

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

А.П. БЫКОВ

# ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

ЧАСТЬ 1

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2011

УДК 502.5(075.8)  
Б 953

Рецензенты:

*С.М. Коробейников*, д-р физ.-мат. наук  
*Т.С. Селегей*, ведущий научный сотрудник ГУ «СибНИГМИ»

**Быков А.П.**

Б 953 Инженерная экология : учеб. пособие / А.П. Быков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – Ч. 1. – 208 с.

ISBN 978-5-7782-1634-1

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения, изучающих дисциплины «Экология», «Экологические проблемы отрасли», «Системы защиты среды обитания», «Обеспечение экологичности предприятий автосервиса», «Экологическая экспертиза проектов».

Учебное пособие состоит из двух частей. В первую часть входят два раздела: «Введение в дисциплину “Экология”» и «Классификация и характеристика загрязнений окружающей среды». Во вторую часть входит раздел «Основы экологии производства».

Работа подготовлена на кафедре безопасности труда

УДК 502.5(075.8)

ISBN 978-5-7782-1634-1

© Быков А.П., 2011  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	7
<b>Раздел 1. Введение в дисциплину «Экология».....</b>	<b>9</b>
<b>Глава 1. Общие вопросы экологии .....</b>	<b>9</b>
Структура современной экологии.....	10
Экологические проблемы и задачи современной экологии .....	15
Контрольные вопросы.....	17
<b>Глава 2. Биосфера – живая оболочка Земли .....</b>	<b>18</b>
Атмосфера.....	19
Гидросфера.....	28
Литосфера.....	30
Биосфера и космос.....	33
Живое вещество и биосфера.....	36
Контрольные вопросы.....	38
<b>Глава 3. Экологические системы .....</b>	<b>39</b>
Биосистемы .....	39
Свойства и функции экосистем.....	45
Потоки энергии в пищевых цепях .....	51
Саморегуляция и стабильность экосистем.....	52
Примеры экосистем.....	56
Контрольные вопросы.....	61
<b>Глава 4. Экологические факторы окружающей среды .....</b>	<b>62</b>
Среда обитания и условия существования.....	62
Абиотические факторы .....	63
Биотические факторы.....	69

Экологическая ниша .....	71
Антропогенные экологические факторы.....	73
Экологическая пластичность.....	73
Лимитирующие факторы .....	76
Взаимодействие и компенсация экологических факторов .....	78
Антропогенные лимитирующие факторы.....	80
Контрольные вопросы.....	81
<b>Глава 5. Круговорот веществ в природе .....</b>	<b>83</b>
Биологический круговорот .....	83
Большой круговорот.....	85
Круговорот воды.....	85
Круговорот углерода.....	89
Круговорот кислорода.....	91
Круговорот азота .....	92
Круговорот фосфора .....	96
Круговороты второстепенных элементов .....	97
Контрольные вопросы.....	98
<b>Глава 6. Человек и биосфера.....</b>	<b>100</b>
Динамика народонаселения.....	103
Регулирование численности населения.....	105
Продовольственные проблемы .....	109
Контрольные вопросы.....	110
<b>Глава 7. Природные ресурсы биосферы.....</b>	<b>112</b>
Экологические «законы» Б. Коммонера.....	113
Природные ресурсы .....	116

Водные ресурсы.....	118
Атмосфера.....	119
Земельные ресурсы.....	120
Энергетические ресурсы.....	121
Леса.....	123
Природное сырье.....	123
Вторичное сырье.....	124
Контрольные вопросы.....	126
<b>Раздел 2. Классификация и характеристика загрязнений окружающей среды.....</b>	<b>127</b>
Общая характеристика видов загрязнений окружающей среды.....	127
<b>Глава 8. Химическое загрязнение окружающей среды.....</b>	<b>130</b>
Классификация загрязняющих веществ по отрицательному действию на человека и другие организмы.....	130
Классификация химических загрязняющих веществ по механизму воздействия на организмы.....	131
Загрязняющие вещества и факторы, нарушающие окислительно-восстановительное равновесие в организме.....	133
Загрязняющие вещества, необратимо связывающиеся с органическими и неорганическими веществами ткани.....	136
Жирорастворимые загрязняющие вещества.....	140
Загрязняющие вещества, конкурирующие с биогенными веществами и вытесняющие их.....	141
Контрольные вопросы.....	143
<b>Глава 9. Электромагнитное загрязнение окружающей среды.....</b>	<b>144</b>
Естественные источники.....	144
Антропогенные источники.....	150

Источники электромагнитного загрязнения в городе.....	154
Источники электромагнитного загрязнения в жилых помещениях.....	156
Биологическое действие электромагнитных полей .....	162
Защита от воздействия электромагнитных полей .....	166
Контрольные вопросы.....	171
<b>Глава 10. Инфракрасное излучение.....</b>	<b>172</b>
Области ИК-диапазона.....	172
Природные факторы, влияющие на температуру Земли .....	176
Антропогенные факторы, влияющие на температуру Земли.....	178
Контрольные вопросы.....	182
<b>Глава 11. Ультрафиолетовое излучение.....</b>	<b>183</b>
Биологическое действие ультрафиолетового излучения.....	185
Воздействие ультрафиолетового излучения на атмосферный слой озона.....	187
Образование и разрушение слоя озона.....	188
Контрольные вопросы.....	191
<b>Глава 12. Адаптация биологических систем при антропогенном изменении окружающей среды .....</b>	<b>192</b>
Адаптация организма с помощью регуляторных механизмов.....	193
Влияние биологических ритмов на адаптацию организма к среде.....	198
Контрольные вопросы.....	205
Библиографический список.....	206

## Предисловие

Одной из самых важных проблем, стоящих перед мировым сообществом в настоящее время, является защита окружающей среды. Эта проблема касается всех нас, живущих на планете. В настоящее время вопросами экологии занимаются специалисты всех профессий: химики, физики, биологи, юристы, социологи, политики и т. д. В привычных областях науки и практической деятельности появилось множество новых направлений, в которых все рассматривается в связи с экологией. Например, промышленная экология, экология морей, экология человека, медицинская экология, инженерная экология и т. д. Это связано с ухудшением качества окружающей человека среды в результате индустриализации и урбанизации его образа жизни, истощения энергетических и сырьевых ресурсов, истощения ресурсов биологических систем утилизации отходов цивилизации и приспособления к изменениям среды.

В результате загрязнение среды приобрело глобальный характер, распространившись на атмосферу, гидросферу, литосферу. Так, даже в таежной глуши во льдах Антарктиды зарегистрированы кислотные осадки, обнаружены химические элементы, пестициды. Загрязнение планеты породило проблемы озонового слоя, изменения температуры Земли и т. д.

В настоящее время в сознании человека отсутствует единство экологических знаний. Все, с разной степенью вероятности, предвидят экологическую катастрофу, но одни считают, что ничего делать не надо, а другие активно требуют принятия решительных мер. С целью формирования нового экологического мышления у каждого человека Федеральным законом РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7 ФЗ введена система всеобщего и комплексного образования [1].

Первейшая обязанность экологического образования – достижение сознания долга человека перед природой. Эта задача не решается ни одной из всех других наук.

В Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) по решению ректора с 1993 г. введена новая дисциплина – инженерная экология.

При разработке структуры данного курса был синтезирован опыт преподавания в НГТУ следующих дисциплин: экология, экология отрасли, системы защиты среды обитания, экологизация предприятий автосервиса, экологическая экспертиза проектов.



## РАЗДЕЛ 1

### ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ «ЭКОЛОГИЯ»

#### Глава 1. Общие вопросы экологии

Прежде чем перейти непосредственно к инженерной экологии, необходимо определить ее место в общей структуре экологической науки.

Экология как самостоятельная наука оформилась лишь в начале XX столетия.

Термин «экология» (греч. *oikos* – дом, родина и *logos* – учение) впервые введен в 1866 г. немецким биологом, профессором Йенского университета Э. Геккелем (1834–1919). В своем труде «Всеобщая морфология» (1866) он писал: «Экология – это познание экономики природы, одновременное исследование взаимоотношений всего живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая антагонистические и неантагонистические отношения животных и растений, контактирующих друг с другом» [2].

В последние десятилетия, когда угроза глобального экологического кризиса коснулась самого человека, произошло быстрое расширение экологии. Вобрав в себя проблемы окружающей среды, она не только использует достижения других разделов биологии, но и вторгается в смежные с биологией дисциплины – в науку о Земле, в физику и химию, в различные инженерные отрасли, предъявляет новые требования к информатике и вычислительной технике, находит приложения за пределами общественных наук – в экономике, политике, социологии, этике. Экология становится гипернаукой. Этот процесс проникновения идей и проблем экологии в другие области знания получил название экологизации.

Обращение разных наук к проблемам экологии и окружающей человека среды содержит постановку и решение многих практических

задач. Экология переросла из частного раздела биологии, знакомого узкому кругу специалистов, в обширный и еще окончательно не сформировавшийся комплекс фундаментальных и прикладных дисциплин, который Н.Ф. Реймерс в 1992 г. назвал мегаэкологией, т. е. «большой экологией» [3].

Известный американский эколог Ю. Одум в 1986 г. определил науку экологию как междисциплинарную область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи. Это очень широкое определение. Но оно больше других соответствует сегодняшнему широкому пониманию экологии [3].

## СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

В настоящее время экология представляет собой разветвленную систему наук [3]. Структуру современной экологии можно представить в виде следующей схемы (рис. 1.1).

