соленая. Между тем человек как организм и как организатор производства нуждается, в основном, в пресной воде, на долю которой приходится всего лишь $2,7$ % от общего её содержания. Соленость воды обусловлена растворенностью в ней различных солей: карбонатов, сульфатов, хлоридов. Их средняя концентрация в открытом океане составляет 35 г/л, и эта величина изменяется в довольно широких пределах, особенно в окраинных и внутренних морях, воды которых разбавляются поверхностным пресным стоком. Например, в Черном море концентрация солей около 19 г/л, в Балтийском – 20 г/л. Пресные воды также содержат растворенные в них соли, но в значительно меньшем количестве (≤ 1 г/л). Основная часть пресной воды (около 70 %) – это ледники Арктики, Антарктики, Гренландии. Ещё почти 30 % – это пресные подземные воды. А на долю поверхностных пресных вод суши (реки, озера, болота) приходится лишь около $0,3$ % от общего количества пресной воды. К тому же эта вода распределена неравномерно по поверхности Земли (имеются районы с избыточной увлажненностью и пустынные безводные области) и она интенсивно загрязняется человеческой деятельностью. Поэтому полагают, что доступны и пригодны к использованию лишь $0,003$ % от общего количества воды на Земле.

Вода уникальное вещество, имеющее в жидкой фазе более высокую плотность по сравнению с твердой фазой, вследствие чего лед плавает по поверхности водоемов, которые благодаря этому не промерзают до дна, сохраняя условия для существования в них жизни (максимальную плотность вода имеет при температуре 4 °С). Под влиянием солнечного излучения вода движется в бесконечном гидрологическом цикле: из океана в атмосферу, из атмосферы в океан и на сушу, затем снова в океан. Вода очень хороший растворитель, в том числе и для атмосферных газов (кислород, углекислый газ). В воде соотношение кислорода к азоту составляет $1:2$, так что содержание кислорода в воде дос-

тигает 35% от общего количества остальных газов. Доля углекислого газа также выше, чем в воздухе. Именно обилие кислорода, углекислого газа и минеральных солей является основой развития жизни в воде.

Роль воды в биосфере трудно переоценить. Океан – регулятор климата (поглощает и отдает тепло), а также состава атмосферы. Вода участвует в круговороте, и растворяясь в ней, в круговороты включаются многие другие вещества. Вода исходное вещество процесса фотосинтеза, осуществляемого зелеными растениями. Она входит в состав всех живых организмов, где на её долю приходится 50–99 % их массы. Например, тело взрослого человека примерно на 65 % состоит из воды. В молодом возрасте эта величина больше, к старости снижается. Потеря 10–15 % воды приводит к гибели многие организмы.

Значение воды для человека особенно велико. Она используется в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в быту, применяется как сырье (получение кислорода, водорода), растворитель, хладагент, теплоноситель, источник энергии (гидроэнергетика), для орошения и т.д. Причем, во всех этих случаях используется в основном пресная вода. С начала XX века потребление воды в промышленности выросло в 20 раз, в сельском хозяйстве – в 6 раз. Тем не менее, именно сельское хозяйство пока остается основным потребителем воды. Принято различать **водопользование** (т.е. потребление воды без её изъятия из источника) – гидроэнергетика, водный транспорт, рыболовство, отдых на воде, и **водопотребление**. Причем, существует полное водопотребление (т.е. изъятие воды и её частичное возвращение со сточными и дренажными водами) и безвозвратное водопотребление (когда вода не возвращается в данный водоем, а входит в состав продукции, испаряется или перебрасывается в другие водоемы). По оценкам ООН на рубеже веков общий водозабор составлял около 3,5 тыс. км³ в год, в то время как полный годовой поверхностный сток оценивается в 35–40 тыс. км³. То есть уже сейчас человечество забирает около 10 % годового поверхностного стока и значительных резервов для дальнейшего увеличения потребления воды уже не остается. Между тем, производство любой продукции возможно только при потреблении значительных количеств воды, существенно превышающих объемы производимой продукции. Например, в энергетике при получении 1 млн. кВт мощности расходуется 1–3 км³ воды. На 1 тонну добываемой нефти необходимо 16–18 тонн воды, синтетического волокна – 500 тонн. Такие высокие нормы потребления часто обусловлены необходимостью разбавления стоков чистой водой, так как очищать промышленные стоки до такого состояния, чтобы они не наносили ущерба природе, человечество еще не умеет или это экономически не целесообразно. Например, при производстве синтетического волокна кратность разбавления 1:200. В результате на обезвреживание сточных вод затрачивается в 3 раза больше воды, чем на любые другие нужды.

Литосфера (*каменная сфера*) – внешняя твердая оболочка Земли, включающая в себя земную кору и верхнюю часть верхней мантии. Ниже литосферы располагается астеносфера. Вглубь Земли живые организмы проникают на относительно небольшие расстояния (обычно не более нескольких метров), но некоторые бактерии встречаются и на значительно больших глубинах (напри-

мер, до 8 км в нефтяных скважинах). Из общей площади поверхности Земли (510 млн. км²) на долю поверхности суши всех континентов и островов приходится 149 млн. км². Около 30 % этой площади покрыто лесами и на 30 % осуществляется сельскохозяйственное производство. Большая часть поверхности суши покрыта тонким слоем почвы. Почва – это сложное природное тело, которое образовалось в течение тысячелетий под воздействием неорганических веществ, получаемых при разрушении горных пород, и органических веществ, являющихся продуктами жизнедеятельности и разложения растительных и животных организмов. В почве под воздействием микроорганизмов и других почвенных животных создаются запасы углерода, азота, фосфора, калия и других элементов в доступном для питания растений виде. Почва существует не везде. Она отсутствует на суше, занятой ледниками, скалами, барханами, пеплом вулканических извержений и т.д. Наиболее важной и ценной составной частью почвы является слой, содержащий **гумус**, т.е. продукты биохимического превращения растительных и животных остатков. Одним из основных свойств почвы является **плодородие**, которое определяется способностью удовлетворять потребности растений в питательных веществах, воде и воздухе.

Верхний слой литосферы (примерно до 10 км) принято называть **недрами**, которые используются человеком для добычи твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых. Полезные ископаемые можно разделить на три группы: невозобновляемые, возобновляемые в отдаленном будущем и возобновляемые сравнительно быстро.

К первой группе относятся месторождения, возникшие в результате кристаллизации минералов непосредственно из магмы. Полезные ископаемые, из которых получают металлы, в большинстве случаев являются невозобновляемыми.

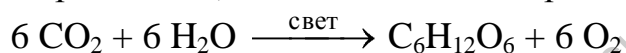
К природным ресурсам, возобновляемым в отдаленном будущем, относятся уголь, нефть, газ и другие горючие ископаемые. Образование в недрах Земли топливных ресурсов обычно связано с развитием биологических форм жизни на её поверхности и с последующим их захоронением в недрах.

К полезным ископаемым, возобновляемым сравнительно быстро, относятся такие минеральные ресурсы, как песок, глина, гравий и др. Их образование обычно связано с физико-химическими процессами, происходящими на земной поверхности.

Фотосинтез и круговорот веществ в природе. Ранее уже отмечалось, что современная биосфера образовалась не сразу, а после долгой эволюции, в результате удачного сочетания космических, геофизических и геохимических факторов. Но главный элемент, сыгравший определяющую роль в создании биосферы, имеет биологическую основу. Это – автотрофные растения, способные осуществлять фотосинтез, то есть использовать солнечную радиацию для синтеза из углекислого газа и воды всех органических веществ, необходимых для жизни. Начало исследованию фотосинтеза было положено работами английского ученого Джозефа Пристли, проведшего в конце XVIII века опыт, описание которого ныне включают во все учебники по экологии, биологии. Опыт заключался в том, что Пристли взял закрывающийся сосуд, с помощью свечи

выжег весь находящийся в нем кислород, поместил туда растение и сосуд закрыл. А через несколько дней обнаружилось, что воздух в этом закрытом сосуде изменился так, что свеча вновь могла гореть в этой атмосфере, которая оказалась пригодной и для дыхания. Пристли проверил это, посадив туда мышь. И тогда он понял, почему, не смотря на множество процессов, протекающих с потреблением кислорода и выделением углекислого газа (дыхание животных, горение бесчисленного множества огней), газовый состав атмосферы сохраняется постоянным. Очищение и «облагораживание» атмосферного воздуха осуществляют растения. Позднее голландский врач Ян Ингенхауз пришел к выводу, что воздух «исправляется» только на солнечном свете и только зелеными частями растений. А уже во второй половине XIX века К.А. Тимирязев показал, что энергия солнечного света вовлекается в цепь фотосинтетических превращений благодаря наличию у растений зеленого пигмента – **хлорофилла** (*зеленый и лист*).

Процесс фотосинтеза заключается в расщеплении светом некоторого донора водорода и переносе водорода на акцептор с выделением свободного окислителя. В качестве акцептора выступает углекислый газ CO_2 , а роль донора водорода могут играть различные водородсодержащие молекулы: органические и неорганические. Наибольшее распространение получил процесс, идущий в зеленых растениях, где в качестве донора выступают молекулы воды:



В тридцатые годы XX века американский микробиолог Ван Ниль показал, что синтез органического вещества может осуществляться некоторыми бактериями без выделения кислорода. Источником углерода для них служит двуокись углерода, а водород берется из сероводорода. Такие бактерии получили название сульфобактерий.



Открытие этого процесса сыграло важную роль в понимании механизма процесса фотосинтеза. Стало ясно, что источником кислорода, выделяющегося в процессе фотосинтеза растений, являются молекулы воды, а не углекислого газа, как считалось ранее. Процесс фотосинтеза представляет собой сложную реакцию, одной из стадий которой является фотолиз воды. Молекулы хлорофилла возбуждаются светом с длиной волны 670–680 нм и ускоряют фотолиз воды с выделением свободного кислорода. Скорость этой стадии увеличивается с ростом освещенности, но не зависит от температуры. Она получила название световой стадии. На следующей, темновой стадии (протекает без участия солнечного света) растения поглощают CO_2 и синтезируют на его основе органические вещества с участием веществ, полученных на первой (световой) стадии. Скорость этих превращений не зависит от освещенности, но увеличивается с ростом температуры примерно до 30 °С. Дальнейшее увеличение температуры замедляет процесс.

Этот процесс, возникнув на Земле многие миллионы лет назад, стал мощным геологическим фактором. Весь кислород атмосферы – фотосинтетического происхождения. Растения непрерывно поглощают из атмосферы громадное ко-

личество углекислого газа (350 млрд. т в год) и выделяют кислород (250 млрд. т), при этом они расщепляют 140 млрд. тонн воды и синтезируют около 240 млрд. тонн органического вещества. Между тем, эффективность процесса фотосинтеза весьма низка. Если сопоставить количество энергии, преобразованной в органические вещества хлорофильными растениями, с общим количеством солнечной энергии, поступающей к земной поверхности, то коэффициент полезного действия фотосинтеза оказывается, как правило, менее 1 %. Тем не менее, именно этот казался бы малоэффективный процесс сформировал биосферу такой, какая она есть сегодня и продолжает обеспечивать ей необходимую устойчивость.

Учитывая, что Земля конечное физическое тело и, следовательно, конечны все имеющиеся химические элементы (в чистом виде или в виде соединений), то за миллионы лет они должны были бы полностью перейти из одной формы в другую. Однако этого не происходит. Как отмечал академик В.Р. Вильямс, единственная возможность придать чему-то конечному свойства бесконечного – это вовлечь его в круговорот. Действительно в круговорот через фотосинтез включены все основные элементы. Кроме уже названных, это – миллиарды тонн азота, фосфора и других элементов минерального питания. Существование круговоротов создает возможность для саморегуляции, придает экосистеме устойчивость и постоянство содержания различных элементов.

Различают два основных типа круговоротов: большой (геологический) и малый (биотический). Большой круговорот длится сотни тысяч и миллионы лет и осуществляется без участия живых организмов под влиянием абиотических факторов. Например, горные породы подвергаются разрушению, выветриванию, а продукты сносятся поверхностными водами в Мировой океан, где они образуют осадочные породы. Но геотектонические изменения, процессы опускания материков и поднятия морского дна, перемещения морей и океанов в течение длительного времени приводят к тому, что эти осадочные породы оказываются на поверхности суши и процесс начинается вновь.

Малый круговорот происходит на уровне экосистем и заключается в том, что питательные вещества, вода, углерод аккумулируются растениями, расходуются на построение их тела и на жизненные процессы как самих этих растений (продуцентов), так и животных, которые поедают эти растения (консументы). Продукты распада органического вещества под действием редуцентов-деструкторов вновь разлагаются до неорганических компонентов в формах доступных растениям и вновь вовлекаются ими в круговороты. Таким образом, движущей силой биотических круговоротов являются сами живые организмы.

Круговорот химических веществ из неорганической среды через растительные и животные организмы обратно в неорганическую среду с использованием солнечной энергии и энергии химических реакций носит название **биогеохимического цикла**. В такие циклы вовлечены практически все химические элементы и прежде всего те, которые участвуют в построении живой клетки: углерод, кислород, азот, фосфор и др. Например, тело человека состоит на 62,8 % из кислорода, 19,4 % углерода, 9,3 % водорода, 5,1 % азота и еще из около 30

химических элементов. Изучение круговоротов веществ в биосфере является одной из основных задач экологии.

Круговорот углерода. В природе соединения углерода существуют в двух преобладающих формах: в виде карбонатов, известняков биогенного происхождения, которые составляют отложения в некоторых зонах литосферы, а также в виде углекислого газа, содержащегося в воздухе и в растворенном виде в океане, где его почти в 50 раз больше, чем в атмосфере. В круговороте углерода определяющую роль играет углекислый газ. Несмотря на его малое содержание в атмосфере (0,04 %), круговорот углерода является самым интенсивным из всех биогеохимических циклов. В форме CO_2 углерод участвует в фотосинтезе и через него в образовании органического вещества, формировании и развитии пищевых цепей. В качестве побочного продукта этой реакции образуется кислород, поступающий в атмосферу. В результате минерализации органическое вещество превращается в карбонаты, которые могут также возникнуть и неорганическим путем при взаимодействии углекислоты с растворенными в воде ионами кальция. Захоронение органического вещества в литосфере в форме самого органического вещества приводит к возникновению ископаемого топлива. В кислородной атмосфере карбонаты постепенно разрушаются с образованием воды и углекислого газа. Наряду с реакцией фотосинтеза, существуют обратные процессы, когда из органического вещества и кислорода образуется двуокись углерода и выделяется энергия. Обобщенно эти процессы можно назвать дыханием (окислением). Они сопровождаются разрушением органических молекул, взаимодействием кислорода с водородом, отщепленным от органических молекул, и образованием воды. Кроме того, человек сжигает органическое топливо и высвобождает аккумулированную в нем солнечную энергию, приводя к выделению углекислого газа. В результате возникает так называемый биотехнический круговорот углерода.

Основная масса углерода аккумулирована в карбонатных отложениях дна океана ($1,3 \cdot 10^{16}$ т), в кристаллических породах (10^{16} т), в каменном угле и нефти ($0,35 \cdot 10^{16}$ т). Именно этот углерод принимает участие в медленном геологическом круговороте (в большом цикле). Жизнь на Земле и газовый баланс атмосферы поддерживается относительно небольшим количеством углерода, участвующего в малом круговороте и содержащегося в растительных тканях ($5 \cdot 10^{11}$ т) и тканях животных ($5 \cdot 10^9$ т).

Круговорот кислорода. В количественном соотношении кислород – главная составляющая живой материи. Как уже отмечалось, тело человека состоит более, чем на 60 % из кислорода. Он является основным среди химических элементов и при рассмотрении биосферы в целом (~50 %). Круговорот кислорода очень осложнен его способностью образовывать многочисленные химические соединения, представленные в различных формах. В результате возникает множество локальных циклов. Атмосферный кислород и кислород, содержащийся в многочисленных поверхностных минералах (осадочные кальциты, железные руды), имеет биогенное происхождение, т.к. в первичной атмосфере кислород отсутствовал. Огромные отложения окислов железа свидетельствуют о большой активности древних автотрофных микроорганизмов. Приня-

то считать, что эти организмы, способные к фотосинтезу, образовывали оксиды железа, окисляя имеющийся в гидросфере ион железа, чтобы избавиться от кислорода, который был побочным продуктом их жизнедеятельности и, более того, токсичным отходом. Кислород, начиная с определенной концентрации, очень токсичен для клеток и тканей даже у аэробных организмов.

Если учитывать только основные процессы, в которых участвует кислород, то его круговорот можно рассматривать как обратный круговороту углерода (углекислого газа). В основном он происходит между атмосферой и живыми организмами.

Потребление атмосферного кислорода и его возмещение растениями в процессе фотосинтеза осуществляется довольно быстро. Подсчитано, что для полного обновления всего атмосферного кислорода требуется около 2000 лет. Что касается атмосферного углекислого газа, то его возобновление происходит всего за 300 лет. Основная часть кислорода, выработанного в течение геологических эпох, не оставалась в атмосфере, а фиксировалась литосферой в виде карбонатов, сульфатов, окислов и т.д. Эта масса составляет $5,9 \cdot 10^{16}$ тонн против $0,1 \cdot 10^{16}$ тонн кислорода, циркулирующего в биосфере в виде газа.

Круговорот азота. Это один из самых сложных и одновременно самых идеальных круговоротов. Сложность определяется тем, что почти каждая стадия круговорота азота протекает только при участии специфичных для этой стадии живых организмов, а его идеальность определяется высокой степенью замкнутости. Азот составляет почти 80 % атмосферного воздуха. Однако в большинстве случаев он не может быть непосредственно использован растениями, которые не усваивают газообразный азот. Он предварительно должен быть переведен в форму солей азотной кислоты (нитраты). Этот процесс получил название фиксации азота. Основную роль в нем играют бактериофиксаторы, живущие на корневой системе растений семейства бобовых (горох, фасоль, клевер, люцерна и др.) Каждому виду этих растений присущи свои особые бактерии, которые превращают азот в нитраты. Кроме того, образование нитратов неорганическим путем постоянно происходит в атмосфере под действием электрических разрядов во время гроз, вызывающих образование окислов азота, которые с дождем попадают в почву. Но это явление играет лишь второстепенную роль по сравнению с деятельностью микроорганизмов (клубеньковых бактерий). В процессе биологического цикла нитраты становятся составной частью белков, нуклеиновых кислот и др. затем образуются отходы в виде отмерших организмов, являющихся объектом жизнедеятельности других бактерий и грибов с образованием аммиака. Существуют организмы, способные превращать аммиак в нитриты, затем в нитраты (нитрифицирующие бактерии) и в газообразный азот. Такая биологическая активность дополняется промышленными способами получения азотсодержащих органических и неорганических веществ. Они применяются в качестве удобрений для повышения продуктивности и роста растений.

Круговорот фосфора. Фосфор – один из наиболее важных биогенных элементов. Он является одной из основных составляющих живого вещества, в котором содержится в довольно большом количестве (~ 1 %). Фосфор входит в

состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, костной ткани и др. Круговорот фосфора, как и других биогенных элементов совершается по большому и малому циклам и связан с жизнедеятельностью организмов. Доступные запасы фосфора сосредоточены в литосфере. Основными источниками неорганического фосфора являются изверженные породы (например, апатиты) и осадочные породы (например, фосфориты). Фосфор – редкий элемент в биосфере. В земной коре его содержание не превышает 0,1 %, что является основным фактором, лимитирующим продуктивность экосистем.

Неорганический фосфор из пород земной коры вовлекается в циркуляцию континентальными водами. Он поглощается растениями, которые при его участии синтезируют различные органические соединения и таким образом включаются в трофические цепи. Затем органические фосфаты вместе с трупами, отходами и выделениями живых существ возвращаются в землю, где снова подвергаются воздействию микроорганизмов и превращаются в минеральные формы, которые могут употреблять зеленые растения.

В экосистемы океана фосфор приносится континентальными водами. Реки обогащают океаны фосфатами, что способствует развитию фитопланктона и других живых организмов. Причем, если в наземных экосистемах круговорот фосфора происходит в оптимальных условиях с минимумом потерь, то в океане дело обстоит иначе. Это связано с постоянным оседанием (седиментацией) органических веществ и, в частности, обогащенных фосфором трупов рыб, фрагменты которых, не использованные в пищу деструкторами, накапливаются на дне морей. Органический фосфор, осевший на небольшой глубине, может быть возвращен в круговорот, но этого не происходит с отложениями на дне глубоководных зон, которые занимают около 85 % общей площади океанов. Фосфаты, отложенные на больших морских глубинах, как бы выбывают из малого круговорота. Однако тектонические процессы способствуют подъему к поверхности осадочных пород, накопленных на дне. Но замкнутый цикл осадочных элементов имеет продолжительность, измеряемую геологическими периодами, т.е. десятками и сотнями миллионов лет.

Рассматривая круговорот фосфора за сравнительно короткий период, можно отметить, что он полностью не замкнут. К тому же человек усиливает эту естественную тенденцию, внося в обрабатываемые земли удобрения, богатые фосфором, которые частично смываются в океаны.

Запасы фосфора на Земле малы. Поэтому считают, что фосфор является основным фактором, лимитирующим рост первичной продукции биосферы. Полагают даже, что фосфор – главный регулятор всех других биогеохимических циклов, это наиболее слабое звено в жизненной цепи, обеспечивающей существование человека.

2.5. Воздействие человека на природную среду в процессе производства. Факторы деградации биосферы

До относительно недавнего времени (по масштабам истории Земли) ни одно из многочисленных существ на нашей планете никогда и ничем не угрожало сбалансированности и способности к саморегуляции биосферы. Но с по-

явлением человека возник самый страшный опустошитель из доселе известных миру. Возраст наиболее древних ископаемых останков человекообразных около полутора миллионов лет. Однако процесс эволюции длился еще более одного миллиона лет, прежде чем численность наших далеких предков достигла такого уровня, что они смогли взять верх в конкурентной борьбе с другими млекопитающими и начать оказывать разрушительное воздействие на биоценозы. Человек – это единственное существо, воздействие которого на биосферу представляет собой потенциальную угрозу равновесию в природе. По мере развития умственных способностей, человек совершенствовал методы эксплуатации природы, одновременно он приобрел ряд парадоксальных, психологически пагубных привычек, как правило, не свойственных другим животным. Эти привычки, а также жадность, легкомыслие привели к разрушению среды обитания.

Первым техническим завоеванием человечества был огонь. До овладения огнем человек жил с экологической точки зрения в гармонии с природой. Влияние его на окружающую среду было весьма ограниченным. Людей на Земле было мало и они являлись составной частью экосистемы и одним из многочисленных элементов биоценоза, участвующих, как и все другие виды, в круговороте веществ и распределении приходящей энергии. Но получив в руки огонь, люди начали разрушительное наступление на окружающую среду, непропорциональное их относительной малочисленности. Неумелое использование огня вызывало катастрофические пожары, которые уничтожили первоначальный растительный покров в различных районах земного шара. Позднее случайные пожары сменились сознательным выжиганием лесов для создания полей и пастбищ. Но люди не только разрушали на больших площадях растительные сообщества. С помощью огня, комбинируя различные способы охоты, они также весьма чувствительно обедняли видовой и численный состав животных. Палеонтологи полагают, что первобытные люди сыграли не последнюю роль в исчезновении многих животных (мамонты, древние бизоны и др.), населявших Землю в тот период.

С возникновением сельского хозяйства воздействие человека на биосферу увеличилось. Происходило полное искоренение растительного покрова на обширных площадях. Человек также начал приручать ограниченное число видов животных, уничтожая виды-конкуренты. В результате произошло значительное увеличение массы пищи, производимой на единице поверхности. Это позволило перейти к оседлому образу жизни, способствовало увеличению плотности населения, образованию первых поселений. Однако неумелое использование земли, разрушение естественного растительного покрова часто приводило к превращению территорий, отведенных под культурные растения или пастбища, в настоящие пустыни. Так песчаные пустыни на территории Ирака, Палестины простираются ныне там, где 8–10 тысяч лет назад процветала сельскохозяйственная цивилизация.

Тем не менее, экосистема человека в аграрной цивилизации все же, как правило, вписывалась в системы естественных экологических процессов. Она имела своих продуцентов-производителей (дикорастущие и культурные растения), которыми человек питался непосредственно, или косвенно через консу-

ментов (скот, дичь и т.п.). Экосистема снабжала человека большинством применяемых материалов (лес, растительное волокно). Человек был основным потребителем этой экосистемы, в которой также развивалось и довольно большое число других животных. Вся продукция, потребляемая человеком, трансформировалась в биodeградирующие отбросы, разрушаемые третьей категорией организмов биоценоза – деструкторами-редуцентами, которые разрушали отбросы и осуществляли их минерализацию в неорганические вещества в форму, доступную к использованию растениями в процессе фотосинтеза. Таким образом, происходило самоочищение вод и земель и круговорот веществ и химических элементов в экосистеме не нарушался.

Потребляемая человеком энергия складывалась из химической энергии, получаемой в процессе обмена веществ при питании (около 4 тыс. ккал в сутки на одного человека), и примерно такого же количества энергии, которую человек использовал в виде тепловой (сжигание дров) и механической энергии (использование тягловой силы животных). Количество потребляемой человеком энергии было весьма ограниченным (10–12 тыс. ккал/сутки). К концу средних веков оно выросло всего в два раза. Таким образом, экосистема человека при аграрной цивилизации имела высокий уровень саморегуляции. Несмотря на изменения в экосистеме, которые неизбежно влечет за собой развитие земледелия, деятельность человека в сельскохозяйственном обществе все же вписывалась в биогеохимический круговорот.

По иному стали складываться взаимоотношения человека и природы в промышленно развитом обществе, когда возникли факторы, влияющие на способность экосистем к саморегуляции и приводящие к нарушению естественного равновесия в природе. К числу таких факторов деградации биосферы можно отнести следующие:

- Уменьшение разнообразия естественной среды. Разнообразие биоценозов в средах, эксплуатируемых человеком, сокращается. На больших пространствах разводятся технические монокультуры, разрушаются последние остатки дикорастущей растительности, уничтожаются леса и болота. Дикие животные почти полностью вытеснены из так называемых развитых районов земного шара. История развития биосферы убедительно свидетельствует о том, что при любом воздействии на биосферу (природном или антропогенном) её гомеостаз обеспечивается за счет сохранения биологического разнообразия. Современные благоприятные для развития жизни условия на Земле возникли в значительной степени в результате взаимодействия биоты и неживой природы. Биотическая регуляция окружающей среды является природным механизмом обеспечения и сохранения таких условий. Между тем, биологическое разнообразие уменьшается, причем, не только вследствие прямого воздействия человека на живую природу, но и изменения абиотических экологических факторов, в частности, в результате загрязнения человеком окружающей среды, которое является наиболее значительным негативным последствием научно-технического прогресса (См. также раздел 2.5).

- Нарушение круговоротов веществ, которое происходит вследствие загрязнения окружающей среды. Деятельность деструкторов – микроорганизмов

в воде и почве, призванных минерализовать отходы человека, все чаще затормаживается различными токсичными загрязняющими веществами. К тому же, в процессе промышленного производства образуется большое количество веществ, которые вообще невозможно разложить биологическим путем. Эти вещества накапливаются в атмосфере, гидросфере и почве, нарушая деятельность большинства экосистем. К естественным элементам, циркулирующим между различными средами биосферы, человек добавил значительное количество искусственно созданных. Например, все возрастающее использование ископаемого топлива уже вызвало глубокие изменения круговорота углерода и серы, нарушило, хотя и в меньшей степени, круговорот азота.

- Возрастание объема и изменение характера потребляемой энергии. Основные потребители энергии – развитые страны. Например, США, имеющие около 4% населения земного шара, используют почти треть добытой во всем мире энергии. В среднем на каждого жителя промышленно развитых стран в сутки приходится по 300 тыс. ккал. Эта энергия получается главным образом за счет ископаемого топлива. Из пищи человек получает часть энергии – солнечную энергию, трансформированную в процессе фотосинтеза. А все дополнительное количество поступает при использовании солнечной энергии, накопленной в течение сотен тысяч лет ископаемыми растениями в виде нефти, каменного угля. Именно благодаря использованию таких концентрированных запасов энергии человек смог существенно повысить эффективность своей деятельности. Мировое потребление энергии возрастает настолько быстро, что уже сейчас встает вопрос об исчерпании запасов нефти и природного газа.

- Еще одной важнейшей проблемой, имеющей непосредственное отношение к воздействию человека на биосферу, является увеличение численности населения земного шара. За XX век оно выросло в 4 раза. Таких темпов прироста в прошлом человечество не знало. Быстрый рост населения на планете в целом, наряду с развитием промышленности, является еще одним фактором деградации биосферы.

Таким образом, человек, осваивая природные ресурсы, активно вмешиваясь в природные взаимосвязи, часто не учитывает возможные последствия и переступает ту грань, когда природа уже не в состоянии восстановить естественное равновесие. Об этом писал Ф. Энгельс в своей работе «Диалектика природы»: «Не будем слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых».

3. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ

3.1. Общие проблемы загрязнения биосферы

Загрязнение природы человеком является в настоящее время одной из наиболее важных экологических проблем. В соответствии с определением, данным в Федеральном законе "Об охране окружающей среды" (январь 2002 г.), под процессом загрязнения окружающей среды понимается поступление в неё вещества и (или) энергии, свойства, местоположение и количество которых оказывают негативное воздействие на живые и неживые системы. Другими словами, загрязнением является любое химическое вещество, физический агент или биологический вид, которые вносятся в окружающую среду или возникают в ней в количествах, отличающихся от средних многолетних норм. Загрязнения подразделяют на природные, вызванные естественными причинами, и антропогенные, возникающие в результате жизнедеятельности человека. Непосредственными объектами загрязнений (акцепторами загрязнений) являются атмосфера, вода, почва. Косвенными объектами (жертвами загрязнений) оказываются составляющие биоценоза – растения, животные, микроорганизмы. С экологических позиций загрязнение окружающей среды представляет собой любое введение в экологическую систему несвойственных ей живых или неживых компонентов или структурных изменений, которые прямо или косвенно меняют вещественно-энергетические и информационные свойства среды, а также её физико-химические и биологические условия, что приводит к снижению продуктивности экосистемы или к её полной деградации. То есть – это комплекс помех в экосистемах. Источники антропогенных загрязнений весьма разнообразны: промышленные, энергетические и сельскохозяйственные предприятия, транспорт, коммунальное хозяйство. Их возникновение обусловлено тем, что человек в процессе своей деятельности создает отходы, которые он и не уничтожает, и не умеет включить в круговорот – основной механизм самоочищения природы.

Существует много критериев, по которым можно проводить классификацию загрязнений биосферы. Эти критерии касаются веществ, вида энергии, природы и источника загрязнений, воздействия на организмы и окружающую их среду и т.д. С точки зрения природы загрязнений они могут быть химическими, физическими, биологическими.

Химическое загрязнение – это изменение естественных химических свойств среды в результате проникновения в неё веществ, отсутствующих в ней при нормальном её состоянии, или в концентрациях отличных от фоновых. Наиболее вредными в экологическом отношении являются газообразные и жидкие углеводороды, хлорированные органические вещества (в том числе диоксины), пестициды, поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы, про-

изводные серы и азота, различные аэрозоли, радиоактивные вещества и некоторые другие.

По характеру воздействия на живые организмы химические загрязнения могут быть разделены на несколько групп:

- общесоматические, вызывающие отравление всего организма (цианистые соединения, ртуть, свинец, мышьяк, оксид углерода, бензол и др.);
- раздражающие, вызывающие раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек (аммиак, хлор, оксиды азота и серы, ацетон, озон ...);
- сенсibiliзирующие, действующие как аллергены (растворители, лаки и краски на основе нитро- и нитрозосоединений, формальдегид и др.);
- канцерогенные, вызывающие развитие злокачественных опухолей (бензапирен, амины, оксиды хрома, асбест и т.п.);
- мутагенные, приводящие к изменению наследственной информации (уран, радий, цезий, свинец, марганец и др.);
- тератогенные, приводящие к повреждению зародыша и возникновению различных аномалий в его развитии (некоторые лекарственные препараты, вирусы).

Физические (энергетические) загрязнения – это изменения энергетических параметров среды по сравнению с фоновыми значениями. Существуют следующие их разновидности:

- тепловое, которое возникает в результате изменения температуры среды в связи с выбросами нагретых газов и воды;
- световое – нарушение в видео среде обитания;
- акустическое – увеличение интенсивности и повторяемости звуковых колебаний сверх природного уровня (шумы, ультразвук, инфразвук, вибрация);
- электромагнитное, которое возникает при изменении электромагнитных свойств среды, начиная от ионизирующего высокочастотного излучения и до низкочастотной области (электромагнитные поля от линий электропередачи, работы локаторов, радио, телевизионных, рентгеновских установок и т.д.);
- радиоактивное, связанное с превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в окружающей среде.

Физические загрязнения (в отличие от химических) часто имеют ограниченную сферу активного действия, которое во многих случаях проявляется лишь в момент их производства.

Биологическое загрязнение – это изменение состава биоценоза и численности популяций в нем вследствие внедрения (или исчезновения) различных видов живых организмов. Наибольшее распространение получило микробиологическое загрязнение, представляющее собой появление аномально большого количества микроорганизмов, связанное с их массовым размножением в антропогенно измененных средах.

Кроме названных, часто выделяют еще **механические загрязнения**, то есть засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий (неагрессивная пыль, шлаки, отвалы), и **загрязнения, наносящие эстетический вред** при нарушении пейзажей, при-

родных памятников в результате геологических изысканий, добычи полезных ископаемых, проведения строительных работ.

Выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду – явление сложное, которое не ограничивается только выливанием отходов в водоемы или выпуском вредных газов в атмосферу. Практически ни одно вещество не остается на том месте, где произошел его выброс. В большинстве случаев загрязняющие вещества переносятся на значительные расстояния и постепенно рассеиваются по всей биосфере. Основную роль в распространении загрязнений играют движения в атмосфере, особенно в её нижних наиболее плотных слоях – тропосфере и стратосфере. Каким бы ни было вещество (органическим или минеральным, жидким или твердым), оно всегда может распространяться в атмосфере в форме газа, пыли, аэрозоля.

Перенос и рассеивание загрязнений в биосфере обусловлены не только абиотическими факторами. Соединения, загрязняющие окружающую среду, могут быть поглощены и живыми организмами. При этом организмы выполняют двойную функцию: с одной стороны, они ускоряют циркуляцию загрязнений, увеличивая площадь зараженных областей, а с другой – накапливают эти вещества в себе, что приводит к увеличению токсикологической опасности. Явление биологического накопления различных природных и искусственных загрязнений свойственно в большей или меньшей степени всем живым организмам. В результате эти вещества включаются в трофические цепи экосистем, участвуют в биотическом круговороте. Причем, накопление токсичных веществ увеличивается на каждом последующем трофическом уровне. Поэтому человек, занимающий по отношению к другим организмам место суперхищника, сталкивается с эффектом бумеранга: загрязняя окружающую среду, он именно на себе в наибольшей степени испытывает негативные последствия таких своих действий.

3.2. Проблемы загрязнения гидросферы, атмосферы, литосферы и почвы

В процессе производственной деятельности человека загрязнению подвергаются все геосферы биосферы. Однако наиболее острой экологической проблемой для россиян в настоящее время является проблема низкого качества потребляемой **воды**, что является одной из основных причин плохого состояния здоровья, широкого распространения многих заболеваний, малой продолжительности жизни. Ранее уже отмечались исключительно высокая роль воды в биосфере и жизни человека и причины возникновения кризиса водных ресурсов, обусловленного в значительной степени её загрязнением. Сотни тысяч тонн различных минеральных, органических, бактериальных загрязнений ежегодно попадают в гидросферу. Это – нефть и нефтепродукты, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), ртуть и другие тяжелые металлы, радиоактивные загрязнения. Значительное негативное воздействие на поверхностные континентальные водоемы оказывают сточные воды предприятий пищевой и кожевенной промышленности, а также животноводческих помещений и с сельскохозяйственных полей. Они вызывают **эвтрофикацию**, т.е.

обогащение рек и озер биогенными элементами, сопровождающееся повышением продуктивности вод, бурным ростом водорослей («цветение» воды), снижением содержания растворенного кислорода, что приводит к замору рыб и других животных.

Используются различные методы преодоления нехватки чистой воды:

- использование подземных вод, ресурсы которых значительно больше, чем поверхностных, к тому же они лучше защищены от загрязнения человеком,
- межбассейновое перераспределение стока (например, строительство в 1937 г. канала Москва–Волга),
- опреснение соленой воды (очень энергоемкий и дорогой способ),
- использование ледников, айсбергов в качестве источника пресной воды,
- совершенствование технологий: переход на оборотное водоснабжение, безводные технологии, в сельском хозяйстве – прикорневой полив,
- очистка сточных вод.

Атмосфера также подвергается загрязнению как от природных, так и антропогенных источников. Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами: вулканическая деятельность, выветривание горных пород, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров, морская пыль, космическая пыль. Основной вклад в антропогенное загрязнение атмосферного воздуха вносят тепловые электростанции, предприятия черной и цветной металлургии, промышленность стройматериалов, химическое производство, выбросы автотранспорта. Причем, во многих крупных городах на долю автотранспорта приходится свыше половины всех выбросов в атмосферу. Главные загрязнители (около 98 % всех выбросов) – это диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO) и твердые частицы. Кроме того, в атмосфере городов зафиксированы еще более 70 наименований вредных веществ, таких как формальдегид, фтористый водород, соединения свинца, аммиак, фенол, бензол, сероуглерод и др.

Добыча полезных ископаемых (органического топлива, руд металлов, строительных материалов) предопределяет все возрастающее воздействие человека на **литосферу** Земли. Происходит нарушение круговоротов веществ, их перераспределение при транспортировке из одного региона в другой. Нарушается равновесное состояние земной коры из-за концентрации дополнительной нагрузки в отдельных районах (строительство городов, крупных промышленных предприятий, подземных сооружений, водохранилищ, извлечение из недр полезных ископаемых), что может быть причиной прогибания земной коры, антропогенных землетрясений. Негативное воздействие оказывают удары, вибрация, статическая нагрузка, повышенные температуры, электрические поля, нарушения гидрологического режима. Нарушается состояние вечномёрзлых грунтов, обостряются карстовые явления, возрастает вероятность оползней, подтоплений.

Негативным следствием антропогенного влияния на **почву** прежде всего является снижение её плодородия. Вследствие выращивания на больших территориях сельскохозяйственных монокультур с последующей уборкой урожая,

снижается видовое разнообразие растительных сообществ, нарушается биотический круговорот веществ, способность почвы к саморегуляции. Даже частичная потеря гумуса, образующегося при разложении органических остатков, не позволяет почве в полной мере выполнять свои экологические функции и она начинает деградировать.

Одним из распространенных следствий антропогенного воздействия на почву является её эрозия – разрушение и снос верхних наиболее плодородных слоев. Различают водную и ветровую эрозию, а также техническую, военную, пастбищную, ирригационную и др.

Поверхностные слои почв легко загрязняются. Основными загрязнителями являются пестициды (ядохимикаты), минеральные удобрения, отходы и отбросы производства, газодымовые выбросы в атмосферу, нефть и нефтепродукты, радиоактивные вещества. Термин пестициды в переводе с латинского означает убивать заразу. Существуют разновидности: гербициды (уничтожают сорняки), дефолианты (провоцируют искусственное опадание листьев растений), зооциды (для уничтожения грызунов, птиц, сорной рыбы), инсектициды (для борьбы с насекомыми), фунгициды (против грибковых заболеваний) и т.д.

Неумеренный полив орошаемых земель приводит в засушливых районах к засолению почв, а в переувлажненных местностях – к заболачиванию.

Одним из глобальных проявлений деградации почв, да и всей окружающей природной среды в целом, является опустынивание, т.е. процесс необратимого изменения почвы и растительности, снижения биологической продуктивности, который приводит к превращению территории в пустыню.

В процессе производства человек отчуждает все большее количество земель для промышленного и коммунального строительства, разработки полезных ископаемых, строительства населенных пунктов, что также влияет на состояние почвенного покрова на данной территории.

3.3. Физические (энергетические) загрязнения окружающей среды

Окружающая среда, наряду с загрязнением веществом (химическое загрязнение), все чаще подвергается загрязнению энергией (физическое загрязнение). Одной из распространенных форм такого загрязнения является **тепловое загрязнение**. Его источниками являются теплоэнергетические и теплообменные установки. Тепловое загрязнение действует на все геосферы биосферы, но в большей степени на атмосферу, изменяя микроклимат, и водные объекты. Сосредоточение источников теплового загрязнения в городах приводит к возникновению городского острова тепла, часто сопровождающегося городским куполом пыли. Возможно установление температурной инверсии в нижних слоях атмосферы, препятствующей циркуляции и самоочищению атмосферы. При сбросе нагретой воды в водные объекты наряду с непосредственным влиянием повышенной температуры на живые организмы (выход за пределы диапазона толерантности, температурный шок), возможны и разнообразные косвенные воздействия. Известно, что повышение температуры воды снижает растворимость в ней атмосферных газов (например, кислорода), в то время как скорости процессов жизнедеятельности и, следовательно, потребность в газах возраста-

ют. Это приводит к ускоренному развитию водной растительности (сине-зеленых водорослей), ускорению эвтрофикации, замору рыбы. Для борьбы с тепловым загрязнением следует развивать теплофикацию, повышать КПД тепловых установок, использовать замкнутые циклы водяного охлаждения (охладительные башни, градирни).