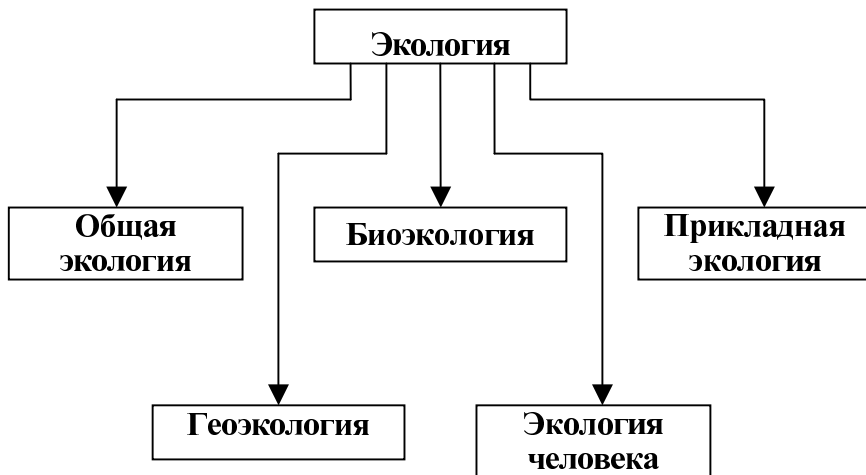


Рис. 1.1. Структура современной экологии

**Общая экология** посвящена объединению разнообразных экологических знаний на едином научном фундаменте. Она включает:

- теоретическую экологию, которая устанавливает общие закономерности функционирования экологических систем;
- экспериментальную экологию, которая обеспечивает методическим инструментарием различные разделы науки;

- математическую экологию, которая моделирует экологические процессы, т. е. отклонения в природе, которые произойдут при изменении экологических условий.

**Биоэкология** – праматерь всей экологии. Главная ее часть – системная экология, экология естественных биологических систем: особей, видов (аутоэкология); популяций (популяционная экология, или демэкология); многовидовых сообществ, биоценозов (синэкология); экологических систем (биогеоценология, учение об экосистемах).

Другая часть биоэкологии – экология систематических групп организмов – «царств» бактерий, грибов, растений, животных, а также более мелких систематических единиц: типов, классов, отрядов и т. п.

Еще одно подразделение биоэкологии составляет эволюционная экология – учение о роли экологических факторов в эволюции.

Именно в биоэкологии на основе изучения роли потоков веществ, энергии и информации в жизнедеятельности организмов формируется представление об экологии как об экономике природы.

**Геоэкология** изучает взаимоотношения организмов и среды обитания с точки зрения их географической принадлежности. В нее входит экология сред – воздушной, наземной (суши), почвенной, пресноводной, морской, преобразованной человеком.

Геоэкология включает экологию природно-климатических зон – тундры, тайги, степей, пустынь, гор, других зон и их более мелких подразделений ландшафтов (экология речных долин, морских берегов, болот, островов, коралловых рифов и т. п.) Так, например, экология морей изучает влияние хозяйственной деятельности человека на морские экосистемы: загрязнение при добыче нефти и газа на шельфе, при сбрасывании в воду промышленных и бытовых стоков и твердых отходов, в том числе с морских судов. Эта наука разрабатывает методы восстановления и поддержки морских экосистем.

Экология тундр изучает способы рационального природопользования в тундре и лесотундре – оленеводство и охоту. Важным направлением в экологии тундр в последнее десятилетие стало изучение влияния на экосистемы добычи нефти и газа, разработка способов уменьшения вредного воздействия промышленности.

К геоэкологии относятся также экологическое описание различных географических областей, регионов, стран, континентов.

Современной областью биоэкологии и геоэкологии является учение о биосфере – *биосферология* – главное содержание глобальной экологии.

**Экология человека** – комплекс дисциплин, исследующих взаимодействие человека с окружающими его природной и социальной средами обитания. Иными словами, экология человека рассматривает адаптацию человека к изменениям окружающей среды через призму социальных условий [4]. Она исследует адаптацию человека с климатическим и географическим условиями (морской климат, пустыни, высокогорье и т. д.); при перестройке биоритмов (при пересечении часовых поясов, сдвинутых режимах труда и отдыха и т. д.); к экстремальным условиям (воздействие высоких и низких температур, электромагнитных полей, звуковых нагрузок, загрязняющих веществ и т. д.). Важной особенностью экологии человека является социобиологический подход – правильное уравнивание биологических и социальных аспектов.

**Социальная экология** как часть экологии человека – это объединение научных отраслей, изучающих связь общественных структур (начиная с семьи и других малых общественных групп) с природной и социальной средой их окружения. К этому объединению относятся (экология народонаселения) экологическая демография, экология этносов и этногенеза (образования рас и наций). К социальной экологии относится и экология культуры (цивилизация) как главная отличительная черта человеческого сообщества. Вершиной этой ветки знания является эволюционная (историческая) экология человечества, также входящая в глобальную экологию.

**Прикладная экология** – большой комплекс дисциплин, связанных с различными областями человеческой деятельности и взаимоотношений человеческого общества с природой. Она формирует экологические критерии экономики, исследует механизмы антропогенных воздействий на природу и окружающую человека среду, следит за ее качеством, обосновывает нормативы неистощительного использования природных ресурсов, осуществляет экологическую регламентацию хозяйственной деятельности, контролирует экологическое соответствие различных планов и проектов, разрабатывает технические средства охраны окружающей среды и восстановления нарушенных человеком природных систем.

В последние годы в связи с возникшими глобальными экологическими проблемами прикладная экология приобрела особую актуальность.

В структуру прикладной экологии входят следующие разделы экологии.

**Сельскохозяйственная экология** в своей значительной части сливается с биологическими основами земледелия (агроэкология) и животноводства (экология сельскохозяйственных животных). Сельскохозяйственная экология изучает способы получения сельскохозяйственной продукции без истощения ресурсов почвы, лугов и при сохранении окружающей среды и производства экологически чистых (т. е. не загрязненных опасными для здоровья человека веществами) продуктов.

**Биоресурсная и промысловая экология** изучает условия, при которых эксплуатация биологических ресурсов природных экосистем (лесов, континентальных водоемов, морей, океана) не приводит к их истощению и нарушению, утрате видов, уменьшению биологического разнообразия. В задачи этой дисциплины входит также разработка методов восстановления и обогащения биоресурсов, научное обоснование интродукции и акклиматизации растений и животных, создания заповедников.

**Экология поселений, коммунальная экология** – разделы прикладной экологии, посвященные особенностям и влияниям различных факторов искусственно преобразованной среды обитания людей в жилищах, населенных пунктах, городах (урбоэкология).

**Медицинская экология** – область изучения экологических условий возникновения, распространения и развития болезней человека, в том числе острых и хронических заболеваний, обусловленных природными факторами и неблагоприятными техногенными воздействиями среды (экология канцерогенеза, экология вирулентности, экология иммунодефицитов и т. п.). Медицинская экология изучает болезни человека, связанные с загрязнением среды, и способы их предупреждения и лечения.

Медицинская экология включает в качестве раздела рекреационную экологию, т. е. экологию отдыха и оздоровления людей, смыкающуюся с курортологией.

Здоровье населения любой территории – лучший показатель состояния среды его обитания.

**Химическая экология** разрабатывает методы определения загрязняющих (вредных) веществ, попадающих в атмосферу, воду, почву и продукты питания, а также способы химической очистки газообразных, жидких и твердых отходов, новые технологии производств, при которых количество отходов уменьшается.

**Экономическая экология** разрабатывает экономические механизмы рационального природопользования – оценки стоимости ресурсов

(вода, древесина, нефть и т. д.) и размеры платежей и штрафов за загрязнения биосферы.

**Юридическая экология** разрабатывает систему законов, направленных на защиту природы. Юристы-экологи выступают в качестве защитников природы на судебных процессах, связанных с экологическими преступлениями или нарушениями законов рационального природопользования.

**Промышленная экология** изучает влияние химического и физического воздействия промышленных предприятий на окружающую среду и возможности снижения этого влияния за счет совершенствования технологий, очистных сооружений и т. д.

**Инженерная экология** – комплексная научная дисциплина, изучающая взаимодействие промышленного производства с окружающей природной средой и обеспечивающая создание и рациональное функционирование природно-промышленных систем различного ранга.

Основная задача инженерной экологии состоит в разработке и практическом осуществлении технически возможных и экологически необходимых мероприятий по рациональному использованию, по охране природных ресурсов с учетом интересов настоящих и будущих поколений.

Основные объекты исследования инженерной экологии – это природно-промышленные системы, структура и функционирование которых определяются характером производства, а также свойствами и состоянием окружающей природной среды.

Основной предмет исследования инженерной экологии – это взаимосвязи между технологическими и природными процессами, с учетом которых вырабатываются технические, экологические и организационные решения.

Именно развитие инженерной экологии – один из наиболее реальных и действенных путей предотвращения экологических кризисов самого различного масштаба и прежде всего глобальной экологической катастрофы.

Из этого перечня видно, что экологизации подверглись многие науки и сферы практической деятельности. В их пограничных зонах возникают новые дисциплины.

Размах прикладных экологических проблем лишь указывает на то, что экология занимает все более лидирующее положение в современной науке и способствует синтезу фундаментальных знаний о природе и обществе.

Порой может показаться, что некоторые исследования экологов не могут принести никакой практической пользы. Зачем, например, нужно было в XIX в. изучать образ жизни личинок комаров? Но когда выяснилось, что комары – переносчики малярии, стало ясно, что изучение их жизни имеет огромное практическое значение. Ученые-экологи смогли дать четкие рекомендации по борьбе с малярией. И эта болезнь, от которой только в XX веке погибло больше людей, чем в двух мировых войнах, во многих странах была практически побеждена.