Человек живет в мире **звучков**, которые возникают при колебании упругих тел. Эти колебания передаются упругой среде, в которой они распространяются в виде продольных упругих волн. В отсутствие упругой среды (в вакууме) звук не распространяется. Звуковой анализатор человека (ухо) воспринимает не любые колебания упругой среды, а лишь в диапазоне частот от 16–17 Гц до 20 тысяч Гц. Колебания с частотой менее 16 Гц (инфразвук) и более 20000 Гц (ультразвук) не воспринимаются человеческим ухом, но тоже оказывают влияние на организм человека. Громкость звука, т.е. величина слухового ощущения, зависит от интенсивности звука и его частоты. Интенсивность звука – средняя по времени энергия, которую звуковая волна переносит в единицу времени через единицу площади поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению распространения волны. Громкость или уровень интенсивности звука равна логарифму отношения данной силы звука к интенсивности звука, соответствующей порогу слышимости (10^{-12} Вт/м²) и измеряется в единицах, называемых Бел (Б). На практике обычно используется величина, равная десятой доли бела – децибел (дБ). Такие единицы приняты потому, что слуховой аппарат реагирует не на абсолютный, а на относительный прирост громкости звука. Физиологическое ощущение одинакового прироста громкости возникает при изменении интенсивности звука не на одну и ту же величину, а в одинаковое число раз. Аналогично мы реагируем и на изменение частоты звука. Например, увеличение частоты разных звуков вдвое приводит к ощущению повышения тона на одну и ту же величину – октаву.

Акустические беспорядочные звуковые колебания разной природы, характеризующиеся случайным изменением амплитуды и частоты, называют **шумом**. Часто шумом называют любой нежелательный звук. Загрязнение среды шумом возникает в результате недопустимого превышения естественного уровня звуковых колебаний. В современных условиях шум становится не просто неприятным для слуха, но и приводит к серьезным физиологическим последствиям для человека. Естественные природные звуки на экологическом благополучии человека, как правило, не отражаются. Звуковой дискомфорт создают антропогенные источники шума, которые повышают утомляемость человека, снижают его умственные возможности, понижают производительность труда, вызывают нервные перегрузки, шумовые стрессы. Постоянное пребывание человека в условиях с высоким уровнем шума (>90 дБ) приводит к деградации органов слуха (тугоухость). Уровень шума в 110–120 дБ считается болевым порогом.

Основные источники антропогенного шума в городах – транспорт (автомобильный, рельсовый, воздушный) и промышленные предприятия. Шум неблагоприятно сказывается на организме человека, сокращает продолжительность его жизни. Человек может субъективно не замечать звуки, но от этого их

разрушительное действие не уменьшается. При работе некоторых машин и установок возникает инфразвук. Он может вызывать резонанс в различных внутренних органах, что приводит к болевым ощущениям, нервно-психическим расстройствам, стрессам (ухудшение настроения, появление чувства тревоги, страха).

Борьба с шумом осуществляется с использованием законодательных, конструктивных, стороительно-планировочных, организационных, технологических, профилактических мероприятий (принятие соответствующих законов, создание менее шумных машин, выделение санитарно-защитных зон, расположение жилых районов, озеленение, разработка менее шумных технологий, усовершенствование способов и приемов использования шумного оборудования, применение индивидуальных средств защиты от шума и т.д.).

Одной из распространенных форм физического загрязнения среды является **электромагнитное загрязнение**. Человек не имеет специального органа, который мог бы фиксировать наличие электромагнитных полей, хотя в среде нашего обитания имеется большое количество источников таких полей как природного, так и антропогенного происхождения. В течение миллиардов лет на развитие биосферы оказывает влияние магнитное и электрическое поле Земли, Солнца и других внешних источников, а также поля магнитных аномалий (Курская магнитная аномалия и др.). С каждым годом становится все больше источников искусственных электромагнитных полей. Это – линии электропередачи, электротранспорт, радио- и телепередающие устройства, радиолокационные станции, установки высокочастотного нагрева, бытовые электроприборы, мобильные телефоны. Освоение электромагнитных полей различных диапазонов частот и длин волн явилось одним из важнейших достижений физики XX века. Тем не менее механизм их действия на живые организмы до сих пор достоверно не установлен. Показано, что биологическое действие возрастает с увеличением частоты. При поглощении организмом электромагнитной энергии, по-видимому, возникают колебания ионов и диполей воды, резонансное поглощение энергии белковыми молекулами клетки. В тканях, богатых водой, поглощение происходит наиболее сильно. При высокой интенсивности облучения поглощаемая энергия переходит в тепловую и возникает термический эффект. Наибольшей опасности подвергаются внутренние органы, плохо омываемые кровью и другими жидкостями, в результате чего отвод тепла от них затруднен. Это может приводить к таким последствиям, как изменение структуры клеток, омертвление тканей, кровоизлияния, катаракта хрусталика глаз и т.д. Кроме термического механизма доказано и нетермическое или специфическое действие этих излучений. Наблюдаются изменения функций центральной нервной системы, а также симптомы функционального нарушения ряда внутренних органов, прежде всего системы кровообращения. Наиболее высока чувствительность организмов к многократным воздействиям электромагнитного поля, то есть наблюдается кумулятивный эффект: реакции возникают в результате воздействий, каждое из которых само по себе не вызывает нарушений в организме. Особенно значительные нарушения наблюдаются в период роста и развития организма, поэтому электромагнитные загрязнения наиболее опасны для детей.

Защита от электромагнитного загрязнения, как и от многих других физических загрязнений, осуществляется по принципу «защита временем» и «защита расстоянием». То есть необходимо ограничивать пребывание человека в зоне действия того или иного источника загрязнения, а также находиться от этого источника на возможно большем расстоянии. В связи с этим устанавливают санитарно-защитные зоны вдоль линий электропередач шириной от 15 до 50 метров в зависимости от напряжения ЛЭП. Радиостанции большой мощности размещают вдали от жилой застройки. При использовании мобильных телефонов, также являющихся источниками электромагнитного поля, рекомендуется не подносить аппарат непосредственно к уху, а пользоваться гарнитурой «hands free» (свободные руки) и разговаривать по телефону возможно меньшее время. Эффективным способом защиты является экранирование источников поля или рабочих мест. Экраны могут быть отражающими или поглощающими. Для электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) роль таких экранов могут исполнять деревья, кустарник, строительные конструкции.

Радиоактивное загрязнение биосферы возникает при попадании радиоактивных изотопов в живые организмы и среду их обитания. Оно происходит в результате ядерных взрывов, поступления в окружающую среду радиоактивных отходов, при разработке радиоактивных руд, авариях на атомных предприятиях. Неустойчивые ядра радиоактивных изотопов самопроизвольно превращаются в ядра других химических элементов, что сопровождается испусканием альфа- или бета-частиц (т.е. ядер атома гелия или электронов) и гамма-излучения. Таким образом, радиоактивный распад приводит к возникновению двух типов излучения: корпускулярного и электромагнитного. Эти излучения являются переносчиками больших порций энергии и обладают ионизирующей способностью. Они способны вырывать электроны с внешних орбит встречающихся им на пути атомов. Образующиеся ионы весьма активны химически, способны инициировать протекание ряда химических реакций, в том числе цепных, вызывая серьезные нарушения в живых организмах. Разные излучения характеризуются различной ионизирующей способностью. Она наиболее высокая у α -частиц и низкая у γ -излучения. Радиоактивный распад во времени протекает в соответствие с экспоненциальным законом с характерной для данного изотопа скоростью, которую оценивают величиной константы распада или временем, за которое распадается половина всех ядер (время полураспада). Полное завершение процесса достигается через бесконечно большое время, тогда как время полураспада у разных радиоактивных изотопов варьируется от долей секунды до миллиардов лет. Ранее отмечалось, что внешние условия, в которых протекает данный процесс, не влияют на его скорость. Радиоактивный распад невозможно ни остановить, ни замедлить или ускорить. Поэтому борьба с радиоактивным загрязнением может иметь лишь предупредительный характер. Единственный способ уничтожить радиоактивность (не считая ядерных реакций) – дать веществу самопроизвольно распасться.

В настоящее время известны около 50 естественных и более 200 искусственных радиоактивных изотопов. К действию естественной радиоактивности организмы адаптировались за миллионы лет своей эволюции. Поэтому наи-

большую опасность представляют искусственно созданные человеком радиоактивные изотопы, а также искусственное перераспределение содержания природных радиоактивных веществ по биосфере. Радиоактивные изотопы обладают разной опасностью в зависимости от скорости распада. Кроме случаев взрывов, изотопы с коротким временем полураспада относительно малоопасны, так как высокий уровень создаваемой радиации сохраняется очень короткое время. С другой стороны, вещества с очень большим периодом полураспада испускают в единицу времени очень слабое излучение и тоже малоопасны. Наибольшее негативное воздействие оказывают радиоактивные изотопы, у которых период полураспада изменяется от нескольких недель или месяцев до нескольких лет. К их числу можно отнести изотопы стронция (Sr^{90}) и цезия (Cs^{137}), имеющие период полураспада около 27 лет. К тому же, эти элементы по своим химическим свойствам сходны с кальцием и калием и могут замещать их в костной ткани и мышцах, надолго оставаясь в организме.

Излучения, возникающие при распаде радиоактивных изотопов, характеризуются различной проникающей способностью, которая определяется расстоянием, проходимым в веществе. Причем, ионизирующая и проникающая способности изменяются противоположным образом для разных излучений. Так, α -частицы обладают наибольшей ионизирующей способностью, но наименьшей проникающей способностью. Длина пробега этих частиц в воздухе составляет несколько сантиметров, а в биологической ткани – несколько десятков микрон. От действия α -частиц организм человека защищает кожный покров. Поэтому, если источник α -радиации находится вне организма, то он относительно безопасен, но становится наиболее опасным, попадая внутрь организма. Бета-частицы имеют существенно меньшую ионизирующую способность, но более высокую проникающую способность. Наименьшей ионизирующей способностью и наибольшей проникающей способностью обладают фотонные излучения (рентгеновское и гамма-излучения).

Степень опасности радиоактивного вещества зависит от скорости распада (радиоактивности источника) и энергии испускаемых им излучений. Для характеристики этих величин введены соответствующие физические единицы. Исторически первой единицей радиоактивности является *кюри* (Кю) – излучение 1 грамма радия за 1 секунду. За это время в 1 г радия происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов. Поэтому, $1 \text{ Кю} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ распад/с}$. Эта единица названа в честь супругов Кюри, внесших существенный вклад в исследование процесса радиоактивности. Однако Кю слишком крупная и неудобная для применения единица. Поэтому была предложена другая единица активности – *резерфорд* (R) (в честь английского физика, одного из создателей учения о радиоактивности и строении атома). $1 \text{ R} = 10^6 \text{ распад/с}$. В Международной системе физических единиц СИ за единицу активности взята единица *беккерель* (Бк) (Нобелевский лауреат вместе с П. Кюри 1903 г., открыл естественную радиоактивность солей урана). $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$.

Для оценки степени воздействия излучения на окружающую среду введена единица *рентген* (Р) (названа в честь первого Нобелевского лауреата, открывателя рентгеновского излучения немецкого физика В. Рентгена). *Рентген* – до-

за рентгеновского или γ -излучения, определяемая по ионизирующему действию на воздух. 1Р соответствует излучению, при котором в 1 см^3 сухого воздуха образуются ионы с суммарным зарядом каждого знака в 1 электростатическую единицу ($2,083 \cdot 10^9$ пар ионов). Более универсальной единицей, характеризующей любой вид ионизирующего излучения и оценивающей количество поглощенной энергии в расчете на единицу массы вещества, является *рад*. $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг}$. Количественно *рад* и *рентген* довольно близки. В системе СИ единицей поглощенной дозы является *грей*. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Одинаковые дозы разных излучений оказывают разное воздействие на организмы. Для учета этого используется безразмерный коэффициент качества излучения, характеризующий степень неблагоприятных последствий при облучении разными видами излучения. Для γ - и β -излучений он считается равным единице, а например, для α -частиц – 20. Умножая величину поглощенной дозы на коэффициент качества (относительную биологическую эффективность) излучения, получают величину эквивалентной дозы излучения. Единицей измерения эквивалентной дозы является *бэр* (биологический эквивалент *рада*). Один *бэр* соответствует такому облучению организма, при котором наблюдается тот же биологический эффект, что и при дозе γ -излучения в один *рад*. В системе СИ единицей эквивалентной дозы излучения является *зиверт* (Зиверт Г.Р. – шведский физик) ($1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$).

Все воздействия ионизирующей радиации можно разделить на две группы: соматические и генетические. Первые связаны с влиянием непосредственно на организм, подвергнувшийся облучению. Воздействия второй группы вызывают мутации и могут проявиться через несколько поколений.

Под влиянием ионизирующего излучения в тканях живых организмов протекают сложные биофизические и биохимические процессы. В результате ионизации происходит разрыв молекулярных связей и изменение химической структуры соединений. Существенную роль играют продукты радиолиза воды, составляющей до 70 % массы всей биологической ткани. Под действием ионизирующего излучения образуются свободные радикалы Н и ОН, а в присутствии кислорода еще свободный радикал гидропероксида, являющиеся сильными окислителями. Затем продукты радиолиза вступают в химические реакции с молекулами тканей, образуя соединения, не свойственные здоровому организму. Это приводит как к нарушению отдельных функций организма, так и его жизнедеятельности в целом. При этом эффективность химических реакций, инициированных свободными радикалами, повышается, так как в них вовлекаются сотни и тысячи молекул, не затронутых облучением (цепные реакции). Именно этим обусловлена специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Никакой другой вид энергии (тепловая, электрическая, химическая и т.д.) не приводит к таким изменениям, какие вызывают ионизирующие излучения. Например, при поглощенной дозе 10 Гр (10 Дж/кг) человек может погибнуть, но если то же количество энергии подвести в виде тепла (стакан горячего чая), то организм человека лишь нагреется на $0,001 \text{ }^\circ\text{C}$.

Чувствительность организмов к радиации различна. Она тем больше, чем выше уровень развития организма и чем он сложнее, кроме того, молодые особи более уязвимы, чем взрослые. Негативные последствия облучения имеют особенность постепенно накапливаться, то есть имеет место кумулятивный эффект.

В реальных условиях жизни человек окружен различными источниками ионизирующих излучений. В настоящее время принято, что естественная доза составляет от 50 до 200 миллирад в год.

Разные органы или ткани тела человека имеют разные чувствительности к излучению. Поэтому введено понятие эффективной эквивалентной дозы $D_{эфф}$:

$$D_{эфф} = \sum_i W_i (D_{эkv})_i ,$$

где $(D_{эkv})_i$ – средняя эквивалентная доза в i -ом органе или ткани, а W_i – безразмерный коэффициент, определяющий весовой вклад данного органа или ткани в риск неблагоприятных последствий для организма.

Согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения», с 1 января 2000 г. введены следующие допустимые пределы доз:

- для населения средняя годовая эффективная эквивалентная доза равна 0,001 зиверт (0,1 бэр) или за период жизни (70 лет) – 0,07 зиверт (7 бэр),
- для лиц, постоянно или временно работающих непосредственно с источниками ионизирующих излучений, средняя годовая эффективная эквивалентная доза равна 0,02 зиверт (2 бэр) или за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 зиверт (100 бэр).

Основные методы защиты – **временем, расстоянием, экранированием.**

4. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Все возрастающее воздействие человека на окружающую среду привело к возникновению и обострению целого ряда экологических проблем, некоторые из которых имеют глобальный характер.

4.1. Глобальные последствия загрязнения биосферы

Наиболее значительным негативным последствием научно-технического прогресса является загрязнение окружающей природной среды, и в частности атмосферы Земли. По своим масштабам эти последствия могут иметь локальное, региональное и даже глобальное значение. Современная атмосфера сформировалась в течение миллиардов лет в результате длительного эволюционного процесса, протекающего при участии различных геохимических явлений, а также живых организмов, населяющих Землю, и прежде всего – зеленых растений. Состав современной атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого процессами обмена между атмосферой и живыми организмами, гидросферой, глубокими слоями литосферы. Её загрязнение является результатом изменения концентрации обычных составляющих атмосферы или появления не характерных для неё инородных компонентов под влиянием природных процессов, а также вследствие человеческой деятельности.

Особое значение загрязнения атмосферы обусловлено тем, что, во-первых, она является непосредственным источником поступления загрязняющих веществ в организм человека, так как за сутки он пропускает через легкие около 20 кубических метров воздуха, что значительно больше потребляемого количества воды и пищи. Во-вторых, именно атмосфера Земли является той средой, в которой загрязнения быстро распространяются на огромные расстояния, приводя к загрязнению других элементов биосферы. Причем, через атмосферу осуществляется рассеивание и циркуляция не только газообразных веществ, но и твердых, и жидких – в виде аэрозоля и пыли, а также вследствие испарения. И наконец, важнейшей особенностью загрязнения атмосферы является то, что оно может оказывать глобальное влияние на состояние биосферы в целом, воздействуя на параметры солнечного излучения, достигающего до поверхности Земли, а также отраженного от нее и собственного излучения Земли. Солнечное излучение является основным источником энергии для всех процессов, протекающих в биосфере. Проходя через атмосферу, оно может претерпевать определенную трансформацию, которая зависит от газового состава атмосферы и наличия в ней загрязняющих примесей. Основную роль в глобальном загрязнении биосферы играют два наиболее низко расположенных слоя атмо-

сферы – тропосфера и стратосфера. Они значительно различаются плотностью, характером воздушных течений, турбулентностью, скоростью перемещений воздушных масс. Загрязнения, попадающие в стратосферу, могут оставаться в ней значительно дольше, чем в тропосфере, что увеличивает опасность их негативного влияния.

Экологические проблемы атмосферного озона. Одним из компонентов атмосферы, значительно поглощающим радиацию в УФ и ИК диапазонах солнечного спектра, является трехатомный кислород O_3 , называемый озоном. Он играет исключительно важную роль в атмосферных процессах, несмотря на ничтожно малое количество ($6 \cdot 10^{-5}$ % от массы атмосферы). В тропосфере озон образуется из кислорода при электрических разрядах. Слово «озон» ассоциируется с чистотой, свежестью и ароматом, которые приобретает воздух после летней грозы (в переводе с греческого озон – «пахнущий»). Но благодаря высокой реакционной способности озон быстро вступает в соединения с другими компонентами атмосферы и исчезает.

Наибольшая концентрация озона наблюдается в стратосфере на высоте 15–25 км, где он образует своеобразный слой или озоновый экран, хотя и на этих высотах содержание озона очень незначительно. Образование озона в стратосфере связано с распадом молекул кислорода на два атома под действием солнечного излучения с длиной волны менее 200 нм. Возникающий при этом атомарный кислород взаимодействует с молекулярным, приводя к образованию озона, который сам интенсивно поглощает ультрафиолетовое излучение Солнца в диапазоне длин волн 240–320 нм, вновь превращаясь в кислород. Возможно также каталитическое разложение озона, происходящее под действием некоторых соединений (окислы азота, хлор, водород и др.) с образованием их окислов и молекулярного кислорода. Эти превращения протекают в верхних слоях атмосферы, где всегда присутствует атомарный кислород, в реакции с которым происходит регенерация исходного вещества, способного дезактивировать следующую молекулу озона. Этот цикл разрушения озона может повторяться много раз до тех пор, пока не произойдет его взаимодействие с каким-либо другим веществом, находящимся в атмосфере. Например, одна молекула хлора разрушает до ста тысяч молекул озона, а окись азота – около десяти молекул. Некоторые из катализаторов разложения озона (например, окислы азота) образуются в верхних слоях атмосферы под влиянием космической радиации. Вертикальное распределение озона зависит от множества факторов, в частности, от времени года, широты местности и др.

Ультрафиолетовые лучи обладают высокой биологической активностью. Они убивают бактерии многих видов (включая патогенные), вызывают загар, способствуют образованию в организме человека витамина D, недостаток которого вызывает нарушение минерального обмена, заболевание детей рахитом. Однако полезными оказываются лишь небольшие дозы УФ радиации. В противном случае наблюдается противоположный эффект. Поэтому любое нарушение целостности озонового слоя, ведущее к усилению ультрафиолетового облучения, вызывает беспокойство. Медики отмечают, что это приводит к сни-

жению общего иммунитета, увеличивает число кожных заболеваний, в том числе и рака кожи, наблюдается поражение сетчатки глаз. Возможно резкое увеличение мутаций у растений и животных, снижение продуктивности. Поглощая ультрафиолет, озон стратосферы как бы регулирует биологическую активность Солнца. Он сыграл важную роль в эволюции биосферы, поскольку его защитное действие предопределило заселение континентов живыми организмами. Именно благодаря озону жизнь на Земле оказалась возможной в её современных формах.

Однако деятельность человека может нарушить равновесное распределение озона, в результате чего изменится его концентрация как в высоких, так и низких слоях атмосферы. И то, и другое отрицательно сказывается на живых организмах. Озон приземного слоя воздуха – один из важнейших компонентов окружающей среды. Содержание озона в воздухе тропосферы может значительно возрасти вследствие загрязнения атмосферы. Например, озон является наиболее опасным компонентом фотохимического смога, образующегося в южных городах с интенсивным автомобильным движением. Будучи сильным окислителем, озон разрушает клетки растительных и животных организмов, раздражает дыхательные пути и слизистую оболочку глаз человека. Озон – сильнодействующий яд, обладающий общетоксическими, мутагенными и канцерогенными свойствами. В связи с антимикробным действием он используется для обеззараживания воды и воздуха.

Влияние человека на озон возможно и в стратосфере. Интерес к этой проблеме возрос в связи с обнаружением в конце 70-х и начале 80-х годов так называемых «озоновых дыр» (областей с пониженной концентрацией озона) в атмосфере над Антарктидой. Аналогичные явления, но в меньших масштабах, были обнаружены и над Арктикой, и в средних широтах.

В настоящее время нет четких, достаточно аргументированных представлений о причинах возникновения подобных явлений. Выдвинут целый ряд различных гипотез. Однако в процессах, протекающих в природе, очень сложно выделить естественную и антропогенную составляющие, так же как и оценить часто противоположное влияние различных взаимосвязанных факторов. Существуют гипотезы, объясняющие образование озоновых дыр особенностями циркуляции воздуха. Но более распространены представления, согласно которым это обусловлено химическим взаимодействием озона с какими-либо веществами, находящимися в атмосфере и имеющими природное или антропогенное происхождение: окислы азота, образующиеся в мезосфере и стратосфере особенно в годы повышенной солнечной активности; эндогенные газы, поступающие в атмосферу через рифтовые зоны и при извержении вулканов; продукты ядерных испытаний (особенно в атмосфере), а также работы ракетных и самолетных двигателей, применения азотных удобрений в сельском хозяйстве и развития водородной энергетики. Существует также точка зрения, согласно которой изменение концентрации озона обусловлено протеканием в атмосфере каких-то пока не известных нам циклических процессов.

Однако, согласно заключению Всемирной метеорологической организации, наибольшее воздействие на состояние стратосферного озона оказывают

выбросы фреонов (хлорфторуглеродов), которые широко используются в рефрижераторных установках, кондиционерах, домашних холодильниках, в качестве растворителей, вспенивающих агентов и наполнителей аэрозольных баллонов. В обычных условиях фреоны инертны и устойчивы, что способствует их накоплению в атмосфере. Но, проникая на большие высоты, они под действием жесткого ультрафиолетового излучения, которое обычно не достигает поверхности Земли, разлагаются с образованием атомарного хлора, эффективно разрушающего озон. В зависимости от строения, хлорфторуглероды характеризуются различными потенциалом разрушения озона и временем пребывания в атмосфере. В 1996 г. за установление механизма разрушения озона фреонами группа американских и немецких ученых была удостоена Нобелевской премии по химической экологии.

Некоторые авторы полагают, что уменьшение концентрации озона связано еще и с замедлением процессов его образования, обусловленным, в частности, сокращением хвойных лесов. А деревья хвойных пород вырабатывают смолу, при окислении которой образуется озон.

Сокращение негативного антропогенного влияния на озоновый слой Земли возможно только при условии совместных международных действий. Одно из первых совещаний по озоновому слою состоялось в марте 1977 года в Вашингтоне. В 1985 г. была принята Венская конвенция по охране озонового слоя, а в 1987 г. в Монреале достигнуто международное соглашение (расширенное и дополненное в Лондоне в 1990 г. и в Копенгагене в 1992 г.) о замораживании, а потом и сокращении производства наиболее широко применяемых и опасных хлорфторуглеродов.

Однако, по мнению некоторых ученых, большое внимание к «озоновой проблеме» и четкое выполнение достигнутых договоренностей были обусловлены не только экологической необходимостью её решения, но и экономическими интересами некоторых крупных транснациональных корпораций, производящих хладагенты, вспениватели, средства пожаротушения. Монреальский протокол позволил им осуществить реконструкцию своих предприятий, привлекая средства мирового сообщества, и стать монополистами в области производства менее озоноразрушающих веществ.

Парниковый эффект и изменение климата. Существует тесная связь между загрязнением атмосферы и климатическими факторами, которые во многом определяются тепловым балансом планеты. Малейшее нарушение может привести к диаметрально противоположным экологическим катастрофам – к всемирному оледенению или к не менее опасному резкому потеплению. Причиной нарушения теплового баланса может быть изменение интенсивности солнечной радиации, положения земной поверхности по отношению к Солнцу, а также изменение состава атмосферы. Около 99 % солнечной энергии, подходящей к Земле, сосредоточено в интервале длин волн от 170 до 4000 нм и большинство атмосферных газов прозрачно для солнечной радиации, имея коэффициент поглощения в этой области спектра, практически равный нулю. Но водяной пар и углекислый газ поглощают длинноволновое инфракрасное излу-

чение нагретой земной поверхности и при этом нагреваются сами. Расчеты показывают, что если бы из атмосферы исчез углекислый газ, то средняя температура воздуха около земной поверхности была бы не +14, как сейчас, а -20°C . Углекислый газ и водяной пар создают так называемый «парниковый эффект», то есть играют такую же роль, как стекло парника: поглощая излученное землей тепло, они повышают температуру нижней тропосферы. К парниковым газам относятся и некоторые другие компоненты атмосферы: метан, фреоны, озон, оксиды азота. Общее число парниковых газов, содержание которых в значительной степени определяется антропогенной деятельностью, оценивается в несколько десятков. Парниковый эффект каждого газа зависит от эффективности поглощения его молекулами инфракрасного излучения, концентрации и продолжительности жизни в атмосфере. Наибольший вклад в создание парникового эффекта вносит водяной пар. Однако он (как и любое другое вещество) поглощает не весь спектр излучения, а имеет в ИК диапазоне так называемые «окна прозрачности» при 3000–5000 нм и 8000–12000 нм. Диоксид углерода и некоторые другие парниковые газы дополняют действие водяного пара, поглощая ИК излучение при длинах волн, соответствующих его окнам прозрачности. И здесь основная роль принадлежит CO_2 .

Многие исследователи, начиная с известного шведского ученого Сванте Аррениуса (1896 г.), пытались определить, к каким изменениям климата приведет обогащение атмосферы углекислым газом. Все приходило к выводу о неизбежном повышении температуры, однако при этом наблюдаются большие различия в количественных оценках этого повышения (от $0,5$ до $5,5^{\circ}\text{C}$ при удвоении содержания CO_2). Как правило, такие оценки делаются путем моделирования процессов, протекающих в климатической системе. Эти модели неизбежно являются грубой схематизацией реальности и могут давать неверные, сильно различающиеся прогнозы. Например, по мнению многих специалистов среднегодовая температура к концу 20 века должна была возрасти по сравнению с 70-ми годами на $1-2^{\circ}\text{C}$. Однако реальное зафиксированное потепление за этот период составило $0,35^{\circ}\text{C}$.

Углекислый газ атмосферы участвует в круговоротах, связанных с деятельностью зеленых растений и протекающими в них реакциями фотосинтеза, а также с процессами газообмена литосферы, гидросферы и атмосферы. Миллионы лет основным поставщиком двуоксида углерода в атмосферу были вулканические извержения. Установлена тесная связь между уровнем вулканической активности и количеством углерода в осадочных породах. Концентрация двуоксида углерода в атмосфере в разные периоды истории нашей планеты подвергалась значительным колебаниям. Вполне вероятно, что именно она определяла температурный режим на Земле. Известно, что в истории Земли наблюдались периоды с тропическим климатом и периоды оледенения, которые следовали друг за другом с определенными интервалами. Максимум последнего оледенения был всего 20 тысяч лет тому назад. Затем наступило потепление. Его максимум, известный под названием «голоценового оптимума», был 7–8 тысяч лет тому назад. С тех пор климат на Земле начал становиться все более холодным и сухим. Особенно сильное похолодание было в 14 веке нашей эры.

Указанные циклические процессы происходят на фоне общего затухания вулканической деятельности, которое приводит к сокращению поступления углекислого газа в атмосферу. В результате ранее накопленные его запасы постепенно истощались вследствие растворения в океане и поглощения зелеными растениями. Содержание CO_2 в атмосфере постепенно снижалось и в середине двадцатого столетия стало меньше 0,03%, чего не было никогда за всю геологическую историю Земли. Если современное ослабление дегазации Земли еще не закончилось и концентрация двуокиси углерода будет продолжать падать, то по мнению академиков М.И. Будыко и А.Л. Яншина на Земле возможно очередное оледенение. Однако в настоящее время трудно предвидеть дальнейшее изменение состава атмосферы и климата Земли только под действием природных процессов, поскольку все они в той или иной степени изменяются деятельностью человека. Как еще в начале 20 века отмечал академик В.И. Вернадский, человек сам становится мощной геологической силой, способной активно влиять на окружающую его природу. В.И. Вернадский предупреждал, что сжигание человечеством огромного количества различного топлива должно повлиять на состав атмосферы Земли. Но в то время это предупреждение не было услышано. И только в 60-х годах, когда потребление ископаемого топлива возросло, количественные расчеты М.И. Будыко, показавшие, что состав атмосферы, а следовательно и климат Земли, под влиянием деятельности человека действительно должны измениться, привлекли к себе всеобщее внимание.

Климат – это средний многолетний режим погоды. Поэтому охарактеризовать его можно только на основе постоянных наблюдений в течение десятков лет. Оказалось, что за вторую половину 20 века содержание CO_2 в атмосфере увеличилось на одну треть от своей первоначальной величины (0,028 % в 1956 г. – 0,037 % в 2000 г.), а средняя температура приповерхностного слоя воздуха за то же время возросла на $0,5^\circ\text{C}$. Это значительно больше, чем за любой другой предшествующий период.

Многие современные авторы считают, что в настоящее время основной причиной поступления углекислого газа в атмосферу является сжигание ископаемого топлива с целью получения энергии. Общее количество образующегося при этом углекислого газа становится сравнимым с тем, что раньше давали потухшие ныне вулканы. Тем не менее, концентрация CO_2 в атмосфере растет медленнее, чем это можно было ожидать. Дело в том, что наряду с фотосинтезирующими наземными организмами, огромную роль играет океан, в водах которого растворено почти в сто раз больше CO_2 , чем его содержится в атмосфере. Океан является мощным резервуаром, регулирующим газовый состав атмосферы, однако и его возможности не беспредельны. Это связано со сравнительно медленной диффузией CO_2 из верхних, хорошо перемешивающихся слоев воды, в более глубокие слои. Другой причиной, способствующей накоплению углекислого газа, стала вырубка лесов. А ведь леса – «легкие планеты», являются основным преобразователем углекислого газа в кислород в реакциях фотосинтеза. Огромный ущерб наносят лесные пожары, которые занимают второе место после сжигания топлива как поставщики CO_2 в атмосферу.

Поскольку изменение содержания диоксида углерода в атмосфере носит и антропогенный, и естественный характер, то возникает вопрос, на который до сих пор нет достаточно аргументированного ответа: не является ли современное увеличение концентрации CO_2 следствием естественных процессов, на фоне которых антропогенное воздействие играет подчиненную роль, но которое мы принимаем за главный фактор. К тому же человечество не имеет пока объективных доказательств того, что нагревание Земли происходит именно из-за увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. Для решения этих вопросов необходимо всестороннее комплексное рассмотрение всего многообразия биогеохимических процессов биосферы в их взаимосвязи и взаимообусловленности. Например, высказана гипотеза о том, что изменения температуры в северном полушарии обусловлены также еще и колебаниями (с периодом около 70 лет) интенсивности течения в Северной части Атлантического океана.

В печати активно дискутируется вопрос о том, к каким последствиям приведет увеличение содержания в атмосфере парниковых газов. Высказываются опасения, что повышение средней температуры, особенно в полярных областях, может вызывать быстрое таяние льдов Антарктиды и Гренландии. Причем, поскольку вода поглощает солнечную энергию в 8 раз интенсивнее, чем лед, то после его таяния должно развиваться дополнительное потепление, обусловленное уменьшением отражательной способности земной поверхности (альбедо). Это повлечет за собой подъем уровня Мирового океана, что будет сопровождаться экономическими и социальными потрясениями. Поэтому призывают к сокращению потребления угля, нефти, бензина и других видов топлива. Этим пользуются сторонники широкого использования атомной энергии. Они подчеркивают, что АЭС не выделяют углекислый газ, а потому в экологическом отношении являются более безопасными.

По оценкам специалистов подъем уровня Мирового океана в настоящее время не превышает 0,8 мм в год. Между тем тектонические поднятия и опускания отдельных участков побережий по своим масштабам превосходят эти величины. Поэтому академик А.Л.Яншин, например, полагал, что парниковый эффект может привести только к некоторому отступлению края ледников, но повышением уровня Мирового океана не грозит. Судя по данным буровых скважин, прошедших всю толщу ледникового щита Антарктиды, он образовался более 30 миллионов лет тому назад и выдержал с тех пор несколько эпох потепления климата Земли, гораздо более значительного, чем ожидаемое от парникового эффекта.

Процесс потепления будет происходить неравномерно: у полюсов интенсивнее, чем на экваторе. Это связано с тем, что в высоких широтах из-за низких температур концентрация водяного пара в атмосфере относительно мала (так как он вымораживается и выпадает в виде осадков, увеличивая долю отраженной Солнечной энергии). В таких условиях CO_2 становится основным парниковым газом. Из-за разной степени потепления у экватора и полюсов изменится характер атмосферной циркуляции, сила и направление ветров, дождей и океанских течений. В результате может повыситься частота крупных аномалий температуры, а также засух в континентальных районах средних широт. А ос-

лабление теплого течения Гольфстрим может вызвать даже похолодание в Европе.

Потепление климата приведет к увеличению испарения с поверхности океана и, следовательно, к увеличению осадков. Как распределятся эти дополнительные осадки по площади и по времени года можно представить, если обратиться к анализу той обстановки, которая существовала на Земле 7–8 тысяч лет тому назад во время голоценового оптимума. Леса тогда почти везде доходили до северных берегов России, равнины Нижнего Поволжья и Северного Кавказа были покрыты густой травянистой растительностью, реки Средней Азии были полноводными, а не терялись в песках, как сейчас. Такая же обстановка существовала и на территории современной Сахары, где в год выпадало не менее 300 мм осадков и она представляла собой не пустыню, а саванну с хорошим травостоем.

Но не только к изменению климата должно привести накопление в атмосфере углекислого газа. Ещё В.И.Вернадский отмечал, что зеленые растения могут перерабатывать гораздо больше углекислого газа, чем дает им воздух современной атмосферы. Он рекомендовал использовать этот газ в качестве удобрения. То есть существует мнение, что увеличение содержания CO_2 в атмосфере представляет собой явление скорее положительное, чем отрицательное, особенно для такой северной страны, как России. Однако создание более благоприятных условий для жизни не всегда можно рассматривать как положительное явление. Например, большая часть всей инфраструктуры Сибири покоится на вечной мерзлоте и её таяние из-за потепления климата приведет к возникновению очень серьезных проблем. К тому же, из-за потепления начнется высвобождение и поступление в атмосферу огромного количества метана и углекислоты, содержащихся в вечной мерзлоте и газогидратах, что станет дополнительным фактором разбалансировки климатической системы.

Таким образом, среди специалистов в области климатологии нет единого понимания причин современных климатических изменений и причин усиления парникового эффекта, а также участия в этом антропогенных и природных процессов. Достаточно противоречивы и прогнозы ожидаемых последствий. Тем не менее, еще в 1992 г. была принята Конвенция об изменении климата, призванная объединить усилия разных стран и добиться стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на относительно безопасном уровне. Развитием Конвенции является Киотский протокол 1997 г. Это первый в истории человечества случай, когда практически все мировое сообщество подключилось к решению такой сложной научной задачи как охрана климата, причем, по мнению некоторых ученых, с излишней поспешностью и не всегда с достаточным пониманием сути и деталей проблемы.

Киотский протокол предусматривает обязательства государств по сокращению выбросов углекислого газа в период с 2008 по 2012 годы по сравнению с выбросами 1990 г. Причем, Россия и некоторые другие государства могут свои выбросы не уменьшать в отличие от европейского союза, США, Японии, Канады. Для России такое решение весьма благоприятно, так как сейчас она выбрасывает CO_2 почти на треть меньше, чем в базовом 1990 году. Как показы-

вают расчеты, до 2012 года этот уровень еще не будет достигнут. То есть Киотский протокол не сдерживает наше экономическое развитие, но заставляет постепенно готовиться к снижению выбросов, к использованию менее энергоемких технологий. Согласно Протоколу, если страна не расходует свою квоту на выбросы, то она может переуступить или продать «свободную» часть другой стране. Климатические эффекты не зависят от места выброса парниковых газов, а сами парниковые газы в имеющихся в атмосфере концентрациях прямо не вредят здоровью человека. Поэтому страны могут совместно осуществлять проекты по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу на территории одной из стран, а затем «делить» полученный эффект.

Протокол вступает в силу после его подписания не менее 55 % стран-участниц Конвенции об изменении климата, дающих не менее 55 % выбросов CO₂. США вышли из Киотского протокола, решив, что его выполнение обойдется им слишком дорого. В результате число возможных покупателей квот резко сократилось. На долю США приходится около 38 % всех выбросов. Поэтому именно от России, дающей 17,4 % выбросов, зависела судьба Киотского протокола. В октябре 2004 года он был ратифицирован Государственной думой и 16 февраля 2005 года вступил в силу.

Высокая значимость мер, предпринимаемых международным сообществом для стабилизации климатических условий на Земле, была подтверждена присуждением Альберту Гору (вице-президент при Б. Клинтоне) Нобелевской премии 2007 г. за популяризацию идеи необходимости сохранения климата.

В настоящее время начались активные консультации по решению этой проблемы в период после 2012 года (Киото-2). В частности, в декабре 2009 г. была проведена Всемирная конференция по климату в Копенгагене, на которой, однако, пока не удалось прийти к взаимоприемлемым решениям.

Рассматривая антропогенное загрязнение атмосферы, необходимо иметь в виду, что отдельные его формы могут приводить к последствиям различного, в том числе и противоположного характера. Например, увеличению температуры из-за парникового эффекта противостоит её возможное уменьшение, обусловленное увеличением запыленности атмосферы, её аэрозольного загрязнения. В результате температура будет повышаться или понижаться в зависимости от того, чье влияние будет преобладать – углекислого газа или механических примесей искусственного происхождения. Есть прогнозы о том, что в наступившем столетии на температуру Земли преобладающее влияние будут оказывать примеси. Они не только уравнивают влияние углекислого газа, но и вызовут существенное понижение температуры земной поверхности. Предсказывают даже наступление нового ледникового периода в XXI веке, если цивилизация окажется неспособной справиться с загрязнением атмосферы.

Кислотные осадки. Еще одной экологической проблемой глобального масштаба, связанной с загрязнением атмосферы, стала проблема «кислотных дождей». Кислотные осадки образуются вследствие поступления в атмосферу соединений серы и азота, которые, реагируя с кислородом и атмосферной влагой, образуют серную и азотную кислоты. В результате дождь и снег оказываются подкисленными, т.е. водородный показатель (рН), характеризующий кон-

центрацию ионов водорода в растворе (численно равен десятичному логарифму, взятому с обратным знаком, от концентрации водородных ионов, выраженной в молях на литр), оказывается меньше семи – величины, соответствующей нейтральной среде. Следует отметить, что чистая дождевая вода тоже обладает слабо кислой реакцией (рН 5,6) из-за растворения в ней углекислого газа, превращающегося в растворе в угольную кислоту. Загрязнение атмосферы соединениями серы и азота может увеличить кислотность осадков до рН 4, что выходит за пределы значений, переносимых большинством живых организмов. Максимальная зафиксированная кислотность дождей достигала значений рН 2,5.

Источники соединений серы и азота в атмосфере имеют природное и антропогенное происхождение. К естественным можно отнести биологическое выделение сероводорода вследствие восстановления бактериями сульфатов и разложения ими серусодержащего органического вещества, а также соединения серы поступают при извержениях вулканов и с поверхности океанов. Соединения азота оказываются в атмосфере благодаря почвенной эмиссии аммиака, оксидов азота нитрифицирующими бактериями, электрическим разрядам в атмосфере (грозы) и горению биомассы, когда происходит взаимодействие кислорода и азота с образованием окислов азота.