Сформировавшись как наука, экология сегодня играет все возрастающую роль в решении практических задач. Появилась возможность предсказывать последствия хозяйственной деятельности человека и давать рекомендации, как вести промысел, развивать сельское хозяйство и промышленность, не истощая ресурсы среды и не разрушая природные сообщества.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

Антропогенная деятельность человека привела к возникновению глобальных экологических проблем: опустыниванию, обезлесению, истощению природных ресурсов, разрушению озонового слоя, парниковому эффекту, кислотным дождям, дефициту пресной воды, загрязнению Мирового океана, исчезновению видов животных и растений, деградации земель и др.

Природа в целом сама по себе не знает экологических проблем. Если они и возникали у некоторых групп организмов, то решались, как правило, медленным эволюционным путем на протяжении очень больших промежутков времени, когда замена одних форм другими для всей природы была почти незаметна.

В результате деятельности человека объем антропогенного воздействия на окружающую среду в XX и начале XXI в. стал слишком велик и приблизился к пределу устойчивости биосферы. Проявление и свидетельства этого многообразны [3]:

- происходит резкое сокращение площади ненарушенных естественных экосистем;
- потребление и изъятие человеком возобновляемых природных ресурсов – пресной воды, почвенного гумуса, биомассы и продукции растений – достигло критической скорости или превысило темпы их естественного воспроизводства;

- увеличиваются отходы человеческой деятельности, что ведет к химической деградации окружающей среды и неблагоприятным гео-климатическим изменениям, создает угрозу здоровью людей, вызывают деградацию экосистем;

- резко сократились и продолжают быстро уменьшаться запасы многих невозобновимых, главным образом, минеральных и топливных ресурсов Земли; это в свою очередь создает серьезные экономические проблемы.

Негативное воздействие человека на природу имеет длительную историю. Но никогда еще эти изменения и нарушения не имели такой качественной структуры и не происходили с такой быстротой, как в наше время. Все это означает наступление глобального антропогенного экологического кризиса.

Природа отвечает на возрастающее антропогенное давление часто непредвиденными изменениями, создающими экологическую опасность. Например, химическое и радиационное загрязнение среды ускоряет мутации и приводит к появлению новых биологических форм, обладающих повышенной устойчивостью, адаптивностью, а иногда и опасными для человека свойствами.

Человек оказался в ловушке противоречия между своей консервативной биологической сущностью и нарастающим отчуждением от природы. Используя изобретенные им технологии и средства жизнеобеспечения, человек в большой мере освободился от давления естественного отбора и межвидовой конкуренции. Он на несколько порядков превысил биологическую видовую численность и еще в десятки раз – объем использования веществ и энергии для удовлетворения надбиологических потребностей.

Огромное увеличение и продолжение роста количества людей отнюдь не связано с повышением их биологического качества. Наоборот, для людей в целом характерны совершенно немыслимые для диких животных в природе груз наследственных заболеваний, наследственная предрасположенность к болезням, низкий иммунобиологический статус и огромное число инфекций, возрастная хронизация болезней. Проблемы экологии человека все больше становятся проблемами здравоохранения.

Перечисленные выше проблемы сохраняют свое значение и для России. Исключение составляет разве что отсутствие перенаселения. Как крупная страна Россия вносит существенный вклад в планетарную экологическую ситуацию.



### **Задачи современной экологии**

1. Всеобъемлющая диагностика состояния природы планеты и ее ресурсов.

2. Определение порога выносимости живой природы планеты – биосферы по отношению к антропогенной нагрузке.

3. Разработка прогнозов изменений биосферы и состояния окружающей человека среды при данных сценариях экономического и социального развития человечества.

4. Отказ от природопокорительской идеологии; формирование новой идеологии и методологии, направленной на экологизацию экономики, производства, политики, образования.

5. Формирование экологического мировоззрения и такой стратегии поведения человеческого общества, такой экономики и таких технологий, которые приведут масштабы и характер хозяйственной деятельности в соответствие с экологической выносимостью природы и предотвратят глобальный экологический кризис.

**Основная задача современной экологии** – найти пути сохранения окружающей среды и управления природными, антропогенными системами и человеческим обществом в соответствии с законами природы, а не вопреки им, найти гармонию между экономическими и экологическими интересами человека.

Экология – наука будущего, и, возможно, существование жизни на планете будет зависеть от ее прогресса. В историческом состязании побеждает тот, кто следует законам природы.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Чем объясняется столь пристальное и всеобщее внимание к экологии?

2. Кто ввел в науку термин «экология»?

3. Охарактеризуйте процесс экологизации знаний.

4. Какие основные разделы экологии входят в структуру современной экологии?

5. Какие основные разделы входят в состав прикладной экологии?

6. Перечислите главные экологические проблемы и задачи современной экологии.

## Глава 2. Биосфера – живая оболочка Земли

Автором термина «биосфера» является французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк (1803 г). Затем термин был забыт. В 1875 г. его «воскресил» профессор Венского университета Эдуард Зюсс (1831–1914). Он ввел в науку представление о биосфере как особой оболочке земной коры, охваченной жизнью. В таком общем смысле впервые в 1914 г. этот термин использовал и В.И. Вернадский [5]. Биосфера – (греч. bios – жизнь, sphaîra – шар) – область существования и функционирования живого вещества и само это вещество. Эта область охватывает *аэробiosферу* (нижняя часть атмосферы – газообразной оболочки Земли – до озонового слоя, примерно 25 км), *гидробiosферу* (вся гидросфера – совокупность всех вод Земли) и *литобiosферу* (верхний слой литосферы – твердой оболочки Земли – до 3 км). Таким образом, термин и понятие «биосфера» включает в себя как живые организмы, так и среду их обитания.

Биосфера – глобальная экосистема. Она не образует сплошного слоя с четкими границами, а как бы пропитывает другие геосферы планеты.

Согласно современным представлениям, биосфера – это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

Продукты жизнедеятельности живых существ относятся к весьма подвижным веществам, которые перемещаются в пространстве далеко за пределами обитания организмов. Поэтому естественно, что распределение живых организмов в пространстве более ограничено, чем вся биосфера в целом. Следовательно, жизнь охватывает не все оболочки планеты.

Биосфера в главных своих чертах может быть охарактеризована по отдельным оболочкам, которые она охватывает. Биосферу подразделяют на три геосферы в зависимости от их фазового состояния: газовую оболочку – атмосферу, водную – гидросферу и твердую – литосферу.

## АТМОСФЕРА

*Атмосфера* – газообразная оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и принимающая участие в ее суточном и годовом вращении.

*Атмосферный воздух* – жизненно важный компонент окружающей природной среды, представляющий собой природную смесь различных газов, водяных паров и пыли приземного слоя атмосферы [6].

По своим физическим свойствам атмосфера неоднородна как по вертикали, так и по горизонтали.

В атмосфере изменяются такие физические параметры, как температура, давление, плотность, состав и влажность воздуха, содержание твердых и жидких примесей, скорость ветра. Наиболее резко эти изменения протекают по вертикали. Так, температура при подъеме на каждый километр высоты убывает в среднем на 6–7 °С (в тропосфере). В то же время в горизонтальном направлении на такую же величину температура изменяется на расстоянии в 500–600 км. Таким образом, по вертикали температура изменяется примерно в 500 раз быстрее, чем по горизонтали. Вследствие этого при классификации атмосферы на первое место выступает неоднородность ее свойств по вертикали.

В настоящее время выделяют, по меньшей мере, три признака (принципа), на основе которых атмосферу делят на слои в вертикальном направлении. Это термический режим атмосферы (распределение температуры с высотой), состав атмосферного воздуха и взаимодействие атмосферы с земной поверхностью.

Наиболее отчетливо различия в свойствах слоев атмосферы проявляются в характере изменения температуры и состава воздуха с высотой и величине вертикального градиента температуры. По этому признаку атмосфера делится на пять основных слоев: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу. Средние высоты границ этих слоев и состав атмосферы указаны в табл. 2.1 [7]. От этих средних высот могут наблюдаться значительные отклонения в зависимости от широты, времени года, метеорологической обстановки и др.

Таблица 2.1

### Качественная зависимость состава атмосферы от высоты

Атмосферный слой	Высота, км	Общая характеристика. Особенности
Приземный слой	0–0,5	N <sub>2</sub> (78,084 %), O <sub>2</sub> (20,946 %), Ar ( 0,934 %), CO <sub>2</sub> (0,033 %), Ne, He, Kr, Xe, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> , аэрозоли и другие «загрязнители»

Окончание табл. 2.1

Атмосферный слой	Высота, км	Общая характеристика. Особенности
Тропосфера	0,5–13	"-", наблюдается понижение давления
Стратосфера	13–50	"-", +озоновый слой (максимум концентрации на высоте 20–25 км)
Мезосфера	50–80	Озоновый слой отсутствует, появляются атомы кислорода
Термосфера	80–100 120–130 160–180 выше 600	Количество атомов кислорода $\approx 20\%$ количества молекулярного кислорода Количество O = количеству O <sub>2</sub> Количество O = количеству атомов азота N <sub>2</sub> He – основная составляющая атмосферы
Экзосфера	выше 1000 1500–2000 выше 2000	Частицы могут иметь космическую скорость (11,2 км/с) Количество He = количеству H Атомы водорода. Атмосфера переходит в межпланетный газ (тоже атомы H)

В приземном слое воздух состоит из азота (78,084 % объема), кислорода (20,946 %), углекислого газа (0,033 %) и малыми составляющими из неона, гелия, ксенона, криптона, водорода, метана, оксидов азота. Кроме того, воздух содержит «загрязнители» в виде аэрозолей в твердом и жидком состояниях, выбросы газов техногенного происхождения. Аэрозоли (твердые и жидкие частицы размеров от нескольких нанометров) являются одной из оптически активных составляющих атмосферы. Аэрозоли наблюдаются не только в тропосфере, но и в верхних слоях атмосферы, попадая туда из космоса, а также с земной поверхности в виде техногенных загрязнений, пылевых бурь, вулканических извержений и т. д. Концентрация аэрозолей довольно быстро убывает с увеличением высоты, причем эта зависимость имеет сложный характер в связи с условиями образования аэрозольных слоев. Аэрозольные частицы размером более микрона могут быть центрами конденсации водяного пара. Аэрозольные частицы меньших размеров переносятся на большие расстояния и высоты, сохраняясь в воздушных потоках долгое время.

Увеличение концентрации аэрозольных частиц приводит к экранированию поверхности Земли от падающего солнечного излучения и уменьшению температуры на планете.

Состав земной атмосферы в значительной степени изменяется с высотой. Состав атмосферы в тропосфере примерно такой же, как и в

приземном слое, но наблюдается понижение давления с высотой. Главное отличие стратосферы от тропосферы заключается в том, что в ней находится озоновый слой с максимумом концентрации молекул  $O_3$ . В мезосфере начинает увеличиваться концентрация атомов кислорода, которые возникают от диссоциации молекул  $O_2$  под действием ультрафиолетового (УФ) излучения. В той или иной мере атмосфера остается однородной, когда происходит турбулентное движение воздушных масс за счет перемешивания, которое достигает высоты 100 км (турбопауза). Турбопаузой называется такой уровень, когда действие турбулентного перемешивания прекращается. Несмотря на это, уже с высот 80–90 км увеличивается процентное содержание атомов кислорода, и на высотах 120–130 км количество атомов кислорода становится равным количеству молекул кислорода. На высотах 160–180 км количество атомов кислорода сравнивается с количеством атомов азота.

На высотах выше 600 км основной составляющей атмосферы является гелий, который по количеству сравнивается с числом атомов водорода на высотах 1500–2000 км. Выше 2000 км атмосфера переходит в межпланетный газ, основной компонентой которого являются атомы водорода, поглощающие, как указывалось выше, коротковолновую часть спектра УФ-излучения.

Интересно отметить, что на высотах более 1000 км частицы атмосферы могут приобретать космическую скорость (11,2 км/с) и больше, вследствие чего, преодолев силу земного тяготения, эти частицы могут покинуть атмосферу.

Таким образом, основными поглотителями атмосферы коротковолновой части УФ-излучения Солнца являются атомы водорода, гелия, азота, кислорода и затем основным экраном от УФ-излучения (при  $\lambda < 0,3$  мкм) – озоновый слой.

Толщина оболочки воздушного океана, окружающего земной шар, больше тысячи километров – почти четверть земного радиуса.

Суммарная масса земной атмосферы составляет  $5,3 \cdot 10^{15}$  кг. Нагрузка воздуха на каждый квадратный сантиметр поверхности на уровне моря – примерно 1 кг. До 90 % массы воздуха находится на высоте до 15 км, 99 % – до 30 км и 99,99 % – до 48 км от поверхности Земли.

Уменьшение давления атмосферы с увеличением высоты происходит по экспоненциальному закону. На высоте 10 км и выше плотность атмосферы становится незначительной.

Распределение температуры в атмосфере в зависимости от высоты представлено на рис. 2.1.

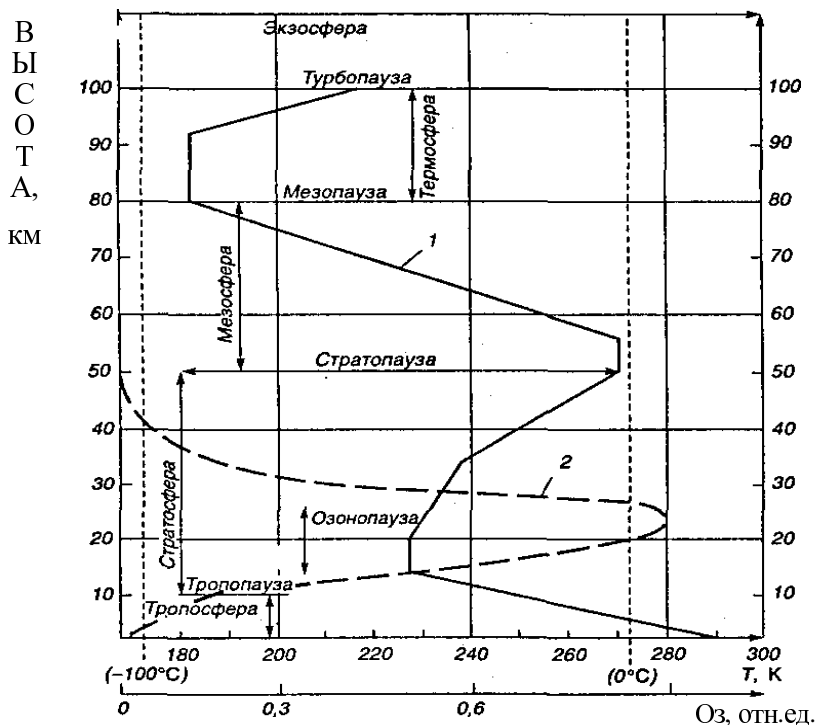


Рис. 2.1. Высотные распределения температуры (кривая 1) и концентрации озона (кривая 2) в атмосфере (по Ю.И. Куклеву)

В нижней части атмосферы, т. е. в тропосферном слое, температура с ростом высоты уменьшается примерно на 6–7 °С на один километр. На высотах от 12 до 20 км температура остается постоянной. Этот слой атмосферы называется первым изотермическим слоем. Выше этого слоя температура снова растет (область инверсии) вплоть до 0 °С, достигая уровня стратопаузы (≈ 47 км) и до 55 км остается постоянной. Эта область называется вторым изотермическим слоем. Необходимо отметить, что основная масса воздуха атмосферы (99 %) приходится на тропосферу и стратосферу и только 1 % приходится на массу атмосферы, лежащей выше 51 км.

Начиная с высоты 55 км, температура снова уменьшается примерно до  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  вплоть до высоты 80 км (мезопауза) и до высоты 90 км остается постоянной (третий изотермический слой). Выше мезопаузы, начиная с высоты  $\approx 90$  км, начинается область атмосферы, называемой термосферой, в которой температура вновь увеличивается до очень больших показателей (более  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на рис. 2.1 не показана).

Из области экзосферы, находящейся выше области термосферы, происходит рассеяние атомов атмосферы в мировое пространство за счет процессов диссоциации.

### **Роль озона в тепловом режиме атмосферы и Земли [7].**

На рис. 2.1 виден сложный характер изменения температуры в атмосфере по мере увеличения высоты (кривая 1), который во многом определяется наличием слоя озона (кривая 2) с максимумом концентрации на высотах 20–25 км. Практически молекулы озона поглощают солнечное излучение в широком диапазоне частот (особенно при  $\lambda < 0,35\text{ мкм}$ ). Коротковолновая часть солнечного УФ-излучения, дойдя до слоя озона, оказывается ослабленной в результате поглощения атомами водорода, азота, кислорода. Слой озона служит основным защитным экраном всего живого на поверхности Земли от действия УФ-излучения с длиной волны менее  $0,35\text{ мкм}$ . При сравнении кривых 1 и 2 (рис. 2.1.) видно, что концентрация озона является обратно пропорциональной функцией температуры. Максимум концентрации молекул озона соответствует минимуму температуры на границе тропосферы и стратосферы (чуть выше первого изотермического слоя, т. е. на высотах 22–25 км). При увеличении температуры в этой области атмосферы концентрация озона и скорость нагревания атмосферы уменьшается. Поглощенная озоном доля УФ-излучения возвращается атмосфере в виде теплового излучения.

Озоновый слой выступает своеобразным стабилизатором и демпфером в механизме температурного режима атмосферы. Стратосферный слой озона во многом определяет температурный режим атмосферы. На более верхних уровнях атмосферы за счет поглощения коротковолновой части УФ-излучения атомами водорода, азота, кислорода их кинетическая энергия возрастает, а следовательно, возрастает и температура атмосферы. До высоты 80 км достигает ослабленная часть УФ-излучения Солнца. В этой области поглощение незначительно, поэтому температура принимает минимальное значение ( $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

На более низких высотах атомами озона поглощается более длинноволновая часть спектра УФ-излучения ( $\lambda < 0,3$  мкм). Это приводит к сильному нагреву атмосферы. Эффективность нагрева имеет большую величину для этой части спектра, чем в коротковолновой области УФ-излучения. Тем более, что длинноволновая часть спектра УФ-излучения в более верхних слоях атмосферы поглощается значительно слабее. При этом максимум нагрева приходится на высоты 50–55 км. При дальнейшем понижении высоты температура падает по двум причинам. Во-первых, плотность воздуха становится значительнее и его труднее нагреть. Во-вторых, УФ-компонента излучения Солнца на этих высотах оказывается ослабленной из-за поглощения на более высоких уровнях атмосферы.

На тропосферном участке наблюдается рост температуры вплоть до поверхности Земли. Это обусловлено сразу несколькими факторами: перекачкой поглощенной озоном энергии в атмосферу, непосредственным поглощением падающего солнечного потока, конвективными восходящими теплыми потоками от поверхности Земли и т. п.

Реальные процессы тепло- и массообмена, происходящие в атмосфере, значительно сложнее, чем рассмотренный механизм. На самом деле происходит взаимодействие сразу многих взаимосвязанных факторов: падающего солнечного излучения с многообразными компонентами атмосферы (атомами, молекулами газов, аэрозолями), влияния озонового слоя, рассеянного излучения, зависимости давления и плотности атмосферы от высоты, обратного переизлучения Земли, степени «загрязненности» атмосферы и т. п.