Антропогенные источники поступления в атмосферу соединений серы и азота связаны, прежде всего, со сжиганием ископаемого топлива (уголь, нефть, газ и т.д.). Наибольшее количество примесей серы наблюдается в угле (несколько процентов), который дает около 70 % всех антропогенных выбросов. В процессе горения сера превращается в сернистый газ (диоксид серы SO_2), а часть серы остается в золе в твердом состоянии. По выбросам сернистых соединений в атмосферу лидирует тепловая энергетика и такие отрасли промышленности, как металлургия, предприятия по производству серной кислоты и переработке нефти. Их вклад в загрязнение атмосферы значительно превышает то, что происходит в природе естественным путем. Окислы азота попадают в атмосферу также при сжигании органического топлива, когда в условиях высокой температуры происходит взаимодействие азота и кислорода воздуха.

Кислотные дожди влияют, прежде всего, на состояние растений, пресных вод, почвы. Они могут привести к гибели водных организмов, а также наземных растений, деревьев, особенно хвойных пород. Эти воздействия носят как прямой, так и косвенный характер. В кислых средах, например, улучшается растворимость ионов алюминия, тяжелых металлов и других вредных компонентов, которые таким образом попадают в организм растений и животных. Кислотные дожди сказываются и на здоровье человека, приводят к возникновению и обострению болезней дыхательных путей. Они могут также ускорять коррозию металла, способствовать разрушению строительных материалов, зданий, расположенных под открытым небом памятников, скульптур.

Перемещение воздушных масс часто приводит к трансграничному переносу загрязняющих веществ и кислотные осадки выпадают далеко от места поступления в атмосферу соответствующих окислов. Канада, Скандинавские страны значительно страдают от выброса серы в таких промышленно развитых

странах, как США, ФРГ, Великобритания. В России также происходит закисление озер в Карелии, повышенная кислотность осадков наблюдается вдоль западной границы и внутри страны на территории ряда промышленных центров.

Для разрешения проблемы кислотных дождей необходимо уменьшить выбросы двуокиси серы и окиси азота в атмосферу. Этого можно достичь уменьшением количества потребляемой энергии вообще и вырабатываемой на тепловых электростанциях, в частности, а также снижением содержания серы в различных видах топлива. К сожалению, в нашей стране наблюдается тенденция по переводу тепловой энергетики с экологически чистого природного газа на более дешевый уголь, в то время как газ продается за границу. Это может обострить ситуацию с кислотными дождями в России. Другое направление снижения негативного воздействия кислотных дождей – совершенствование технологии сжигания топлива и очистка газовых выбросов в атмосферу.

4.2. Опасности внешнего воздействия на планету

Существует ряд глобальных экологических проблем, связанных с угрозой существованию жизни на Земле, исходящей из космоса. В настоящее время отсутствуют варианты решения некоторых из них, в других случаях предполагается использование ракетно-космической техники.

Как уже отмечалось, в истории Земли неоднократно случались столкновения с крупными космическими телами. На это указывает отклонение оси её собственного вращения от перпендикуляра к плоскости эклиптики, обнаружение 160 метеоритных кратеров значительных размеров в различных местах планеты (в США, Канаде, Мексике, России, Южной Африке). Например, в Мексике обнаружен кратер окружностью 175 км, образовавшийся около 70 млн. лет назад в результате падения астероида диаметром 10 км. Взрыв этого астероида вызвал грандиозные цунами и землетрясения. Полагают, что именно это столкновение послужило причиной вымирания динозавров и 75 % всех других видов животных, населявших Землю. Одним из подтверждений этой версии явилось обнаружение аномально высокого содержания иридия в породах, возраст которых оценивается в 70 млн. лет, когда вымерли динозавры и некоторые другие виды. Этот элемент очень редко встречается на Земле, но его гораздо больше на космических телах.

Крупный метеорит (или, скорее всего, ядро небольшой кометы) взорвался в 1908 г. в районе реки Подкаменная Тунгуска в Сибири. Вероятность столкновения существовала и в последующие годы. В 1937 г. астероид Гермес (диаметр около 1 км) прошел от Земли на расстоянии 580 тыс. км (всего в 1,5 раза дальше, чем Луна). При столкновении с телом диаметром в 1 км выделится энергия в десятки раз превосходящая весь ядерный потенциал на Земле. Каждые 19 лет с Землей сближается астероид Икар. В конце марта 2002 г. астероид диаметром 70 метров прошел от Земли на расстоянии 400 тыс. км. В январе 2004 и 2008 г.г. Земля могла столкнуться с астероидами размером в полкилометра, а в марте 2004 г. астероид диаметром 30 метров прошел на расстоянии всего в 40 тыс. км. В 2004 г. был обнаружен астероид Апофис (назван именем древнеегипетского бога мрака и разрушения) диаметром более 300 метров, орбита которого пере-

секается с орбитой Земли. Подсчитано, что 13 апреля 2029 года он может столкнуться с Землей или пройдет от неё на расстоянии всего в 30 тыс. км. Существует вероятность столкновения этого объекта с нашей планетой в 2036 и последующих годах. По оценкам НАСА мощность взрыва при падении астероида может составить от 500 до 1700 Мт. Для сравнения: Тунгусский метеорит оценивается в 3–10 Мт.

Земная атмосфера защищает её поверхность от мелких тел, а также способствует разрушению следов столкновений. А вот поверхность Луны, не имеющей атмосферы, вся испещрена кратерами. Крупные метеоритные кратеры обнаружены на поверхности Меркурия, Марса, Юпитера. В 1994 г. астрономы всего мира наблюдали столкновение Юпитера с кометой Шумейкера-Леви.

Существует гипотеза, согласно которой неоднократно имевшая место в истории нашей планеты смена постепенного эволюционного развития жизни периодами её бурного революционного изменения, когда вымирали одни виды и зарождались другие, может быть связана именно с такими космическими катастрофами, приводящими и к изменению радиационного фона, и к глобальным климатическим изменениям на Земле, аналогичным тем, что предсказывают в случае массового использования атомного оружия в крупном военном конфликте. Сценарий таких последствий, вызванных прежде всего загрязнением атмосферы механическими частицами (грунт, пепел, сажа), известен под названием «Ядерная зима».

Космические исследования способствуют, с одной стороны, раннему обнаружению возникающей опасности, а с другой, – должны обеспечить принятие превентивных мер: при необходимости уничтожить или изменить траекторию космического тела в результате, например, атомной атаки или каких-то более прозаических мер (изменить отражающую способность поверхности тела распылением красящего вещества и др.).

4.3. Рост народонаселения

Быстрое увеличение численности населения планеты порождает многие глобальные проблемы, в том числе связанные с антропогенными изменениями окружающей среды, исчерпанием природных ресурсов, деградацией биосферы. Впервые на высоком международном уровне на это было обращено внимание на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Острота этой проблемы различна для разных регионов Земли, но в целом она специфична для эпохи, начавшейся со второй половины XX века.

Несмотря на скудность исторических документов, нам известны основные особенности демографической истории человечества. Различные палеонтологические и археологические данные позволили оценить численность населения Земли в далеком прошлом. Первые люди появились около полутора миллионов лет назад, и за это время на планете жило по разным оценкам от 60 до 100 млрд. человек. То есть современное население (~ 6,5 млрд. чел.) составляет 6–10 % от общего числа людей, живших на планете. Людей вначале было мало и численность их увеличивалась медленно. Полагают, что миллион лет тому

назад она не превышала 125 тысяч, а сто тысяч лет назад достигла первого миллиона. К концу эпохи палеолита (15 тысяч лет до нашей эры) на Земле было около трех миллионов человек, к концу неолита (две тысячи лет до н.э.) – 50 млн., в начале нашей эры – 230 млн., в 1500 году – 450 млн., а в 1840 году – 1 млрд. На рубеже XIX–XX веков население Земли насчитывало 1,6 млрд. человек, а в 1999 г. – 6 млрд. В феврале 2006 г. ООН официально провозгласила рождение 6,5 миллиардного жителя. Если по этим данным изобразить рост населения как функцию времени, то получим кривую, показанную на рисунке 3.

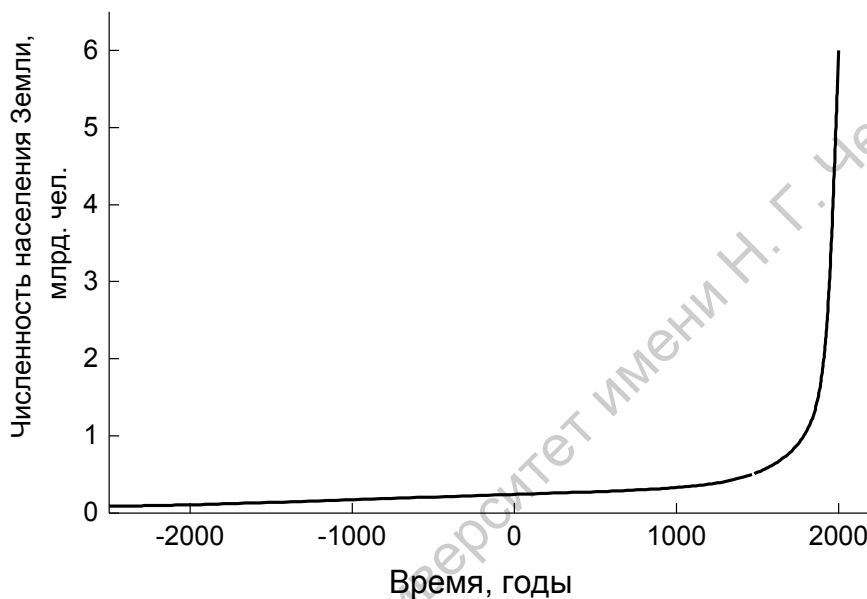


Рис. 3. График роста численности населения Земли

Почти вертикальный ход кривой, соответствующий настоящему времени, показывает, насколько удачно выбран термин для обозначения этого этапа в истории человечества – «демографический взрыв XX века». Однако если бы график строился по более значительному числу данных, то на нем можно было заметить, что периоды увеличения численности населения сменялись хотя и кратковременными по масштабам истории, но периодами её уменьшения. То есть при сохранении общей тенденции к увеличению населения, наблюдались колебания численности, обусловленные влиянием различных факторов, прежде всего, на смертность людей. Среди них главную роль играли такие, как войны, голод, эпидемии.

Факторы, обуславливающие изменение численности любой популяции, действуют на два основных параметра: показатель рождаемости, определяемый прежде всего генетическими факторами, и показатель смертности, зависящий главным образом от внешних факторов. Если не учитывать миграционные процессы, влияние которых в случае человеческого общества не велико, то показатель естественного прироста равен разности этих величин и представляет собой отношение числа особей, на которое увеличилась популяция за единицу време-

ни, к её численности. Человечество, как биологический вид, подчиняется биологическим законам роста, в который включены общие для всех живых организмов процессы рождения и гибели. Однако присущий людям антропоцентризм долгое время приводил к тому, что рост и развитие человечества рассматривались как цепь исторических событий, различных для разных стран и не связанных какими-то общими закономерностями. Утверждалось, что в человеческом обществе нет естественных законов народонаселения и каждому общественному строю присущи свои законы.

Автором одной из первых теорий народонаселения, рассматривающей эти проблемы с общих для всех организмов позиций, был Т.Р. Мальтус, опубликовавший в 1798 г. свою книгу «Опыт о законе народонаселения». Опираясь на данные о росте численности американских колоний Великобритании, он пришел к выводу, что в отсутствие ограничивающих факторов население имеет тенденцию увеличиваться быстрее (в соответствии с геометрической прогрессией), чем необходимые для этого средства существования. Производство продуктов питания растет со временем линейно (в соответствии с арифметической прогрессией), в связи с чем оно отстает от роста населения. Для сохранения равновесия между народонаселением и средствами пропитания необходимо, чтобы естественное размножение людей встречало определенные препятствия и задержки, которые Мальтус разделил на две категории: предупредительные («нравственное воздержание») – снижающие рождаемость, и разрушительные («порок и несчастье») – увеличивающие смертность. Если рост численности населения Земли не будет ограничен, то людям грозит голод. Мальтус целью своего учения считал уменьшение нищеты и бедственного положения людей и достижение этой цели видел не в увеличении смертности, а в снижении рождаемости.

В отсутствие ограничивающих факторов численность любой популяции увеличивается во времени (рис. 4, кривая 1) с постоянным показателем естественного прироста R в соответствии с кривой биотического потенциала (отражает максимальную плодовитость вида), подчиняющейся экспоненциальному закону: $N = N_0 e^{Rt}$. Скорость роста населения в этом случае пропорциональна его численности. Однако в реальных условиях ни один вид живых организмов не увеличивает свою численность по этому закону, т.к. всегда существует множество факторов, препятствующих неограниченному размножению: нехватка ресурса (продовольствия), вызывающая конкуренцию за ресурс внутри популяции, конкуренция с другими видами, неблагоприятные климатические условия и т.д. Результатом является замедление скорости роста, приводящее к появлению S-образной кривой зависимости численности от времени (рис. 4, кривая 2), и выход численности на стационарный уровень K (предельная биотическая нагрузка среды), соответствующий способности среды поддержать такую численности. Этим условиям соответствует логистическая модель Ферхюльста (1838 г.), которая учитывает наличие все возрастающего сопротивления среды увеличению численности популяции.

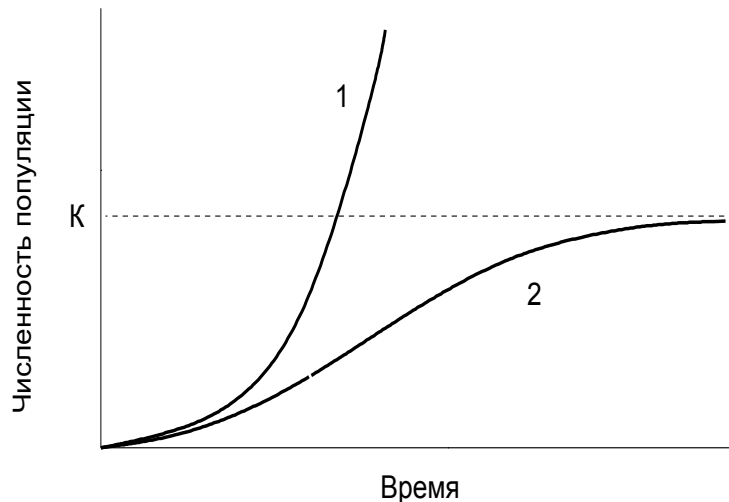


Рис. 4. Теоретические кривые зависимости численности популяции от времени.
1 – кривая биотического потенциала, 2 – логистическая кривая

Факторы, сдерживающие рост популяции, эффективно влияют на все живые организмы. В прошлом они действовали и на человека. Однако постепенно эта зависимость ослабевала вследствие увеличения возможностей человека в преобразовании природы и создании условий, благоприятных для жизни. Долгое время основным сдерживающим фактором была относительно высокая смертность, особенно детская. Но успехи медицины значительно уменьшили влияние и этого фактора. В результате численность населения, а также средняя продолжительность жизни людей стали увеличиваться. Например, во времена Римской Империи продолжительность жизни составляла лишь 25 лет, в начале 20 века в развитых странах – 50 лет, в настоящее время – 70–80 лет, хотя в большинстве развивающихся стран она еще значительно ниже. Тем не менее, современный демографический взрыв – это результат прежде всего сокращения смертности в развивающихся странах при сохранении высокой рождаемости или некотором её снижении, но не в такой степени, как смертность, что стало возможным благодаря внедрению в этих странах достижений медицины и улучшению санитарно-гигиенических условий жизни населения.

Экспоненциальный рост наблюдается, когда показатель естественного прироста остается постоянным. Однако человеческий вид является единственным видом, рост численности которого происходит без видимого ограничения и по закону, более быстрому, чем экспоненциальный, т.к. показатель естественного прироста хоть и не слишком высок, но вплоть до конца прошлого века увеличивался. Например, в 17 веке он достигал величины 0,3 % и время удвоения численности составляло примерно 250 лет, а в 1900 г. – около 0,5 % при времени удвоения 140 лет, в то время как в 70-х годах XX века $R = 2\%$ и для удвоения требовалось всего 35 лет.. В результате имеет место уже не экспоненциальный, а сверхэкспоненциальный рост. Проведенные расчеты показали, что ни линейный, ни экспоненциальный рост не могут описать развитие челове-

ства в течение достаточно большого промежутка времени. Для описания развития всего человечества, рассматриваемого как единая демографическая система, необходимо перейти к следующей степени зависимости скорости роста, пропорциональной уже квадрату численности населения. Это приводит к гиперболическому закону, который быстрее любого экспоненциального роста.

На основе известных демографических данных, была предложена общая формула для вычисления численности людей в соответствии с гиперболическим законом $N = C/(t_1 - t)$, где N – число людей на Земле в момент времени t , а t_1 – критическая дата, соответствующая асимптоте кривой роста, при которой численность уходит в бесконечность. При значении времени t , близком к t_1 (критическая дата), а также к времени зарождения человечества, математическая модель должна быть дополнена введением дополнительного параметра, характеризующего эффективную длительность жизни поколения, практически совпадающую со значением среднего возраста человека (τ). В указанных временных интервалах уравнение для скорости увеличения численности необходимо модифицировать, записав его в виде

$$dN/dt = C/((t_1 - t)^2 + \tau^2).$$

То есть гиперболический закон роста имеет ограниченную область применения и по данным С.П. Капицы распространяется на численность от 10^5 до $3,2 \cdot 10^9$, которая имела место в 1960–1965 г.г. В этот период скорость роста пропорциональна квадрату общего числа людей на Земле. В дальнейшем начинаются отклонения в сторону её уменьшения. В эпоху «демографического взрыва», продолжающуюся около 90 лет, скорость роста проходит через максимум, а не устанавливается на своем наибольшем значении. По мере того, как она уменьшается, население Земли выходит на плато и стабилизируется, что может произойти на уровне 13 миллиардов человек. Эта величина достаточно близка к предсказаниям логистической модели. Как следует из уравнения, описывающего S-образную логистическую кривую 2 (рис. 4), точка перегиба на ней, совпадающая с максимальной скоростью увеличения численности, достигается при $N = K/2$. Если полагать, что эта точка была пройдена в конце прошлого века, то можно ожидать стабилизацию числа жителей планеты на уровне 11–12 млрд. человек. Хотя некоторые демографы считают, что население Земли и в дальнейшем будет увеличиваться по экспоненциальному закону и тогда во второй половине XXI века его численность составит 30 млрд.

Исследования проблем народонаселения в разных регионах мира позволили демографам разработать теорию так называемого «демографического перехода», который состоит из нескольких стадий. На первой из них, характеризующейся низким уровнем развития промышленности, наблюдаются высокие показатели рождаемости и смертности, в результате чего численность населения изменяется медленно. Однако развитие промышленной индустрии, улучшение качества питания населения и состояния здравоохранения приводит к снижению смертности при сохранении высокого уровня рождаемости еще у нескольких поколений, из-за чего возникает разрыв между уровнями рождаемости и смертности, который способствует быстрому росту населения. При высо-

ком уровне развития производства и вовлечении людей в образ жизни высоко-развитого индустриального общества происходит постепенное снижение рождаемости, которая становится соизмеримой со смертностью, что приводит к сокращению темпов роста численности населения. Наконец в постиндустриальном обществе рождаемость становится равна или даже меньше смертности, что соответствует практически нулевому приросту или даже некоторому сокращению населения. Разные страны и народы мира в настоящее время находятся на разных стадиях демографического перехода и для них характерны разные демографические проблемы. Если население молодых «развивающихся» стран быстро растет, то в России, например, в силу ряда экономических и социально-политических причин, начиная с 1992 года, наблюдается превышение смертности над рождаемостью и происходит убыль населения. Известны три пути решения этой проблемы: повышение рождаемости, снижение преждевременной смертности и регулирование миграционных потоков. Среднее число детей, которое должна иметь каждая семья, чтобы поддержать постоянную численность населения, немного превышает 2 (для компенсации безбрачия, бесплодия и др.). Однако мировой опыт показывает, что наиболее эффективны в демографической политике меры, направленные на человекосбережение: снижение смертности и увеличение продолжительности жизни.

Если же говорить о проблемах народонаселения в общепланетарном масштабе, то здесь широко распространено мнение, что биосфера имеет ограниченную хозяйственную ёмкость, которая уже превышена человеком. Человечество нарушило устойчивость биосферы и привело к деформации окружающей среды, стабильность которой не может поддерживаться разрушающейся биотой. Поэтому, по мнению многих экологов, следует ставить вопрос о выживании человечества как его главной, долгосрочной, на всю историческую перспективу цели. Причем, речь должна идти уже не о снижении прироста или стабилизации населения, а о его сокращении в будущем в ходе мирного и осознанного процесса по сравнению с хаосом и страданиями многих людей, которые неизбежны при пассивном ожидании стабилизации численности населения на уровне 12 млрд. Задача сокращения населения мира (в то время как оно быстро растет) – невероятно сложная и трудно воспринимаемая проблема. Однако или человечество найдет в себе силы для её решения, или разрушающаяся усилиями человека природа избавится от вида *Homo sapiens*, внесшего такое возмущение в биосферу, как ни один другой вид организмов. По своей сложности проблема беспрецедентна и требует невиданного ранее уровня международного взаимопонимания и сотрудничества. Мировой опыт показывает, что рост населения можно остановить там, где ликвидирована неграмотность и растет уровень гигиенической культуры населения, повышается материальная обеспеченность и уровень образования, ускоряется урбанизация, растет занятость женщин в общественном производстве, успешно проводится кампания против ранних браков и за планирование семьи.

5. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование её ресурсов – одна из самых актуальных проблем современности. Под окружающей средой понимается вся земная природа, окружающая человека, элементы которой функционируют во взаимодействии между собой, а также с человеком и продуктами человеческой деятельности. К основным составляющим окружающей среды относят воздушную и водную среду, животный и растительный мир, недра (почву, полезные ископаемые), акустическую, электромагнитную, радиационную и климатическую среду.

Человек является частью природы, он подчинен её объективным законам и, вместе с тем, он активно воздействует на её состояние и развитие. Это воздействие разнообразно и оно постоянно усиливается по мере ускорения темпов научно-технического прогресса и увеличения численности людей на Земле. хозяйственная деятельность человека вовлекает в оборот все новые природные ресурсы, вносит глубокие изменения в природную среду. Самой распространенной формой негативного воздействия человека на природу является её загрязнение. Из-за несовершенства организуемых человеком технологических процессов образуются многочисленные отходы, которые в виде газовых выбросов, сточных вод, шлаков и шламов попадают в окружающую среду. В природу внедряется все больше веществ, отсутствующих в её естественном состоянии, часто сильно токсичных для организмов. Многие из них не включаются в природные круговороты, приводя к нежелательным последствиям. Возникло и обостряется противоречие между огромными научно-техническими возможностями человека в использовании природных ресурсов и ограниченными компенсационными возможностями природы.

Поэтому важнейшей задачей является разработка всеми странами мира научных основ и практических мероприятий для сохранения равновесия в природе и совершенствования рационального использования её ресурсов на основе современных знаний. Усилия, предпринимаемые в этом направлении отдельными государствами, часто оказываются малоэффективными. Это связано с тем, что природные явления и процессы не знают государственных границ и задачи их познания и рационального использования являются интернациональными. Последствия влияния людей на окружающую среду также часто носят интернациональный характер. Имеют место случаи, когда загрязнения с территории одного государства переносятся на территорию другого, ядовитыми веществами стоков отравляются реки, пересекающие территории ряда государств, загрязняются воды Мирового океана, атмосфера, под влиянием деятельности человека изменяется климат Земли. Все это затрагивает интересы всех жителей

планеты, а «экспорт» загрязнений через национальные границы становится серьезной международной проблемой.

Кроме того, необходимо учитывать, что наши знания о природе еще весьма ограничены. Это требует проведения разнообразных, обширных, большей частью дорогостоящих, систематических исследований для оценки состояния природной среды всего земного шара, выяснения механизмов процессов, действующих в природе, разработки мер по её охране. Необходимо объединить силы и средства широкого круга государств и скоординировать их деятельность. То есть в нашу эпоху, когда осуществляется глобальное воздействие человека на природу, международное сотрудничество в области охраны природы приобретает особенно важное значение. Такое сотрудничество развивается в различных формах и на разных уровнях – международном, региональном, двух- и многостороннем. Одной из важнейших форм такого сотрудничества является проведение конференций, посвященных проблемам окружающей среды.

Первая международная конференция по вопросам охраны природы состоялась в ноябре 1913 г. в Берне (Швейцария). На конференции собрались представители 17 государств, в том числе и России. Подчеркивалась необходимость принятия специальных мер для сохранения природы. Само понятие «охрана природы» было введено в международный лексикон именно на этой конференции. Однако её решения практически не были реализованы, так как вскоре началась Первая мировая война (летом 1914 г.) и проблемы охраны природы и международного сотрудничества в этой области отошли на второй план. Далее произошли революции в России и некоторых других европейских государствах, обострились кризисные явления в экономике развитых капиталистических стран, шло формирование враждебных блоков государств. Затем Вторая мировая война. И лишь после её окончания (2 сентября 1945 г.), когда негативные последствия воздействия человека на природу стали еще более значительными, международное сообщество постепенно пришло к пониманию необходимости налаживания природоохранного сотрудничества.

Главной международной организацией, под эгидой которой осуществляется это сотрудничество, стала Организация Объединенных Наций (ООН), созданная в 1945 г. Но и в послевоенный период идеи сотрудничества в области охраны природы пробивали себе дорогу с большим трудом. Мир оказался расколот на два лагеря: социалистический и капиталистический. Началась «холодная война». Только в 1968 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию о проведении Первой конференции ООН по проблемам окружающей среды. Несколько лет ушло на её подготовку, а сама конференция проходила в период с 5 по 16 июня 1972 г. в Стокгольме (Швеция). В работе конференции приняли участие 113 государств. Однако СССР и некоторые другие социалистические страны, активно принимавшие участие в подготовке решений конференции, в ней самой не участвовали в знак протеста против того, что к работе на конференции не была допущена ГДР. Тем не менее, Конференция приняла важнейшие решения, которые не потеряли своей значимости и актуальности до настоящего времени. В решениях были зафиксированы принципы, с которыми обязаны считаться государства в своей деятельности в области природопользо-

вания. В первом принципе Стокгольмской декларации заявлялось, что право на благоприятную окружающую среду относится к числу основных прав человека, наряду с правом на свободу, равенство и др. Лишь 20 лет спустя аналогичное положение вошло в нашу Конституцию (1993 г.).

В декларации подчеркивалось значение для человечества различных видов природных ресурсов и необходимость их охраны и рационального использования. Давались рекомендации по предотвращению загрязнения окружающей среды и отмечалась необходимость проведения соответствующих научных исследований, при этом рекомендовался свободный обмен научной информацией в этой области. Отмечалось очень большое значение формирования общественного мнения путем распространения экологических знаний. Было заявлено, что природопользование является правомерным лишь при условии, что оно не ущемляет прав и интересов других государств. Один из провозглашенных принципов (всего их 26) призывал к скорейшему достижению договоренности о ликвидации оружия массового поражения.

Принципы, зафиксированные в Стокгольмской декларации, послужили фундаментом и были учтены во многих других международных документах, а сама дата начала работы конференции (5 июня) по предложению её участников была объявлена Генеральной Ассамблеей ООН Всемирным днем защиты окружающей среды, который ежегодно отмечается до настоящего времени. В структуре ООН была создана специальная международная организация «Программа ООН по окружающей среде» (ЮНЕП), занимающаяся сохранением среды обитания. ЮНЕП имеет свои средства (из бюджета ООН) для финансирования различных природоохранных программ. Одним из основных направлений деятельности этой организации является реализация глобального мониторинга. Термин «мониторинг» был официально выдвинут как раз на Стокгольмской конференции 1972 г. Он подразумевает комплексную систему контроля с функциями прогноза состояния природной среды, то есть систему сбора, контроля, оценки и передачи информации о реальном и ожидаемом её состоянии.

В 1980 г. Генеральная ассамблея ООН приняла резолюцию «Об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и будущих поколений». В 1982 г. была принята Всемирная хартия природы, провозглашающая общие принципы взаимодействия человечества и природы.

В 1982 г. в ознаменовании десятилетия со времени проведения Стокгольмской конференции ЮНЕП провела специальную сессию в Найроби (Кения), на которой подчеркивалось значение Стокгольмской конференции и отмечалась необходимость решения многих экологических проблем посредством консультаций государств и согласованных международных действий.

Стокгольмская конференция породила надежды на то, что человечеству удастся совместными усилиями справиться с проблемами окружающей среды. Однако, как показала дальнейшая история взаимодействия человека и природы, эти надежды были преждевременными и в значительной части остались не сбывшимися, так как глобальные нарушения в природной среде продолжали нарастать. Для оценки складывающейся ситуацию ЮНЕП создала специальную

комиссию, которая опубликовала доклад «Наше общее будущее». В нем впервые была выдвинута концепция «устойчивого развития». Эта концепция предполагает такую модель развития человеческого общества, при которой удовлетворение потребностей нынешнего поколения людей достигалось бы без лишения такой возможности будущих поколений, то есть данная концепция требует сбалансировать воздействие человека на природу с её рекреационными возможностями. Для выработки стратегии устойчивого, экологически приемлемого экономического развития государств Генеральная ассамблея ООН приняла решение о проведении международной конференции. Эта конференция, организованная ЮНЕП, состоялась в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия). Она получила название Второй конференции ООН по окружающей среде и развитию. В решениях опять подчеркивалась необходимость широкого и открытого международного сотрудничества для эффективного решения проблем окружающей среды. Отмечалось, что чрезмерная её эксплуатация грозит ответными реакциями, губительными для человечества. На конференции отмечалось, что существующий характер производства и потребления в промышленно развитой части мира подрывает природные системы, поддерживающие жизнь на Земле. К этому добавляется взрывообразный рост населения преимущественно в развивающейся части мира, который ежедневно добавляет четверть миллиона человек. Несоответствие между приростом населения в развивающихся странах и экономическим ростом в промышленно развитых странах усиливается, создавая неустойчивый дисбаланс как в экологическом, так и экономическом плане. За двадцать лет, прошедших между Первой и Второй конференциями ООН (то есть в период с 1972 по 1992 г.г.), население планеты увеличилось на 1,7 млрд. человек. Из них 1,5 млрд. приходится на долю развивающихся стран, население которых составляет 3/4 населения Земли. А потребляет это население лишь 1/3 общемировой продукции производства и разрыв в потреблении на душу населения продолжает увеличиваться. На конференции впервые был поставлен вопрос о том, что численность населения должна быть стабилизирована. Если этого не сделает само человечество, то это сделает природа, причем, значительно более жестко.

Был принят всемирный план действий – «Повестка дня на XXI», фиксирующий основные задачи человечества на рубеже тысячелетий. Кроме того была принята Декларация по окружающей среде и развитию, в которой провозглашались обязательства государств по основным принципам достижения человечеством устойчивого развития. Также были приняты Заявление, касающееся необходимости сохранения и устойчивого развития всех видов лесов, Конвенция о биологическом разнообразии, Конвенция об изменении климата. Решения конференции предусматривали организацию широкого обмена информацией, взаимного доступа у передовым технологиям, обеспечивающим сохранение природы, установление строгой отчетности государств об их природоохранной деятельности и экологических инцидентах на их территориях.

В развитие решений конференции в Рио, в 1997 г. в Киото была проведена Международная конференция по климату и подписан Киотский протокол. В том же году в Рио-де-Жанейро состоялся международный экологический фо-

рум, посвященный 5-летию со времени проведения Конференции ООН по окружающей среде и развитию, а в Нью-Йорке состоялась Генеральная ассамблея ООН по окружающей среде и устойчивому развитию, где с сожалением отмечалось, что за истекшие годы человечество крайне мало сделало для обеспечения устойчивого развития. В 2002 г. была проведена конференция по устойчивому развитию в Йоханесбурге (ЮАР), но она не имела того широкого резонанса, как первые две конференции ООН по окружающей среде. После событий 11 сентября 2001 г. (террористическая атака на США) на первое место по актуальности стала выходить проблема международного терроризма, в то время как экологическая тематика как бы отошла в тень. Однако это не означает, что она стала менее важной. В последние годы внимание к этим проблемам вновь стало возрастать.

Вопросами охраны природы занимаются многие международные организации, работающие, в частности, под эгидой ООН. Кроме ЮНЕП это ЮНЕСКО (организация по вопросам образования, науки, культуры), ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация), ВОЗ (всемирная организация здравоохранения), МАГАТЭ (международное агентство по атомной энергии) и др.

Значительный вклад в разработку мер сохранения благоприятных природных условий и рационального использования природных ресурсов вносят межправительственные региональные организации, которые строят свою работу вне системы ООН (Европейское экономическое сотрудничество – ЕЭС, Евратом, Азиатско-Африканский юридический консультативный совет, Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество – АТЭС и др.).

К природоохранной деятельности подключились и многие неправительственные организации. По данным ЮНЕП их в настоящее время более пятисот. Среди них можно назвать Международный союз охраны природы и природных ресурсов – МСОПР (именно эта организация, созданная в 1948 г., впервые начала издавать Красные книги), Всемирный фонд охраны дикой живой природы. Широкую известность приобрела международная организация ГРИНПИС. Она имеет свои представительства более чем в 30 странах мира и занимается не только защитой лесов, но и многими другими проблемами. ГРИНПИС выступает за полное запрещение ядерных испытаний, за переход к использованию только экологически чистых источников энергии, за охрану морских и наземных животных от варварского уничтожения, запрещение международной торговли токсичными отходами, продление моратория на промышленную разработку Антарктиды, запрещение применения веществ, разрушающих озоновый слой Земли, снижение выбросов в атмосферу парниковых газов.

6. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Одним из первых законов, принятых в Российской Федерации как самостоятельном независимом государстве, был закон «Об охране окружающей природной среды» (декабрь 1991 г.). Этот закон охватывал широкий спектр проблем, связанных с охраной природной среды и природопользованием. Он составил основу природоохранного (экологического) права нашей страны. Центральной темой закона стал человек, охрана его жизни и здоровья от неблагоприятного воздействия окружающей среды, вызванного экономикой. В нем впервые в нашем законодательстве было закреплено право россиян на благоприятную окружающую среду, что на международном уровне было сделано еще в 1972 г. в Декларации Первой конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм). Позднее это положение было включено в Конституцию РФ 1993 г. В соответствие с нею, граждане России получили три новых права: право на благоприятную окружающую среду, право на достоверную информацию о её состоянии и право на компенсацию ущерба, причиненного здоровью или имуществу граждан экологическими правонарушениями. Закон 1991 г. наметил основные принципы взаимоотношений человека с окружающей его природной средой. Ведущим принципом, направленным на решение задач охраны природы, он называет научно-обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества. Ранее такое сочетание хотя и провозглашалось, но приоритет отдавался требованиям экономики. Закон предусматривал организацию рационального использования природных ресурсов с учетом законов природы, её потенциальных возможностей. Отмечалась необходимость воспроизводства природных ресурсов и недопущения необратимых последствий для окружающей среды и здоровья человека, что соответствует принципу «устойчивого развития», провозглашенному как основное направление экологического развития государств на Второй конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.).

Проработав 10 лет, в январе 2002 г. закон «Об охране окружающей природной среды» был заменен на ныне действующий закон «Об охране окружающей среды». Изменения коснулись не только названия, из которого было исключено слово «природной», но и содержания, т.к. за истекшее десятилетие в жизни страны произошли серьезные изменения, начали складываться рыночные отношения в области природопользования. Но в этом главном Федеральном законе в области взаимоотношения человека и природы была сохранена преемственность и получили дальнейшее развитие основные принципы закона 1991 г. Действующий закон раскрывает основные понятия, принципы и объекты охраны окружающей среды. Он разграничивает полномочия органов государственной власти разных уровней, расширяя полномочия субъектов Федерации и органов местного самоуправления, связанные с охраной окружающей

среды. В частности, им предоставляется право законодательно ограничивать и запрещать хозяйственную и иную антиэкологическую деятельность на своих территориях. В законе сформулированы права и обязанности граждан, общественных и иных некоммерческих организаций в области охраны окружающей среды, сформулированы механизмы реализации экологических прав. Одним из них является юридическая ответственность за экологические правонарушения. Другой механизм, регулирующий деятельность общества в сфере природопользования, охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности – это механизм экономический. Он предполагает

- планирование и финансирование природоохранных мероприятий,
- платность за использование природных ресурсов и воздействие на окружающую природную среду,
- ограничение (установление лимитов) использования природы и воздействий на неё,
- стимулирование деятельности предприятий по охране природной среды и экономии ресурсов путем предоставления налоговых, кредитных и иных льгот,
- возмещение ущерба, причиненного окружающей среде и здоровью человека,
- получение лицензий на проведение отдельных видов работ, связанных с использованием природных ресурсов.

В целях обеспечения экологической безопасности граждан, охраны их здоровья, а также охраны растительного и животного мира предусматривается проведение нормирования качества окружающей среды, выделяются природные объекты, находящиеся под особой охраной. Степень негативного воздействия хозяйственной деятельности человека оценивается в результате проведения государственной экологической экспертизы. Для оценки состояния окружающей среды осуществляется её государственный мониторинг, а для проверки исполнения законодательства в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности проводится государственный, производственный, муниципальный и общественный контроль.

До 2000 г. функции управления природопользованием и охраны окружающей природной среды выполняли Государственный комитет РФ по охране окружающей среды (Госкомэкологии России) и Министерство природных ресурсов. Позднее Государственный комитет РФ по охране окружающей среды был упразднен и его функции переданы Министерству природных ресурсов РФ, в структуру которого вошли Государственная служба охраны окружающей среды и Государственная служба контроля в сфере природопользования и экологической безопасности.

7. НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

7.1. Нормирование содержания загрязнений в окружающей среде

Человек пока не может отказаться от выведения отходов своей деятельности в природную среду. Но поскольку многие из них неблагоприятно воздействуют на организм человека, животных, растений и экологические системы в целом, то необходимо ограничивать поступление этих загрязнений в природную среду. Эта задача решается путем усовершенствования технологических процессов и использования очистных сооружений. Вместе с тем, необходимо знать присутствие каких количеств загрязнений еще допустимо в биосфере, то есть необходимо заниматься нормированием содержания загрязнений в природе. Такая работа проводится во многих странах, в том числе и в России. Впервые в нашей стране принципы формирования нормативов содержания в окружающей среде загрязняющих веществ были изложены в Законе РСФСР «Об охране атмосферного воздуха» 1982 г.

Основным показателем, используемым для контроля качества среды, является предельно допустимая концентрация вредных веществ (ПДК). ПДК – это максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при постоянном (в течение всей жизни) или временном воздействии еще не вызывает в организме человека каких-либо патологических отклонений, а также неблагоприятных наследственных изменений у потомства.

По мере накопления информации о влиянии того или иного загрязнения периодически приходится пересматривать и его ПДК. Следует заметить, что величины ПДК могут различаться в разных странах. Значения ПДК одного и того же вещества различны для разных объектов внешней среды. Кроме того, в связи с невозможностью полностью прекратить выброс вредных веществ, для одинаковых объектов внешней среды устанавливаются разные ПДК в зависимости от характера их использования человеком. Например, различают ПДК для водоемов питьевого и рыбопромыслового назначения, а количество вредных примесей в воздухе по-разному нормируют для рабочей зоны и для населенных пунктов.

Для установления ПДК используются результаты биологических экспериментов, материалы наблюдений за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию вредных веществ, а также расчетные методы. Нормированию примесей экспериментальным способом обычно проводят в несколько этапов. Вначале проводятся исследования над однородными группами животных (белые мыши, крысы) путем их затравки в специальных камерах исследуемым веществом, введения его в брюшную полость или нанесения на кожный покров. При этом с помощью специальных медицинских тестов находят минимальные

пороговые концентрации. Устанавливают также летальную (смертельную) концентрацию или дозу, при которой погибает половина испытуемых животных (ЛК₅₀ и ЛД₅₀), а также ряд других токсикологических характеристик. На основе этих данных определяют класс опасности вещества, используемый для обоснования системы профилактических защитных мероприятий. В соответствии с этими показателями все химические загрязнения могут быть разбиты на несколько групп: чрезвычайно опасные, высоко опасные, умеренно опасные и малоопасные. Не опасных загрязняющих веществ не существует, т.к. при некоторых концентрациях все они представляют собой определенную опасность.

Расчетные методы определения ПДК основаны на установлении эмпирических соотношений между некоторыми быстро определяемыми токсикологическими характеристиками исследуемых веществ и ПДК. Найденные при этом величины обычно носят временный характер.

При нормировании содержания загрязнений необходимо учитывать возможность действия на организм не одного какого-то вещества, а одновременно нескольких. Разные вещества, находясь в окружающей среде, могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие. В этом случае говорят об «эффекте суммации вредного действия». В присутствии нескольких веществ (с концентрациями C_1, C_2, \dots, C_n), обладающих эффектом суммации, качество среды будет соответствовать установленным нормативам при условии, что

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1$$

Кроме того, разные по своей природе вещества могут взаимно усиливать (синергизм), или ослаблять (антагонизм) влияние друг друга.

В случае физических загрязнений окружающей среды вводятся понятия о предельно допустимых уровнях физических воздействий (шума, вибрации, температуры и т.д.) и предельно допустимых дозах (ионизирующих излучений).

Наряду с санитарно-гигиеническими нормативами качества окружающей природной среды (предельно допустимые концентрации вредных веществ, допустимый уровень физических воздействий), разработаны и производственно-хозяйственные нормативы воздействия на природу: допустимый выброс и сброс вредных веществ субъектом хозяйственной деятельности (устанавливается с учетом влияния других источников загрязнения), допустимое изъятие компонентов природной среды, норматив образования отходов производства, лимиты на выбросы и сбросы загрязняющих веществ. Имеется также и комплексный показатель – допустимая антропогенная нагрузка на окружающую среду.