Атмосфера регулирует тепловой режим Земли, способствует перераспределению тепла по земному шару. Лучистая энергия Солнца – практически единственный источник тепла для поверхности Земли. Она определяет и световой режим Земли. Лучистая энергия Солнца частично поглощается атмосферой. Достигшая поверхности Земли энергия частично поглощается почвой и водоемами, морями и океанами, частично отражается в атмосферу.

Газовая оболочка предохраняет планету от чрезмерного остывания и нагревания. Благодаря ей на Земле не бывает резких перепадов от морозов к жаре и обратно. Если бы Земля не была окружена воздушной оболочкой, то в течение только одних суток амплитуда колебаний температуры достигла бы 200 °С: днем стояла бы сильная жара (более 100 °С), а ночью был бы мороз (–100 °С). Еще большая разница была бы между зимними и летними температурами. Именно благодаря ат-



мосфере средняя температура на Земле составляет приблизительно 15 °С.

Кроме того, газовая оболочка защищает все живущее на Земле от губительных ультрафиолетовых, рентгеновских и космических лучей. Верхние слои атмосферы частично поглощают, частично рассеивают эти лучи. Атмосфера защищает нас и от звездных осколков. Метеориты, в подавляющем большинстве не превышающие по величине горошину, под влиянием земного притяжения с огромной скоростью (от 11 до 64 км/с) врезаются в атмосферу планеты, раскаляются в ней в результате трения о воздух и на высоте 60–70 км по большей части сгорают (только над Москвой ежедневно сгорает около двухсот метеоритов). Атмосфера защищает Землю также и от крупных космических осколков.

Велико значение атмосферы и в распределении света.

Атмосферный воздух разбивает солнечные лучи на миллион мелких лучей, рассеивает их и создает то равномерное освещение, к которому мы привыкли. Наличие воздушной оболочки придает нашему небу голубой цвет, так как молекулы основных элементов воздуха и различные примеси, содержащиеся в нем, рассеивают главным образом лучи с короткой длиной волны, т. е. фиолетовые, синие и голубые. По мере удаленности от Земли, а следовательно, уменьшения плотности и засоренности воздуха, цвет неба становится темнее, воздушная оболочка приобретает густо-синюю, а в стратосфере – черно-фиолетовую окраску.

Атмосфера является средой, в которой распространяются звуки. Без воздуха на Земле царил бы тишина, была бы невозможна человеческая речь.

Основной потребитель воздуха в природе – флора и фауна Земли. Подсчитано, что весь воздушный океан проходит через земные живые организмы, включая человека, примерно за десять лет. Воздух необходим всему живому на Земле. Без пищи человек может прожить пять недель, без воды – пять дней, без воздуха – пять минут.

Потребность человека в воздухе составляет: в состоянии покоя 5–10 л/мин; при усилиях – около 30 л/мин; при больших усилиях – до 100 л/мин; в среднем за сутки – около 15 кг. Удельная поверхность легких колеблется от 55 до 90 м<sup>2</sup>. В легких воздух нагревается и увлажняется, из него удаляются посторонние частицы, поглощается кислород, а содержание диоксида углерода в нем возрастает.

Нормальная жизнедеятельность людей требует не только наличия воздуха, но и определенной его чистоты. От качества воздуха зависят здоровье людей, состояние растительного и животного мира, прочность и долговечность любых конструкций зданий, сооружений. Загрязненный воздух губителен для вод суши, морей, почв.

Чистый воздух, лишенный пылевидных и газообразных загрязнений, является идеалом, не встречающимся в природе из-за постоянного динамического обмена между атмосферой и земной поверхностью, гидросферой и т. д. Следовательно, даже природный состав воздуха непостоянен. Средний природный химический состав воздуха приведен в табл. 2.2 [6].

Таблица 2.2

### Средний газовый состав природной атмосферы

Основные газовые компоненты	В сухом воздухе			Во влажном воздухе		
	% по объему	г/м <sup>3</sup>	% по массе	% по объему	г/м <sup>3</sup>	% по массе
Азот	78,09	895	75,54	75,65	897	74,08
Кислород	20,94	274	23,13	20,29	265	22,64
Вода	–	–	–	3,12	23	1,97
Аргон	0,93	15,2	1,28	0,9	14,7	1,26
Итого основные компоненты	99,96	–	99,95	99,96	99,95	–
Прочие	0,04	–	0,05	0,04	–	0,05

В целом за последние 100 лет параметры атмосферы изменились: повысились температура, содержание углекислого газа, метана, оксида азота и т. д. Последствия глобальных изменений атмосферы – повышение интенсивности ультрафиолетового излучения на поверхности Земли, увеличение площади пустынь, повышение уровня Мирового океана, гибель животного мира, рост заболеваемости населения.

Один из факторов, влияющий на изменение атмосферы – загрязнение атмосферного воздуха. Под загрязнением атмосферного воздуха понимают изменение его состава при поступлении в него вредных загрязняющих веществ естественного или антропогенного происхождения.

*Природные источники загрязнения* – пыль космического происхождения, извержения вулканов, пыльные бури, лесные пожары, частицы морских солей, продукты растительного, животного и микробиологи-

ческого происхождения. Уровень такого загрязнения мало изменяется со временем.

*Антропогенные источники загрязнения* – промышленные предприятия различных министерств и ведомств, транспортные средства, производственные и бытовые отходы, отходы животноводческих комплексов, а также химические вещества, вводимые человеком в экосистемы для защиты культивируемых растений и полезных продуктов от сорняков, вредителей, болезней и т. д.

Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу, могут находиться в свободном состоянии довольно продолжительное время. Что может приводить к их накоплению в атмосфере.

Например, среднее время пребывания загрязняющих веществ в атмосфере составляет: вода ( $H_2O$ ) – 10 суток; метан ( $CH_4$ ) – 3,6 года; двуокись углерода ( $CO_2$ ) – 4 года; закись азота ( $N_2O$ ) – 150 лет; хлорфторуглероды (ХФУ): (ХФУ-11) – 65 лет, (ХФУ-12) – 130 лет; диоксид серы ( $SO_2$ ) – 2–4 суток.

Период пребывания мелких твердых частиц в атмосфере в непосредственной близости от поверхности Земли составляет от 1 до 5 суток, в тропосфере – от 5 до 10 суток, а в стратосфере – порядка 1 года.

Вредные вещества естественного и антропогенного происхождения, поступая в атмосферный воздух, вызывают изменение естественного состояния экотопа (атмосферы, воды, почвы). При этом объектами загрязнения являются составляющие биоценозов – растения, животные, микроорганизмы.

Вредные вещества вызывают физическое, тепловое, световое, радиоактивное, химическое, биологическое загрязнения экотопа и наносят эстетический и экологический вред.

Выбросы вредных веществ в атмосферный воздух промышленных предприятий на современном этапе достигли таких размеров, что в ряде городов уровни загрязнения атмосферного воздуха, воды и почвы превышают гигиенические и экологические критерии качества воздуха, воды и почвы.

Перечень выбрасываемых вредных веществ очень широк. Среди них – оксиды азота и углерода, альдегиды, бенз(а)пирен и т. д. Считается, что спектр органических соединений в отработанных газах автомобилей содержит более 500 загрязняющих веществ [8].

Таким образом, антропогенное загрязнение атмосферного воздуха происходит не одним, а множеством загрязняющих веществ. Эти вещества воздействуют не только на окружающую среду, но в ряде слу-

чаев значительно влияют на процесс эксплуатации технических средств. Поэтому очень важна информация о вредных веществах (и их массе), выбрасываемых в атмосферу. Такую информацию дает инвентаризация выбросов вредных веществ в атмосферный воздух.

## ГИДРОСФЕРА

*Гидросфера* – это прерывистая водная оболочка Земли, совокупность океанов, морей, континентальных вод (включая подземные) и ледниковые покровы. Моря и океаны занимают около 71 % земной поверхности. Суммарная площадь всех водоемов суши составляет менее 3 % ее площади. На долю ледников приходится 1,6 % запасов воды в гидросфере, а их площадь составляет около 10 % площади континентов. На долю пресной воды приходится всего лишь примерно 3 %.

*Важнейшее свойство гидросферы* – единство всех видов природных вод (Мирового океана, вод суши, водяного пара в атмосфере, подземных вод), которое проявляется в процессе круговорота в природе. Движущими силами этого глобального процесса служат поступающая на поверхность Земли тепловая энергия Солнца и сила тяжести, обеспечивающие перемещение и возобновление природных вод всех видов.

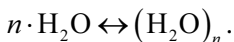
**Вода** – простейшее устойчивое химическое соединение водорода с кислородом (11,19 % водорода и 88,81 % кислорода по массе). При обычных условиях чистая вода – жидкость без запаха, вкуса и цвета (лишь в слое толщиной более 2 м – голубоватая), главная составная часть гидросферы.

Природная вода – это вода, которая качественно и количественно формируется под влиянием естественных процессов при отсутствии антропогенного воздействия. Ее качественные показатели находятся на естественном среднепогодном уровне.

*Природная вода*, где бы она ни находилась и в каком бы агрегатном состоянии (газообразном, жидком и твердом) ни была, всегда представляет собой раствор других веществ, газообразных, жидких или твердых, а также содержит подчас в незначительных количествах другие воды (с другими относительными атомными массами водорода и кислорода и другими свойствами).

Идеально чистая вода, получение которой даже в идеальных лабораторных условиях практически невозможно, состоит, как известно, из молекул  $H_2O$ . Молекулы воды в растворе способны к ассоциации, т. е. в жидком состоянии наряду с простыми молекулами  $H_2O$  присутствуют более сложные образования, соответствующие общей формуле

$(\text{H}_2\text{O})_n$ , где  $n = 2, 3, 4$  и т. д. Таким образом, в растворе имеет место равновесие [9]:



Эта способность молекулы воды к ассоциации до некоторой степени объясняет ее уникальные по отношению к другим веществам свойства.

Например, известно, что все вещества при нагревании увеличивают свой объем и уменьшают плотность. У воды наблюдается то же самое, за исключением интервала от 0 до 4 °С, когда с возрастанием температуры объем воды не увеличивается, а наоборот, уменьшается. Максимальная плотность наблюдается при температуре 4 °С, т. е. плотность увеличивается при температуре от 0 до 4 °С. Предполагают, что при 0 °С вода в значительной части состоит из молекул  $(\text{H}_2\text{O})_3$ , а при нагревании ее до +4 °С устроенные молекулы переходят в  $(\text{H}_2\text{O})_2$ , что сопровождается увеличением плотности.

При дальнейшем нагревании начинают преобладать простые молекулы и плотность постепенно уменьшается. Существуют и другие объяснения максимальной плотности воды при 4 °С.

Вследствие этого лед плавает на поверхности воды. Лед в данном случае служит одеялом для всех живых организмов водоемов и спасает их от переохлаждения.

Вода выступает в качестве одного из важнейших экзогенных факторов, видоизменяющих лик земной поверхности. Теплоемкость воды в 3300 раз больше теплоемкости воздуха. Поглощая огромное количество тепловой энергии и медленно ее отдавая, вода служит регулятором климатических процессов глобального масштаба. Благодаря этому свойству вода широко применяется в быту в качестве теплоносителя. Вода – очень прочное химическое соединение. Оно имеет самое большое из всех жидкостей поверхностное натяжение, что обуславливает ее высокую капиллярность. Газообразная вода (водяной пар) легче воздуха, благодаря чему возможно образование облаков и перенос воды в атмосфере. Ни одно природное соединение не сочетает столь высокую удельную теплоемкость с высокой скрытой теплотой плавления и испарения, как вода. Большая тепловая буферность геосфер в значительной мере обусловлена этими свойствами воды. Вода имеет очень высокую диэлектрическую проницаемость. Электропроводность химически чистой воды очень мала, но даже следы солей превращают ее в хороший проводник. Свойства многих веществ, растворенных в

воде, а также молекулярных биологических структур существенно зависят от конфигураций гидратных комплексов связанной воды.

Одним из основных свойств воды как компонента эколого-географической среды является ее незаменимость. Из многочисленных видов минерально-сырьевых ресурсов большинство взаимозаменяемо. В топливно-энергетическом цикле каменный уголь заменяется нефтью, газом.

Вода играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе, и в обеспечении жизни человека. В промышленности воду используют как сырье и источник энергии, как хладагент, растворитель, экстрагент, для транспортирования сырья и материалов и др.

Вследствие антропогенной деятельности природная вода загрязняется различными веществами: кислотами и щелочами, тяжелыми металлами (свинец, цинк, кадмий, ртуть, цинк и т. д.), фосфатами, нитратами, поверхностно-активными веществами (ПАВ), пестицидами, нефтью и т. д. Многообразие примесей в природной воде приводит к ухудшению ее качества.

## ЛИТОСФЕРА

*Литосфера* (от греч. lithos – камень, sphaire – шар) – верхняя твердая оболочка Земли, постепенно переходящая с глубиной в сферы с меньшей прочностью вещества. Литосфера включает земную кору и верхнюю мантию Земли [10].

Земля имеет достаточно устойчивые равновесные системы: ядро, мантию, а над ними земная кора [5].

**Ядро** земного шара имеет иной химический состав, чем земная кора, в которой находимся мы. Предполагают, что вещество ядра находится под давлением в тысячи атмосфер и состоит из тяжелых элементов в вязком и газообразном состоянии при температуре свыше 1000 °С (по современным оценкам, до 5000 °С). Удельный вес ядра 8–10 г/см<sup>3</sup>. Глубина до поверхности ядра около 2900 км.

**Мантия** – вторая оболочка Земли. Она имеет толщину сотни или тысячи километров. Важную роль в ней играют пять химических элементов: кремний, магний, кислород, железо, алюминий. Материя мантии напоминает стекловатую структуру или массу металла под большим давлением.

**Земная кора** – наиболее неоднородная оболочка земли, сложенная различными минеральными ассоциациями в виде осадочных, изверженных и метаморфических горных пород различных форм залегания.

ния. В настоящее время под земной корой принято считать верхний слой твердого тела планеты, расположенный выше сейсмической границы Мохоровичича (граница между базальтовым слоем и верхней мантией).

Границей между земной корой и субстратом служит поверхность Мохоровичича. Плотность вещества также увеличивается скачкообразно с 2,9–3,0 до 3,1–3,5 г/см<sup>3</sup>.

Земная кора различна на материках и под океанами. Материковая кора состоит из материка, шельфа, материкового склона и материкового подножья. Ее средняя мощность около 34 км, а максимальная (в горных странах) до 75 км. Она разделяется на три слоя: осадочный, гранитный и базальтовый.

1. **Нижний базальтовый слой** (мощность – 15–20 км). Плотность в земной коре (средняя плотность 2,9 г/см<sup>3</sup>) включает в себя базальты, габбро и другие основные горные породы с пониженным содержанием кремнезема (40–50 %) и повышенным содержанием оксидов металла. Океаническая земная кора имеет толщину до 5–10 км. Она находится под морскими водами, если их глубина больше 3,5 км, и также подразделяется на три слоя: верхний (не менее 1 км) осадочный, средний – в основном базальтовый, и нижний, сложенный габбро и серпентинитами – ультраосновными породами с содержанием кремнезема менее 40 %.

С глубиной температура горных пород повышается и в верхней мантии под материковой корой близка к 600–700 °С.

Основная масса организмов, обитающих в литосфере, сосредоточена в пределах ее верхнего, почвенного слоя, глубина которого не превышает нескольких метров. Именно эта поверхностная «пленка» литосферы характеризуется наибольшим разнообразием горных пород и геохимической неоднородностью.

2. **Гранитный слой** (средняя плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>, мощность 15–17 км), является главным в материковой коре. Он состоит из гранитов, гнейсов, кварцитов и других «кислых» горных пород со значительным участием (больше 60 %) в их составе кремнезема SiO<sub>2</sub>.

Гранитный слой на щитах выходит на поверхность.

3. **Осадочный слой** (средняя плотность 2,4–2,5 г/см<sup>3</sup>, мощность до нескольких километров) состоит из разновозрастных измененных или неизмененных осадочных и вулканических пород. В образовании осадочного слоя большую роль сыграли животные организмы, похоронив себя в «белых биосферах».

**Почва** представляет собой верхний слой литосферы, который образуется и развивается в результате совместного воздействия воздуха, воды, климатических факторов и живых организмов. Толщина плодородного слоя 0,5–2 м.

Почвенный покров – важнейшее природное образование. Его роль в жизни общества определяется тем, что почва представляет собой источник продовольствия, обеспечивающий 95–97 % продовольственных ресурсов для населения планеты.

Особое свойство почвенного покрова – его плодородие, под которым понимается совокупность свойств почвы, обеспечивающих урожай сельскохозяйственных культур. Естественное плодородие почвы связано с ее запасом питательных веществ и водным, воздушным и тепловым режимами. Почва обеспечивает потребность растений в водном и азотном питании, являясь важнейшим агентом их фотосинтезирующей деятельности.

В почве происходят процессы синтеза, биосинтеза и разнообразные химические реакции, она активно участвует в круговороте веществ и в превращении энергии в природе, поддерживает газовый состав атмосферы. В почве на территории в 1 га содержится (в кг):

- бактерий – от 1000 до 7000;
- микробов – от 100 до 1000;
- водорослей – от 10 до 30;
- простейших – от 5 до 10;
- членистоногих – до 1000;
- дождевых червей – от 350 до 1000.

Словом, почва является гигантской экосистемой и оказывает, наряду с Мировым океаном, решающее влияние на всю биосферу.

Почвенный покров относится к саморегулирующейся биологической системе, являющейся важнейшей частью биосферы в целом. Живые организмы, растения и животные, населяющие Землю, фиксируют солнечную энергию в форме фито- или зоомассы.

Продуктивность наземных экосистем зависит от теплового и водного балансов земной поверхности, которые определяют многообразие форм обмена энергией и веществом в пределах географической оболочки планеты.

Загрязнение почв и окружающей среды в целом ведет не только к ухудшению здоровья населения, но и к гибели отдельных видов растительного и животного мира, снижению продуктивности природно-ресурсного потенциала страны. В результате гибели лесов и других



девственных территорий исчезают различные виды растений и животных, резко сокращается генетическое разнообразие мировых экосистем, являющихся основой развития биосферы планеты Земля.

## БИОСФЕРА И КОСМОС

На Землю из космического пространства поступает бесконечное число излучений. Это первичные космические лучи, а также поток частиц и фотонов, порожденных взаимодействием первичных космических лучей с атомами атмосферных газов (вторичные космические лучи). Поступают космические лучи из межзвездного пространства и от Солнца.

Космическое излучение – один из важнейших ландшафтообразующих факторов и факторов эволюции.

Исходя из излучения длины волны различают огромную область космических излучений. Среди них – ультрафиолетовые, инфракрасные, видимый свет и т. д.

К ультрафиолетовому излучению относятся электромагнитные волны с длиной волны от 0,38 мкм до 100 Å [7].

**Ультрафиолетовые коротковолновые лучи** (0,18–0,20 мкм) в значительной мере задерживаются в разреженной части атмосферы – стратосфере. Здесь происходит трансформация энергии коротких волн. Под влиянием этих лучей изменяются магнитные поля, распадаются молекулы, происходит ионизация, новообразование газов и других химических соединений. Эти процессы можно наблюдать в виде северных сияний, зарниц, различных свечений. Коротковолновые излучения разрушают все живое, в то время как длинноволновые организмам не вредят. Задерживая коротковолновое излучение, стратосфера защищает от него область жизни. Поглощает эти лучи озоновый экран. Интересно, что образование самого озонового слоя обусловлено появлением кислорода – продукта жизни [5].