7.2. Мониторинг окружающей среды

Экологический мониторинг представляет собой комплексную систему сбора информации, контроля, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды в локальном, национальном, региональном и глобальном масштабах. Государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг) осуществляется в соответствии с законодательствами Российской Федерации и её субъектов в целях наблюдения за состоянием окружающей среды и уровнем её загрязнения, в том числе за состоянием окружаю-

щей среды в районах расположения источников антропогенного воздействия, а также в целях обеспечения потребности государства, юридических и физических лиц в достоверной информации, необходимой для предотвращения и уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды. В Российской Федерации осуществляется государственный, производственный, муниципальный и общественный контроль в области охраны окружающей среды.

Основной принцип мониторинга – непрерывное слежение.

Принято выделять четыре основные группы наблюдений.

Первая группа включает наблюдения за источниками и факторами воздействия на окружающую среду. К ней относятся наблюдения за природными явлениями (извержениями вулканов, спонтанным выходом нефти и газа и т.д.), а также антропогенными выбросами загрязнений при работе промышленных и сельскохозяйственных предприятий, транспорта и т.п.

Вторая группа наблюдений характеризует состояние окружающей среды. К ней относятся наблюдения за природными объектами и ресурсами, за рельефом местности, народонаселением, урбанизацией и др., а также – за круговоротом веществ в природе, физическими и химическими характеристиками среды, путями распространения загрязнений в биосфере.

Третья группа включает наблюдения за реакцией биоты при различных воздействиях на неё.

К четвертой – относятся наблюдения за реакцией крупных систем (погоды, климата) и биосферы в целом.

Для успешного проведения указанных наблюдений используются различные физические, химические и биологические методы. При анализе результатов наблюдений необходимо учитывать состояние среды до антропогенного воздействия, а также глобальное и региональные фоновые её состояния.

По территориальному охвату различают три ступени или блока мониторинга: локальный (биоэкологический, санитарно-гигиенический), региональный (геосистемный, природно-хозяйственный) и глобальный (биосферный, фоновый).

В программу биоэкологического (санитарно-гигиенического) мониторинга, проводимого на локальном уровне входят наблюдения за изменением в различных сферах содержания загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными и иными неблагоприятными свойствами. Постоянным наблюдениям подвергаются следующие загрязняющие вещества, наиболее опасные для природных экосистем и человека:

- в поверхностных водах – радионуклиды, тяжелые металлы, пестициды, бенз(а)пирен, рН, минерализация, нефтепродукты, азот, фосфор, фенолы;

- в атмосферном воздухе – оксиды углерода, азота, диоксид серы, озон, пыль, аэрозоли, тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, бенз(а)пирен, азот, фосфор, углеводороды;

- в биоте – тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, бенз(а)пирен, азот, фосфор.

Исследуют и такие вредные физические воздействия, как радиацию, шум, вибрацию, электромагнитные поля и др.

На региональном (геосистемном) уровне наблюдения ведут за состоянием экосистем крупных природно-территориальных комплексов (бассейнов рек, лесных экосистем, агроэкосистем и т.д.), где имеются отличия параметров от базового фона вследствие антропогенных воздействий. Изучают трофические связи (биологические круговороты) и их нарушения, оценивают возможность использования ресурсов природных экосистем в конкретных видах деятельности, анализируют характер и количественные показатели антропогенных воздействий на окружающую природную среду в этих регионах. Например, ведут контроль за состоянием исчезающих видов животных в пределах какого-либо региона.

Задачей глобального мониторинга является наблюдение, контроль и прогноз возможных изменений биосферы в целом. Его называют еще фоновым или биосферным. Объектами глобального мониторинга являются атмосфера, гидросфера, растительный и животный мир и биосфера в целом как среда жизни всего человечества. Разработка и координация глобального мониторинга окружающей природной среды осуществляется в рамках ЮНЕП и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

При выполнении работ по программе глобального мониторинга особое внимание уделяют наблюдениям за состоянием природы из Космоса. Космический мониторинг позволяет получить уникальную информацию о функционировании экосистем как на региональном, так и на глобальном уровнях.

8. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Методы защиты окружающей человека среды представляют собой технологические, технические и организационные мероприятия, направленные на снижение или полное исключение загрязнения биосферы.

Универсальных методов защиты окружающей среды, радикально решающих проблему борьбы с загрязнениями в настоящее время не существует, и только сочетание нескольких рационально подобранных и научно обоснованных мероприятий в каждом конкретном случае может привести к желаемым результатам.

Для защиты от загрязнений используют две основные группы методов:

1) технологические, оказывающие непосредственное влияние на технологические процессы, которые являются источниками загрязнения;

2) организационно-технические, позволяющие уменьшить концентрации и уровни загрязнений по ходу их распространения в биосфере. То есть в этом случае не происходит влияния на технологии, приводящие к образованию загрязнений, а проводится лишь борьба с уже образовавшимися загрязнениями путем использования технических средств защиты и проведения организационных мероприятий.

При использовании технологических методов проблема устранения загрязнений решается радикально, но их разработка и внедрение связаны с трудоемкими и дорогостоящими мероприятиями (реконструкция предприятий и изменение существующих технологий, проведение специальных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, значительные капитальные затраты). Несмотря на проведение такого сложного комплекса мероприятий, решить вопросы защиты природной среды только технологическими методами не всегда возможно. Поэтому применяются и организационно-технические методы, хотя они менее эффективны, также часто требуют больших материальных затрат и защита среды в этом случае носит локальный характер.

Технологические методы борьбы с загрязнениями можно разбить на прямые и косвенные. Прямые методы позволяют снизить уровень загрязнений непосредственно в источнике их образования, что достигается путем снижения содержания загрязнений в исходном сырье, совершенствования технологических процессов и оборудования. Так, уменьшение загрязнения атмосферы при сжигании топлива может быть достигнуто улучшением качества топлива (например, снижением в нем содержания серы), совершенствованием топочных устройств (форсунок, горелок), переводом на более экологически чистый вид топлива.

Косвенные методы не обеспечивают снижение уровня загрязнений непосредственно в источнике, но позволяют уменьшить их образование при проведении последующих технологических процессов. Например, приближение формы и размеров заготовок к форме и размерам производящихся деталей позволяет снизить отходы производства и увеличить коэффициент использования исходного материала на металлорежущих станках; замена исходных не утилизируемых материалов на утилизируемые приводит к более полной утилизации отходов.

Высшей формой совершенствования технологии производства является создание замкнутых технологических процессов, систем оборотного водоснабжения, безотходной технологии, что возможно только при сочетании прямых и косвенных методов.

Однако на нынешнем уровне развития технологий основным способом борьбы с загрязнениями окружающей среды является применение организационно-технических методов. Они включают в себя следующие мероприятия:

1) рассредоточение источников загрязнения, позволяющее снизить локальную нагрузку вредных веществ на биосферу до допустимых уровней, с нейтрализацией которых природа справляется сама;

2) локализация источников загрязнения за счет изоляции, герметизации, экранирования, а также захоронения отходов, позволяющая ограничить распространение загрязнителей в биосфере;

3) очистка выбросов в биосферу с помощью специальных технических устройств и аппаратов, использующих различные физические, химические, физико-химические и биохимические способы очистки.

В настоящее время основным средством борьбы с вредными выбросами является применение газоочистных и водоочистных сооружений. В зависимости от объекта очистки применяется множество различных методов и аппаратов, часто обладающих селективностью и различающихся конструктивно, по принципу действия, производительности. Многие современные технологические процессы связаны с дроблением и измельчением веществ, транспортированием сыпучих материалов. При этом часть материала переходит в пыль, которая, как правило, вредна для здоровья, наносит значительный материальный ущерб и является одним из наиболее распространенных видов загрязнений.

Работа пылеулавливающих аппаратов основана на использовании различных механизмов осаждения частиц. Современные устройства для обеспыливания газов можно разбить на несколько групп:

1) механические устройства, в которых пыль отделяется под действием силы тяжести, инерции и центробежной силы (циклоны, пылесадительные камеры);

2) мокрые или гидравлические аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью (скрубберы, газопромыватели);

3) пористые фильтры (тканевые, зернистые);

4) электрофильтры, в которых частицы осаждаются за счет ионизации.

Вместе с отходящими газами в атмосферу попадают не только твердые частицы, вызывающие механическое загрязнение, но и огромное количество химических соединений, часто обладающих высокой токсичностью (диоксид серы, окислы азота, углерода, пары свинца и ртути, углеводороды, сероводород и т.д.). Для очистки от таких веществ требуются другие методы. Весьма часто для очистки газовых выбросов и сточных вод используют процессы сорбции – т.е. поглощение одного вещества другим. Сорбция делится на абсорбцию и адсорбцию, которые представляют собой поглощение вещества соответственно объемом или поверхностью другого вещества. При адсорбционных методах поглощаемые молекулы удерживаются на поверхности твердых тел силами Ван-дер-Ваальса (физическая адсорбция), либо химическими силами (хемосорбция).

Существуют также реагентные (химические) методы очистки, когда токсичные компоненты выбросов превращаются в нетоксичные в результате химических превращений. Часто химические реакции идут в присутствии специальных катализаторов и такие способы очистки называют каталитическими.

Для наиболее полной очистки одновременно используется несколько методов. Выбор метода зависит от концентрации загрязнителя, объема и температуры среды (например, газа), наличия других примесей, от требуемой степени очистки и возможности использования образующихся в процессе очистки продуктов. Использование такого рода продуктов называется рекуперацией (*лат* – обратное получение, возвращение). По этому признаку все методы очистки подразделяют на рекуперационные и деструктивные. Рекуперационные предусматривают извлечение и дальнейшую переработку ценных веществ, при деструктивных методах загрязняющие вещества подвергаются разрушению путем окисления или восстановления. Отходы можно ликвидировать путем их захоронения или закачки в глубокие подземные скважины, сжигания, санитарной земляной засыпки, а также помещения в шламохранилища и на свалки.

Методы очистки зависят от агрегатного состояния очищаемой среды.

Для удаление твердых нерастворимых примесей из сточных вод применяют механическую очистку, для чего используют методы процеживания, отстаивания, фильтрования. Для интенсификации процессов осаждения мелких дисперсных частиц в сточные воды добавляют коагулянты (некоторые неорганические соли) и флокулянты (водорастворимые полимеры), под действием которых из частиц загрязнителя образуются более крупные агрегаты, которые осаждаются быстрее. Применяют также действие центробежных сил (центрифуги, гидроциклоны).

В случае, когда нерастворимые примеси не отстаиваются под действием силы тяжести, для их извлечения используют процессы флотации (*франц* – плавать). Воду насыщают мелкими пузырьками газа (например, воздуха), к которым прилипают частицы и вместе с пузырьками поднимаются на поверхность, откуда их и удаляют. В зависимости от способа образования в воде пузырьков существуют различные виды флотации. Возможна продувка воздуха через мелкопористые материалы. Газы могут выделяться вследствие протекания химических реакции (химическая флотация) или в результате пропускания через сточную воду электрического тока (электрофлотация).

Для устранения из воды растворенных примесей применяют химические методы, когда в воду вводят специальные реагенты, вступающие в реакции с загрязнениями. В результате образуются малотоксичные или нерастворимые в воде вещества. Наиболее распространены методы нейтрализации и окисления хлором, кислородом воздуха, озоном.

К физико-химическим методам очистки (кроме ранее названных коагуляции, флокуляции, флотации, адсорбции) относят такие процессы, как экстракция (вытягивание), кристаллизация, дистилляция, ректификация и др.

Существуют биохимические методы очистки. Они считаются основными для обеззараживания сточных вод от органических примесей, которые окисляются микроорганизмами. Известны аэробные (с использованием кислорода) и анаэробные (бескислородные) методы биохимической очистки сточных вод.

Очистка считается эффективной, если она проводится до достижения ПДК. Однако, чем выше степень очистки, чем ближе концентрация загрязнений приближается к предельно допустимой, тем больше затраты на процесс очистки. С другой стороны, наличие загрязнений в сточной воде или в газовых выбросах приводит к большим расходам на ликвидацию ущерба от них, который растет с увеличением остаточной концентрации этих загрязнений. Зависимость суммарных затрат на ликвидацию ущерба и очистку выбросов в биосферу от концентрации загрязнений, оставшихся после очистки, может быть представлена в виде кривой с минимумом, соответствующим экономически оптимальной степени очистки. Как правило, этот экономический оптимум достигается при остаточной концентрации, значительно превышающей ПДК. То есть достаточно полная очистка экономически не выгодна. Для приближения экономического минимума к ПДК следует или снижать стоимость очистки, или увеличивать затраты, которые несет производитель загрязнений, увеличивая, например, штрафные санкции.

Вплоть до середины XX века при организации производства практически не учитывалось воздействие на природу. Цель была одна – получить необходимый продукт, а сопутствующие отходы считали пренебрежимо малыми по сравнению со способностью биосферы к самоочищению. До тех пор, пока масштабы производства были невелики, это было оправдано. Однако в настоящее время количество и характер отходов таковы, что природная среда не успевает или вообще не может их нейтрализовать. Время бесконтрольных выбросов отходов в биосферу прошло. Во всех промышленно развитых странах ведется строительство различных очистных сооружений и систем, тратятся огромные средства, занимаются большие территории, но эффективность очистки часто оказывается неудовлетворительной.

Давая общую характеристику методам защиты окружающей среды, было отмечено, что наиболее радикальным решением проблемы устранения загрязнений является использование технологических методов. Единственным технически правильным и экономически оправданным путем решения данной проблемы является создание малоотходных, а в отдельных случаях безотходных

экологически чистых технологий и производств. Еще Д.И. Менделеев утверждал, что в химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье.

Под безотходным понимают такое производство, когда отходы одних производств или технологических процессов служат сырьем для других. Иногда утверждают, что в природе идут в основном безотходные процессы. О живой природе действительно можно говорить как о саморегулирующейся системе. В экосистемах протекают круговороты веществ. Однако часто они лишь относительно замкнуты. Есть утверждения, что в природе все утилизируется. Но при полной утилизации не формировалась бы почва, не отлагались торф, уголь, нефть, сланцы. Если бы биосфера была безотходной, то откуда взялись бы все биогенные осадочные породы – мел, известняк, мрамор и другие? Секрет природы не в том, что она безотходная, а в том, что неизбежные отходы захоронены так и в таком виде, что они не оказывают вредного воздействия на природу на будущих этапах её развития.

Безотходная технология имеет две основные модификации:

1) создание технологического процесса, в результате которого не образуются отходы при использовании природного сырья;

2) использование образующихся отходов в качестве вторичного сырьевого материала как для данного, так и для других технологических процессов или производств.

В комплекс мероприятий по сокращению до минимума количества вредных отходов и уменьшения их воздействия на окружающую природную среду входят:

- разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на основе очистки сточных вод;

- разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;

- создание и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного её использования;

- создание новых производственных процессов, позволяющих исключить или сократить технологические стадии, на которых происходит образование отходов.

Одним из элементов безотходной технологии является создание бессточных, замкнутых систем водоснабжения. При оборотном водоснабжении должна проводиться необходимая очистка сточной воды, её охлаждение, обработка и повторное использование, что в десятки раз снижает потребление природной воды (восполнение потерь на испарение, розлив и т.п.).

Однако необходимо иметь в виду, что полностью безотходных производств не бывает. Это – идеальная модель, к которой нужно стремиться при организации реального производства, и поэтому можно говорить лишь о степени такого приближения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Список основных понятий и терминов, используемых в курсе «Экология»

Абиогенез – гипотеза о возникновении живого из неживого.

Автотрофы (автотрофные организмы) – самопитающиеся организмы, синтезирующие из неорганических веществ необходимые для жизни органические вещества.

Адаптация – приспособление организмов к среде своего существования.

Азотфиксация – связывание молекулярного азота атмосферы и перевод его в азотистые соединения. В природе этот процесс осуществляется **азотфиксирующими бактериями**.

Аккреция – гравитационный захват вещества и последующее его падение на космическое тело под действием гравитационных сил.

Активность радиоактивного вещества – количество распадов в 1 грамме вещества за единицу времени.

Альbedo – отражательная способность поверхности.

Альфа-частица – ядро атома гелия.

Аменсализм – разновидность межвидового взаимодействия, при котором один вид (аменсал) испытывает угнетение роста и размножения продуктами выделения другого.

Анаэробные организмы – живые организмы, обмен веществ которых осуществляется без участия свободного молекулярного кислорода.

Антропогенное воздействие – деятельность, связанная с реализацией экономических, военных, рекреационных, культурных и других интересов человека, вносящая физические, химические и биологические изменения в окружающую среду.

Антропоцентризм – воззрение на характер взаимоотношений человека и природы, согласно которому человек является в природе главным (человек есть центр и высшая цель мироздания).

Ареал – область распространения вида.

Астеносфера – слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли, подстилающий литосферу.

Атмосфера – газовая оболочка Земли, вращающаяся вместе с нею и состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли.

Аэробные организмы – живые организмы, обмен веществ которых осуществляется с участием свободного молекулярного кислорода.

Безотходная технология – технология, обеспечивающая получение продукта без отходов (или с малыми отходами) – экологический идеал любого производства.

Бета-частица – электроны и позитроны, испускаемые при бета распаде.

Биогенные элементы – химические элементы, входящие в состав живых организмов (кислород, углерод, азот, фосфор и др.); выделяются в среду при распаде мертвых организмов, являются питательными веществами (в виде солей) для автотрофных организмов.

Биогеохимический цикл – круговорот химических веществ из неорганической среды через растительные и животные организмы обратно в неорганическую среду с использованием солнечной энергии и энергии химических реакций.

Биогеоценоз – см. экологическая система.

Биологические ритмы (биоритмы) – циклические колебания интенсивности ихарактера биологических процессов и явлений.

Биологическое загрязнение – изменение биоценозов из-за чрезмерного внедрения или уничтожения растительных или животных видов.

Биологическое накопление – концентрация в трофических цепях и исключение из круговоротов некоторых веществ

Биом – совокупность экосистем, входящих в одну природно-ландшафтную зону.

Биосфера – общепланетарная экосистема; совокупность всех живых организмов на Земле, а также та часть неживой природы, с которой эти живые организмы взаимодействуют.

Биота – совокупность организмов, объединенных общей областью распространения. В отличие от биоценоза может характеризоваться отсутствием экологических связей между организмами.

Биотические факторы – совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие, а также на среду их обитания.

Биотоп – совокупность неорганических компонентов и физико-химических параметров среды обитания данного биоценоза.

Биоценоз – сообщество популяций организмов, совместно обитающих и взаимодействующих на определенном пространстве.

Вид – совокупность организмов, обладающих рядом общих признаков и способных к скрещиванию с образованием плодовитого потомства.

Водопользование – использование водных ресурсов, не связанное с изъятием воды из источника.

Водопотребление – использование водных ресурсов, связанное с изъятием воды из источника и её частичным возвратом (**полное водопотребление**), или без возвращения в данный источник (**безвозвратное водопотребление**).

Геоид – фигура Земли.

Геомагнитное поле – магнитное поле Земли

Гетеросфера – верхний слой атмосферы с высоты от 100 км и более, в котором газовый состав зависит от высоты.

Гетеротрофы (гетеротрофные организмы) – используют для своего питания готовые органические вещества (других организмов).

Гидросфера – совокупность всех вод на земле: поверхностных (океаны, моря, реки, озера, болота, ледники, снежный покров), подземных, атмосферных, входящих в состав живых организмов.

Годограф – (в сейсмологии) график зависимости времени пробега сейсмической волны от эпицентрального расстояния.

Гомеостаз – самовозобновление и поддержание постоянства состава и свойств внутренней среды, а также устойчивость основных физиологических функций организма.

Гомосфера – нижний слой атмосферы толщиной 80–100 км, характеризующийся постоянством состава основных атмосферных газов.

"Демографический взрыв" – резкое ускорение темпов роста населения.

Диапазон толерантности (терпимости) – пределы изменения значений экологического фактора, при которых сохраняются условия для существования данного вида организмов.

Докембрий – древнейший этап в истории Земли продолжительностью около 4 млрд. лет. Подразделяется на архей и протерозой.

Дыхание – совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода и удаление углекислого газа, а также использование кислорода клетками и тканями для окисления органических веществ с освобождением энергии, необходимой для их жизнедеятельности.

Естественный отбор – процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных; следствие борьбы за существование.

Живое вещество – совокупность всех живых организмов биосферы (по В.И. Вернадскому)

Загрязнение окружающей среды – привнесение в окружающую среду химических веществ, физических агентов или биологических организмов в количествах, отличных от средних многолетних норм, и оказывающих вредное воздействие на человека, флору и фауну.

Заказник – территория (акватория), на которой при ограниченном использовании природных ресурсов временно охраняются отдельные виды животных или растений.