Жизнь, создавая биохимическим путем свободный кислород, создает защитный экран озона, предохраняющий ее от губительных излучений.

Как бы ни разрушался озон, он постоянно восстанавливается из кислорода, который поступает в нижние слои атмосферы в достаточном количестве.

**Инфракрасные тепловые излучения Солнца** (0,76–700 мкм) необходимы для жизни. Тепловая энергия Солнца превращается на Земле в механическую, химическую, электрическую и другие виды энергии.

Проявления этих превращений видны на каждом шагу: фотосинтез, круговорот воды, движение ветра, морских течений и рек, разрушение скал, накопление осадков и т. д. Атмосфера, океан, озера, реки, дождь и снег производят колоссальную работу по трансформации тепловой энергии.

Однако как ультрафиолетовые, так и инфракрасные лучи Солнца участвуют в биохимических процессах только косвенным путем, после того как часть энергии извлекается из солнечной радиации растениями.

**Видимый свет** – основной источник жизни на планете. Почему же лишь малая часть космических излучений ответственна за процесс фотосинтеза, от которого зависит жизнь на Земле? Вся биологическая активность связана в основном с одними и теми же длинами волн видимого света (0,38 – 0,75 мкм). Полагают, что это не случайно. Существуют две гипотезы.

Согласно первой гипотезе живое вещество состоит из огромных молекул, конфигурация которых поддерживается в основном водородными и другими слабыми связями. Коротковолновые излучения с мощной энергией разрушают эти связи и выбивают электроны из атомов (ионизирующее излучение). Энергия же излучения с длиной волны больше, чем у видимого света, активно поглощается водой, которая составляет основную долю массы живых организмов. Длинноволновые лучи не могут изменить структуру органических молекул. Только средневолновое излучение видимой части спектра способно вызывать необходимые превращения в биологических системах.

Вторая гипотеза предполагает, что видимый свет был «выбран» организмами как наиболее доступный. Основная часть солнечного света, достигающего нашей планеты, лежит в пределах именно этой области. Коротковолновое излучение экранируется озоном, а значительная часть длинноволновой инфракрасной радиации поглощается водяными парами и углекислым газом, не успевая достигнуть земной поверхности.

Видимый свет обеспечивает пригодные для жизни условия окружающей среды, а живые системы соответствуют физическим условиям среды. Если бы эта взаимосвязь отсутствовала, то жизнь была бы невозможной.

С космическими излучениями планета получает новые, неизвестные для земного вещества свойства и формирует измененную силами космоса картину земной поверхности. Вещество биосферы становится

активным и распределяет аккумулированную солнечную энергию, превращая ее в другую, способную производить работу.

Биосфера – это область не только вещества Земли, но и энергии, полученной из космоса, т. е. создание и Земли, и космоса.

В этом смысле представления о людях как о детях Солнца гораздо ближе к истине, чем гипотезы, объясняющие возникновение жизни лишь случайными изменениями земного вещества. Появление живой оболочки на границе с космической средой закономерно. Возникновение организмов – часть стройного космического механизма, в котором нет случайностей. Это косвенно подтверждается такими фактами, как сходство строения и состава земного вещества и вещества метеоритов и космической пыли: постоянство изотопного состава входящих в них химических элементов и др. Строение земной коры связано с историей не только Земли, но и всего космоса. Много сходства обнаруживается и в составе наружных атмосферных оболочек небесных тел – Земли, Солнца, звезд. Объясняется это, вероятно, их непосредственным контактом с космической средой. Возможно также, что в космосе происходит обмен материей между этими телами. «Прошли тысячелетия, – писал В.И. Вернадский, – пока человеческая мысль смогла отметить черты единого механизма в кажущейся хаотической картине природы».

**Биосфера** – это область земной коры, занятая трансформаторами, переводящими космические излучения в земную энергию – тепловую, механическую, химическую, электрическую и др. [5].

В процессе фотосинтеза живые организмы трансформируют солнечный луч в энергию новых химических соединений. Живое вещество с непостижимой быстротой покрывает планету мощной толщей молекулярных систем, дающих новые соединения, богатые свободной энергией. Эти неустойчивые соединения постоянно стремятся перейти в термодинамическом поле биосферы в устойчивое равновесие.

**Живые организмы** – это трансформаторы лучистой энергии, особый механизм, строящий материю живой оболочки земной коры – биосферы.

Энергия, выделяемая организмами, есть в основном, а может быть, и целиком, энергия Солнца.

Итак, биосфера сочетает как сугубо земные, так и космические процессы, отражает их изменения в истории космоса. Биосферу нельзя понять, изучая явления, происходящие только в ней, без учета связей земных процессов со всем космическим пространством.

## ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОСФЕРА

По мнению В.И. Вернадского, «живой организм» биосферы должен изучаться целиком, как особое тело. Через организмы регулируются все химические процессы на поверхности планеты. Жизнь захватывает значительную часть атомов, составляющих земную кору. Из них организмы создают миллионы разнообразнейших соединений, и этот процесс длится без перерыва миллиарды лет.

**Зеленые растения** – это та часть единого живого вещества, которая непосредственно использует солнечные лучи и создает энергетически активные химические соединения, т. е. живое вещество первого порядка. Даже по своей морфологии (греч. *morpho* – форма) зеленые организмы приспособлены к исполнению своей космической функции – улавливанию солнечного света. Условия биосферы обеспечивают встречу луча с зеленым растением.

*Превращение солнечной энергии в химическую в зеленых, хлорофиллоносных организмах – главное свойство живого вещества, его основная функция.*

С зеленой частью биосферы неразрывно связан и весь остальной живой мир. Дальнейшую переработку созданных растениями химических соединений осуществляет живое вещество второго порядка – животные. Их деятельность можно рассматривать как развитие единого процесса превращения солнечной энергии в работающую энергию Земли. После смерти организмы попадают в иное термодинамическое поле среды и разрушаются, выделяя энергию. Следовательно, совокупность всех живых организмов, все живое вещество – это область превращения световых излучений Солнца и накопления солнечной энергии в виде химической энергии.

Значение этого процесса огромно. Непрерывно падает на Землю поток солнечного света и непрерывно работает по всей поверхности Земли (и суши, и моря) аппарат его улавливания и превращения – живое вещество. Живое вещество, подобно массе газа, растекается по земной поверхности и в окружающей среде, обходит препятствия и овладевает пространством.

Размножение организмов, обеспечивающее это движение, идет с определенным темпом, несмотря на чрезвычайную изменчивость жизни, размножение, рост. т. е. работа по превращению солнечной энергии в земную подчиняется стройным математическим закономерностям, мере и гармонии, какие мы видим в движениях небесных светил и в системах атомов.

**Размножение организмов** – важнейшее проявление механизма земной коры, и в нем главное отличие живого от мертвого.

Область жизни – вся поверхность планеты.

При отсутствии препятствий во внешней среде любые организмы, особенно бактерии, могли бы создать с непостижимой быстротой невероятные количества сложнейших химических соединений, являющихся вместилищем огромной химической энергии. Так, обитающие в морской воде шаровые бактерии объемом  $10^{-12}$  см<sup>3</sup> менее чем за 1,5 суток образовали бы пленку, покрывающую земной шар. Скорость продвижения шаровых бактерий по земной поверхности была бы равна 33100 см/с. Эта скорость может рассматриваться как потенциальная скорость распространения жизни. С такой скоростью бактерия могла бы за 1,47 суток путем размножения совершить полный оборот вокруг земного шара [5].

Потенциальная способность к размножению у многих организмов огромна. У простейших в благоприятных условиях промежутки между последовательными делениями может сокращаться до нескольких минут. Гриб склеропола, паразитирующий на кукурузе, порождает до 6 миллиардов спор на одно растение в день. Однолетний мак производит до миллиона семян. Среди насекомых рекордсмен – матка термитов: она кладет по одному яйцу в секунду на протяжении всей жизни (у некоторых видов – до 12 лет). У рыб – треска откладывает до 4 миллионов икринок в год, сельдь на протяжении жизни – от 8 до 75 миллиардов. У млекопитающих в одном помете от одной (киты, слоны, приматы) до двадцати половых клеток (серая крыса). Высокая плодовитость компенсируется гибелью подавляющего большинства гамет и зачатков, а также родившихся особей из-за факторов сопротивления среды: недостатка пищи, действия неблагоприятных абиотических факторов, конкуренции, отклонений в развитии, болезней, паразитов, хищников, нехватки пространства, убежищ и т. д.

В природных условиях рост популяции рано или поздно прекращается из-за факторов сопротивления среды, которые тем больше, чем больше численность популяции.

В связи с изменениями условий среды численность и плотность популяций постоянно изменяется. Обычно эти колебания неупорядочены и зависят от случайного сочетания многих факторов. Но в любом случае плотность популяции колеблется около уровня средней емкости среды. Если сопротивление среды длительное время невелико, например, благодаря благоприятным природным и кормовым условиям, то у

некоторых видов с перекрывающимися поколениями может наблюдаться быстрое размножение. Так происходят массовые вспышки численности у некоторых насекомых.

**Газовый обмен** организмов, т. е. дыхание, также имеет важнейшее значение. Газы в биосфере те же, что образуются при газовом обмене в живых организмах, –  $O_2$  и др. И это не случайность. Свободный кислород образуется только благодаря зеленым организмам.