Заповедник – участок земли, либо водного пространства, в пределах которого весь природный комплекс полностью изъят из хозяйственного использования и находится под охраной государства.

Землетрясения – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней мантии.

Земная кора – верхняя оболочка "твердой" Земли, расположенная над границей Мохоровичича.

Зоофаги – плотоядные организмы (хищники).

Изотопы – ядра атомов, различающиеся числом нейтронов, но содержащие одинаковое число протонов и занимающие одно и то же место в периодической системе элементов.

Иммунитет – приобретенная или наследственная невосприимчивость организма к возбудителям болезней или вредным веществам.

Инверсия геомагнитного поля – изменение направления (полярности) магнитного поля Земли на обратное.

Ионосфера – верхний слой атмосферы, начиная от 60–80 км, характеризующийся значительной степенью ионизации атмосферных газов.

Канцерогенные загрязнения – вызывающие злокачественные опухоли.

"Кислотные дожди" – атмосферные осадки, характеризующиеся низкими значениями pH, обусловленными химическим загрязнением атмосферы, преимущественно оксидами азота и серы.

Коацерваты – капельки в коллоидном растворе с более высокой концентрацией вещества, чем окружающий раствор.

Комменсализм – разновидность межвидового взаимодействия, когда один вид (комменсал) получает пользу от сожительства, а другому виду это объединение безразлично.

Компоненты природной среды – земля, недра, почва, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, околоземное космическое пространство, растительный и животный мир и иные организмы, обеспечивающие в совокупности условия для развития жизни на Земле.

Конкуренция – разновидность межвидового взаимодействия, приводящего к прямому или непрямому подавлению обоих видов.

Консументы – организмы, потребляющие органическое вещество (растительного или животного происхождения) и преобразующие его в иные формы.

Контракция – сжатие.

Косное вещество – вещество, возникшее без участия живых организмов (по В.И.Вернадскому).

Красная книга – издание, содержащее сведения о редких, исчезающих или находящихся под угрозой исчезновения видах растений, животных и других организмов с целью введения режима их особой охраны и воспроизводства.

Креационизм – религиозное учение о сотворении мира Богом из ничего.

Ксенобиотики – чужеродные для организмов соединения (промышленные загрязнения, пестициды, препараты бытовой химии)

Ландшафт – географический комплекс, в котором все основные компоненты взаимосвязаны и образуют однородную по условиям развития единую систему.

Лимитирующий экологический фактор – фактор, избыток или недостаток которого ограничивает развитие данной популяции.

Литосфера – внешняя сфера "твердой" Земли, включающая в себя земную кору и часть верхней мантии.

Магнитные бури – возмущения магнитного поля Земли, вызванные воздействием усиленных потоков солнечной плазмы ("солнечного ветра").

Магнитосфера Земли – область действия магнитного поля Земли, т.е. область околоземного пространства, заполненная заряженными частицами космического происхождения, движущимися в магнитном поле Земли.

Магнитуда землетрясения – условная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний, вызванных землетрясениями.

Мальтузианство – теория народонаселения, основанная на идеях английского священника Томаса Роберта Мальтуса, сутью которых является признание несоответствия растущих потребностей человечества возможностям биосферы в их удовлетворении, что вызывает необходимость сдерживания роста населения и экономии ресурсов.

Мантия Земли – оболочка Земли, расположенная между корой и ядром Земли (между границами Мохоровичича и Гутенберга).

Мезосфера – слой атмосферы, находящийся над стратосферой на высотах от 55 до 80–85 км и характеризующийся понижением температуры от 0 °С до приблизительно –90 °С на верхней границе.

Метаболизм – обмен веществ.

Микробиологическое загрязнение – появление необычно большого количества микроорганизмов, связанное с их массовым размножением в средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека.

Мобилизм – геологическая гипотеза, предполагающая большие горизонтальные перемещения крупных литосферных плит.

Мониторинг окружающей среды – комплексная система наблюдения за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений её состояния под воздействием природных и антропогенных факторов.

Мутагенез – процесс возникновения в организме наследственных изменений под влиянием некоторых физических и химических факторов (мутагенов).

Мутагенные загрязнения – приводящие к изменению наследственной информации.

Мутации – изменения наследственных свойств организма в результате перестроек и нарушений в его генетическом материале, возникающих под влиянием естественных факторов или искусственного влияния на организм.

Мутуализм – разновидность межвидового взаимодействия, которое благоприятно для обоих видов, причем, они не могут существовать друг без друга.

Наследственность – свойство организмов повторять в ряду поколений сходные типы обмена веществ и индивидуального развития в целом.

Национальный парк – территория (акватория), на которой охраняются ландшафты и уникальные объекты природы с допуском посетителей для отдыха.

Неисчерпаемые ресурсы – преимущественно внешние по отношению к Земле процессы и явления, такие, как солнечная энергия и производные от неё ветровая энергия, энергия движущейся воды.

Нейтрализм – разновидность межвидового взаимодействия, когда оба вида независимы и не влияют друг на друга.

Ноосфера – новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека становится решающим фактором её развития.

Общесоматические загрязнения – вызывающие отравление всего организма.

"Озоновая дыра" – область в озоновом слое Земли, в которой произошло уменьшение концентрации озона.

Озоновый слой – область атмосферы (стратосферы) с повышенной концентрацией озона по сравнению с другими частями атмосферы.

Окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных, природно-антропогенных и антропогенных объектов.

Организм – живое существо, обладающее совокупностью свойств, отличающих его от неживой материи (клеточная организация, обмен веществ, движение, раздражимость, рост, развитие, адаптация, размножение, наследственность).

Охрана окружающей среды – деятельность органов государственной власти, общественных организаций, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию её последствий.

Палеомагнетизм – свойство горных пород намагничиваться в период своего формирования под действием магнитного поля Земли и сохранять приобретенную намагниченность в последующие эпохи.

Панспермия – гипотеза о возможности переноса жизни во Вселенной с одного космического тела на другое.

Паразитизм – разновидность межвидового взаимодействия, при котором один вид (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания и источника питания, нанося ему вред.

«Парниковый эффект» – увеличение температуры приземной атмосферы, обусловленное наличием в ней газов, поглощающих отраженную от поверхности Земли инфракрасную радиацию.

Пестициды – ядохимикаты, химические препараты для защиты растений от сорняков (**гербициды**), вредителей-насекомых (**инсектициды**), клещей (**акарициды**), животных (**зооциды**), грибков-возбудителей болезней (**фунгициды**), болезнетворных бактерий (**бактерициды**).

Планетезималь – в космогонии Солнечной системы тело, представляющее собой промежуточную ступень формирования планеты из протопланетного газопылевого облака.

Плоскость эклиптики – воображаемая плоскость, в которой расположены орбиты планет, вращающихся вокруг Солнца.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, понижающие поверхностное натяжение воды, используются при производстве моющих средств – **детергентов**.

Поглощенная доза – количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы вещества.

Популяция – совокупность совместно обитающих и взаимодействующих между собой организмов, принадлежащих к одному виду.

Почва – природная трехфазная система, включающая твердые, жидкие и газообразные компоненты, представляет собой продукт физического, химического и биологического преобразования горных пород под воздействием климата, растений, животных и микроорганизмов.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает в организме каких-либо патологических отклонений, а также неблагоприятных наследственных изменений у потомства.

Продуценты – организмы, производящие первичное органическое вещество из неорганического, составляющие первое звено в трофической цепи.

Протокооперация (содружество) – разновидность межвидового взаимодействия, которое приносит пользу обоим видам, но они могут существовать и отдельно.

Радиационные пояса – внутренние области магнитосферы, в которых собственное магнитное поле планеты удерживает заряженные частицы (протоны, электроны), обладающие большой кинетической энергией.

Радиоактивность – самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием альфа- или бета-частицы и гамма-излучения.

Раздражающие загрязнения – вызывающие раздражение дыхательных путей и слизистых оболочек.

Раздражимость – свойство живых объектов отвечать на воздействия внешней среды изменениями своего состояния или деятельности.

Редуценты – организмы, разлагающие до простых неорганических соединений и элементов органические вещества отмерших растений и животных.

Рифт – линейно вытянутая (на несколько сотен и тысяч км) структура растяжения земной коры, ограниченная разломами, литосферная трещина, через которую на поверхность Земли выделяется мантийное вещество.

Рождаемость – демографический показатель, определяемый количеством живорожденных детей на 1 тысячу населения за год.

Санитарно-гигиенические нормативы качества среды – нормативы предельно-допустимых концентраций вредных веществ, физических воздейст-

вий, санитарных защитных зон, предельно-допустимых уровней радиационного воздействия.

Сейсмические волны – упругие колебания вещества Земли, распространяющиеся от очагов землетрясений, взрывов и других источников.

Сенсибилизирующие загрязнения – химические вещества, вызывающие аллергические реакции.

Симбиоз – сожительство; встречается антагонистический и мутуалистический симбиоз.

Смертность – демографический показатель, определяемый количеством смертей на 1 тысячу населения за год.

Солнечная постоянная – суммарный поток солнечного излучения, проходящий за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению лучей и находящуюся на верхней границе атмосферы.

Солнечный ветер – поток заряженных частиц (протоны, электроны), движущихся в космическом пространстве, обусловленный истечением плазмы солнечной короны.

Срединно-океанические хребты – система подводных гор, вытянувшихся по осевым зонам океанов, опоясывающая весь земной шар.

Стенобионты – организмы, способные существовать лишь при относительно постоянных условиях окружающей среды.

Стратосфера – слой атмосферы, расположенный над тропосферой до высоты 50–55 км, характеризующийся постепенным повышением температуры с высотой до значений, близких к 0 °С.

Сукцессия – последовательная смена биоценозов на определенной территории под влиянием природных факторов или воздействия человека.

Тератогенные загрязнения – приводящие к повреждению зародыша и возникновению аномалий в его развитии.

Термосфера – слой атмосферы над мезосферой, в котором наблюдается рост температуры с высотой до значений порядка 1500 К.

Тропосфера – нижняя, наиболее плотная часть атмосферы до высоты от 8–10 км (в полярных областях) до 15–18 км (в тропических широтах), характеризующаяся постепенным снижением температуры с высотой со скоростью около 6 градусов на километр.

Трофическая цепь – цепь питания, последовательность организмов, связанных между собой пищевыми взаимоотношениями.

Урбанизация – процесс повышения доли городского населения и роли городов в развитии общества.

Утилизация отходов – вовлечение отходов производства в новые технологические циклы, использование в полезных целях.

Фанерозой – крупнейший этап геологической истории Земли, следующий за докембрием (последние 570 млн. лет), и охватывающий палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры.

Физические загрязнения окружающей среды – изменение энергетических параметров окружающей среды (нарушение теплового режима, естественной освещенности, состояния акустической среды, изменения электромагнитных свойств среды и др.)

Фитофаги – растительноядные организмы.

Фокус (гипоцентр) землетрясения – место землетрясения, источник сейсмических волн.

Фотосинтез – процесс синтеза органического вещества из неорганических соединений (углекислого газа, воды), осуществляемый зелеными растениями и фотосинтезирующими микроорганизмами с использованием солнечной энергии; при этом в качестве побочного продукта выделяется свободный кислород.

Хемосинтез – процесс образования некоторыми бактериями органических веществ из двуокиси углерода за счет энергии, полученной при окислении неорганических соединений.

Химическое загрязнение окружающей среды – изменение естественных химических свойств среды в результате проникновения в среду веществ, нормально отсутствующих в ней, или в концентрациях, отличных от нормы.

Хищничество – непосредственное поедание организмов одних видов другими.

Шельф – прибрежная отмель.

Шум – сочетание различных по частоте и интенсивности звуков.

Эврибионты – организмы, способные переносить значительные изменения условий окружающей среды.

Эврифаги – всеядные организмы, питающиеся растительной и животной пищей.

Эвтрофикация – обогащение водных объектов биогенными элементами, сопровождающееся повышением продуктивности вод (например, "цветение" воды) и их вторичным загрязнением, часто приводящим к дефициту кислорода, замору рыбы.

Эквивалентная поглощенная доза – поглощенная доза ионизирующего излучения, рассчитанная с учетом специфики действия разных излучений (коэффициент качества излучения) на организмы.

Экзосфера – внешний слой атмосферы с высоты в несколько сотен км, где быстро движущиеся частицы газов преодолевают земное притяжение и уходят в космическое пространство.

Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Экологическая ниша – совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе.

Экологическая система (экосистема) – совокупность биотопа и связанного с ним биоценоза.

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Экологический фактор – любой элемент или условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Экологический фактор абиотический – фактор неживой природы.

Экологический фактор биотический – фактор живой природы.

Экология – наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания.

Экоцентризм – тип экологического сознания, ориентированного на гармоничное развитие человека и природы, их взаимовыгодное сотрудничество при сохранении существующего в природе экологического равновесия.

Эпицентр землетрясения – проекция гипоцентра землетрясения по радиусу на поверхность Земли.

Эпицентральное расстояние – величина центрального угла между двумя радиусами, проведенными в направлении гипоцентра (эпицентра) землетрясения и сейсмической станции, зафиксировавшей приход сейсмической волны.

Эрозия почв – загрязнение и разрушение почв под действием ветра, воды, техники и ирригации.

ЮНЕП – программа ООН по окружающей среде – организация в структуре ООН, занимающаяся проблемами окружающей среды.

«Ядерная зима» – наименование сценария возможных последствий для биосферы массового использования ядерного оружия.

Ядро Земли – центральная, наиболее глубокая геосфера Земли, располагающаяся под границей Гутенберга, делится на внешнее и внутреннее ядро.

2. Список ученых, внесших крупный вклад в развитие Экологии

Будыко Михаил Иванович (р. 1920) – геофизик, член-корреспондент РАН, труды по климатологии, биоклиматологии, экологии, тепловому балансу земной поверхности

Вернадский Владимир Иванович (1863–1945) – крупнейший русский ученый XX века, основатель геохимии, биогеохимии, радиогеологии. Автор работ по философии естествознания, науковедению. Создатель учения о биосфере и её эволюции, о мощном воздействии на окружающую среду человека и преобразовании современной биосферы в ноосферу.

Вольтерра Вито (1860–1940) – итальянский математик, разработал математические модели роста отдельной популяции и динамики популяций, связанных отношениями конкуренции и хищничества.

Гаузе Георгий Федорович – советский биолог, открыл и экспериментально доказал принцип конкурентного исключения близкородственных видов – принцип Вольтерры-Гаузе.

Геккель Эрнст (1834–1919) – немецкий биолог и популяризатор науки, автор термина "экология", сформулировал биогенетический закон, связывающий индивидуальное развитие организма и его эволюцию (каждый организм в индивидуальном развитии повторяет стадии развития предков).

Данилов-Данильян Виктор Иванович – член-корреспондент РАН, председатель Госкомитета РФ по охране окружающей среды, академик Экологической Академии, сопредседатель Российского экологического союза.

Дарвин Чарльз Роберт (1809–1882) – английский естествоиспытатель, создатель дарвинизма, вскрыл основные факторы эволюции органического мира.

Зюсс Эдуард (1831–1914) – австрийский геолог, автор термина "биосфера"

Израэль Юрий Антониевич (р.1930) – академик РАН, директор Института глобального климата и экологии, президент Российской Экологической Академии, труды по геофизическим аспектам экологии.

Коммонер Барри – американский эколог, сформулировал четыре основных закона природы – "законы Коммонера"

Ламарк Жан Батист (1744–1829) – французский естествоиспытатель, предшественник Ч.Дарвина, создал учение об эволюции живой природы, одним из первых обратил внимание на влияние внешней среды на эволюцию живых организмов.

Ле Шателье Анри Луи (1850–1936) – французский физико-химик, сформулировал общий закон смещения термодинамического равновесия (принцип Ле Шателье–Брауна)

Либих Юстус (1803–1873) – немецкий химик, один из создателей агрохимии, рассмотрел роль лимитирующих экологических факторов на развитие растений ("закон минимума Либиха").

Мебиус Карл (1825–1908) – немецкий гидробиолог, ввел понятие "биоценоз" (1877).

Медоуз Донелла Х. и Деннис Л. – ученые и общественные деятели, авторы докладов Римскому клубу: "Пределы роста" и "За пределами роста".

- Миллер Тайлер** – американский эколог, автор основополагающего учебного пособия по экологии в университетах и колледжах США, переведенного на русский язык, – "Жизнь в окружающей среде" в трех томах.
- Моисеев Никита Николаевич** (1917–2000) – академик РАН, труды в области общей механики и прикладной математики, философии естествознания, оптимизации природопользования; рассмотрел методологические проблемы взаимоотношений биосферы и общества, модели динамики биосферы; один из разработчиков сценария последствий атомной войны ("Ядерная зима").
- Одум Юджин** – известный американский эколог, автор одного из лучших учебников по экологии "Основы экологии".
- Опарин Александр Иванович** (1894–1980) – советский биохимик, академик, автор теории происхождения жизни на Земле в результате предбиологической эволюции углеродистых соединений.
- Реймерс Николай Федорович** – советский эколог, педагог, автор книг по экологии: "Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы)", "Надежды на выживание человечества: Концептуальная экология".
- Сукачев Владимир Николаевич** (1880–1967) – советский ботаник, географ и лесовед, ввел в науку понятие "биогеоценоз", основоположник одного из направлений в экологии – биогеоценологии, академик АН СССР.
- Тенсли Артур** – английский биолог, ввел понятие "экологическая система".
- Тимирязев Климент Аркадьевич** (1843–1920) – русский естествоиспытатель-дарвинист, один из основоположников научной школы физиологов растений; раскрыл энергетические закономерности фотосинтеза.
- Чижевский Александр Леонидович** (1897–1964) – русский биофизик, основоположник гелиобиологии и космической биологии. Установил зависимость между циклами активности Солнца и многими явлениями в биосфере.
- Шелфорд Виктор Эрнест** (1877–1968) – американский зоолог, специалист в области экологии, главным образом водных организмов. Первый президент экологического общества США. Сформулировал "закон толерантности" в экологии.
- Яблоков Алексей Владимирович** (р. 1933) – биолог, член-корреспондент РАН, работы по теории эволюции, популяционной биологии, охране живой природы; общественный деятель, в середине 90-х годов – председатель комиссии по экологической безопасности Совета безопасности РФ, лауреат высшей награды Всемирного фонда охраны природы.
- Яншин Александр Леонидович** (1911–1999) – геолог, академик РАН, один из организаторов и первый президент Российской Экологической Академии.

3. Список рекомендуемой литературы

Основная литература

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д.: Феникс, 2005 – 2008.

Основы экологии, безопасности жизнедеятельности и экономико-правового регулирования природопользования: Учебное пособие / М.Д. Гольдфейн, Н.В. Кожевников, А.В. Иванов, Н.И. Кожевникова; под ред. М.Д. Гольдфейна. М.: Изд-во РГТЭУ, 2006.

Шилов И.А. Экология. М.: ВШ., 2003, 2006.

Дополнительная

1. Безопасность жизнедеятельности и эколого-экономические проблемы природопользования: Учебное пособие / М.Д. Гольдфейн, А.В. Иванов, Н.В. Кожевников и др. М.: Изд-во РГТЭУ, 2008.
2. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М., 1994.
3. Гольдфейн М.Д., Кожевников Н.В., Трубников А.В. и др. Проблемы жизни в окружающей среде. Саратов, 1995.
4. Ерофеев Б.В. Экологическое право России. М., 1996.
5. Закон «Об охране окружающей среды». М., 2004.
6. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. М., 1994.
7. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. М., 1993-1995. Т. 1-3.
8. Небел Б. Наука об окружающей среде. М., 1993.
9. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек. М., 2002, 2005
10. Общая геофизика / Под ред. В.А.Магницкого. М., 1995.
11. Одум Ю. Экология. М., 1986.
12. Основы экологии, безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды: учеб. пособие / М.Д. Гольдфейн, Н.В. Кожевников, Н.И. Кожевникова; под ред. М.Д. Гольдфейна. Саратов, 2000.
13. Охрана окружающей природной среды: Постатейный комментарий к закону России. М., 1993.
14. Петров К.М. Общая экология. Взаимодействие общества и природы. СПб., 1998.
15. Проблемы экологии России / под ред. В.И.Данилова-Данильяна, В.М.Котлякова). М., 1993.
16. Реймерс Н.Ф. Концептуальная экология. М., 1992.
17. Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде. М., 1984.
18. Розанов С.И. Общая экология. СПб., М., Краснодар: Лань, 2003, 2005.
19. Стадницкий Г.В., Родионов А.Н. Экология. СПб., 1997.
20. Чернобаев И.П. Химия окружающей среды. Киев, 1990.
21. Экология: Материалы к государственной аттестации выпускников по специальности «Экология» / В.В.Аникин, А.В.Беляченко, В.А.Болдырев и др. Саратов: Изд-во Сара тун-та, 2009.
22. Экология / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова М.: Дрофа, 2004, 2006.