Тесная связь газов с жизнью указывает на то, что газовый состав биосферы – чисто земное явление, определяемое фотосинтезом и дыханием организмов в масштабе планеты.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Кто автор термина «биосфера»? Дайте определение этого термина.
2. Какие геосферы охватывает биосфера?
3. Дайте определение атмосферы. Какие основные физические параметры изменяются в атмосфере?
4. Как происходит изменение состава атмосферы с высотой?
5. Как изменяется температура в атмосфере с высотой?
6. Какова роль озона в тепловом режиме атмосферы и Земли?
7. Как влияет антропогенная деятельность человека на природный состав воздуха?
8. Дайте определение гидросферы. Каковы основные свойства воды как компонента эколого-географической среды?
9. Какова роль воды в природе?
10. Дайте определение литосферы. Какой слой литосферы обеспечивает плодородие?
11. Чем отличается земная кора от мантии и ядра?
12. Какие космические излучения служат источником жизни на планете?
13. Какова основная функция живого вещества в биосфере?

## Глава 3. Экологические системы

Определить предмет экологии позволяет концепция организации живой оболочки Земли – биосферы. Биосфера состоит из биологических систем разного уровня сложности и организации.

### БИОСИСТЕМЫ

*Биосистемы* – это природные системы, в которых живые компоненты, называемые биотическими, упорядоченно взаимодействуют с неживой физической средой, т. е. абиотическими компонентами, составляя с ними единое целое.

Согласно современным представлениям на «лестнице жизни» выделяют шесть ступенек, которые гипотетически могут быть продолжены и вверх, и вниз. Это гены, клетки, органы, организмы, популяции и сообщества [5].

По мере продвижения биосистем от низших ступенек к высшим уровень организации входящих в них биотических компонентов усложняется: гены–клетки–органы–организмы–популяции и сообщества. Абиотические компоненты на всех уровнях представлены веществами и энергией, которые формируют все факторы неживой физической среды.

Биотические и абиотические компоненты вместе образуют соответствующие биосистемы, расположенные в следующем порядке [5]: 1) генетические системы, 2) клеточные системы, 3) системы органов, 4) системы организмов, 5) популяционные системы, 6) экологические системы.

Биосистемы разных уровней являются предметом изучения различных дисциплин: генетические системы изучает генетика (греч. *geneticos* – наследственный), клеточные – цитология (греч. *kytos* – клетка), органы – физиология (греч. – *physis* – природа, природные функции) и отдельные разделы медицины и др. Более высокоорганизованные системы уже не укладываются в рамках одной дисциплины. Организмы, например, рассматриваются в разнообразных разделах бо-

таники и зоологии: в альгологии (лат. *alga* – водоросль), микробиологии (греч. *micros* – малый), микологии (греч. *mykos* – гриб), ихтиологии (греч. *ichthys* – рыба), орнитологии (греч. *ornis* – птица), антропологии (греч. *antropos* – человек) и т. п. [5].

Системы, которые расположены выше уровня организмов, – популяционные системы, экосистемы и биосферу в целом изучает экология.

**Популяционные системы** – это биосистемы, в которых биологические компоненты представлены популяциями.

**Популяция** – это совокупность разновозрастных особей одного вида, обменивающихся генетической информацией, объединенных общими условиями существования, необходимыми для поддержания численности в течение длительного времени: общность ареала, происхождение, свободное скрещивание и т. п.

В отличие от отдельных организмов, популяция характеризуется рядом признаков, носителем которых является группа, но не отдельные особи: плотность, рождаемость, смертность, возрастная структура, распределение в пространстве, кривая роста и др. Кроме групповых свойств популяции обладают и «биологическими свойствами», присущими как популяции, так и входящим в нее организмам. Одна из самых важных характеристик популяции – ее возрастная структура, определяющая кривую роста численности популяции, степень ее зрелости и стабильности.

В быстро растущих популяциях значительную долю составляют молодые особи; в популяциях, начинающих в стабильном состоянии, возрастное распределение относительно равномерно, а в отмирающих популяциях молодые особи составляют меньшую долю от общей численности популяции.

Популяции в экосистемах объединяются в сообщество организмов – биоценоз.

**Биоценоз** – это сообщество всех организмов экосистемы, которые живут в определенном пространстве абиотической среды – *биотопе*. Биоценоз и биотоп функционируют как единое целое, образуя экосистему.

**Экологическая система (экосистема)** – совокупность популяций, различных видов растений, животных и микробов, взаимодействующих между собой и окружающей их средой таким образом, что эта совокупность сохраняется неопределенно долгое время. Примеры экологических систем: луг, лес, озеро, океан.

Экологические системы в экологии занимают центральное место.



Экосистемы существуют везде – в воде и на земле, в сухих и влажных районах, в холодных и жарких местностях. Они по-разному выглядят, объединяют различные виды растений и животных.

Глобальной экосистемой является биосфера. Она включает все живые организмы Земли, взаимосвязанные с физической средой. Биосфера – система жизнеобеспечения Земли.

Организмы живут лишь в приземных слоях атмосферы, в гидросфере и в верхней части литосферы. Практически вся жизнь сосредоточена в тонкой прослойке воздуха, воды и горных пород. Если представить себе всю Землю размером с яблоко, то биосфера окажется не толще яблочной кожуры.

Главная цель экологии – узнать, как работают экосистемы биосферы.

Обычно ученые исследуют природные (леса, пустыни, степи, озера, реки, океаны) или созданные человеком (сельскохозяйственные поля, поселки, города) экосистемы. Какие организмы обитают в экосистемах? Каким образом они получают необходимые для жизни ресурсы веществ и энергии? Как эти организмы взаимодействуют друг с другом и с окружающей их неживой природой? Какие изменения будут происходить в экосистемах с течением времени? Экология пытается получить ответы на эти и другие вопросы о функционировании систем.

Для решения экологических проблем глобального уровня прежде всего надо изучить экосистемный уровень организации жизни.

Состав экосистемы представлен двумя группами компонентов: абиотическими – компонентами неживой природы и биотическими – компонентами живой природы.

**Абиотические компоненты** – это химические и физические элементы неживой природы.

1. Неорганические вещества и химические элементы, участвующие в обмене веществ между живой и неживой материей: диоксид углерода, вода, кислород, кальций, магний, калий, натрий, железо, азот, фосфор, сера, хлор и др.

2. Органические вещества, связывающие абиотическую и биотическую части экосистем: углеводы, жиры, аминокислоты, белки и др.

3. Поток энергии.

4. Воздушная, водная и твердая среда обитания.

5. Климатический режим: солнечный свет, испарение, ветер, температура, влажность, осадки, водные течения и др.

**Биотические компоненты** состоят из трех функциональных групп организмов (рис. 3.1) [5].

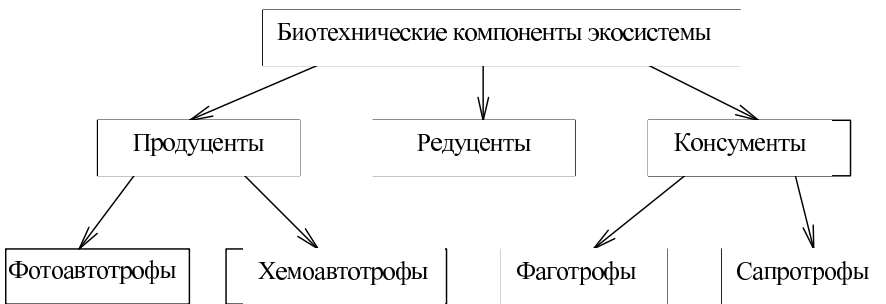
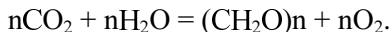


Рис. 3.1. Биотические компоненты экосистем

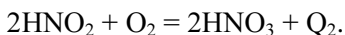
Первая группа организмов – продуценты (лат. *producent* – создающий, производящий), или автотрофные организмы (греч. *autos* – сам, *trope* – пища), сами являются пищей.

**Продуценты, или автотрофы** – это такие организмы, которые в качестве питательного материала используют простые неорганические вещества: воду, углекислый газ, нитраты, фосфаты и др. В качестве энергетического материала продуценты используют либо солнечный свет, либо энергию химических реакций. Они подразделяются на фото- и хемоавтотрофы.

**Фотоавтотрофы** используют в качестве источника энергии солнечный свет, а в качестве питательного материала – в основном углекислый газ и воду. К этой группе организмов относятся все зеленые растения и некоторые бактерии. В процессе жизнедеятельности они синтезируют на свету органические вещества – углеводы, или сахара  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , которыми питаются животные:



**Хемоавтотрофы** используют энергию, выделяющуюся при химических реакциях. К этой группе относятся, например, нитрифицирующие бактерии, окисляющие аммиак до азотистой и затем до азотной кислоты:



Химическая энергия выделяется при этих реакциях и используется бактериями для синтеза органических веществ.

Главная роль в создании органических веществ принадлежит зеленым растительным организмам. Роль хемосинтезирующих бактерий в этом процессе относительно невелика. Каждый год фотосинтезирующими организмами на Земле создается около 150 млрд тонн органического вещества, аккумулирующего солнечную энергию.

Вторая группа организмов – консументы (лат. consume – потребитель), или гетеротрофные организмы (греч. heteros – другой, trope – пища) – питаются другими организмами.

**Консументы, или гетеротрофы** используют в качестве источника и энергии, а также питательного материала готовое органическое вещество. Консументы осуществляют процесс разложения органических веществ. Их делят на фаготрофов (греч. phagos – пожирающий) и сапротрофов (греч. sargos – гнилой).

**Фаготрофы** питаются непосредственно растительными или животными организмами. К ним относятся в основном крупные животные – макроконсументы.

**Сапротрофы** используют для питания органические вещества мертвых остатков. К этой группе относятся как мелкие организмы (муравьи, черви и др.), так и крупные животные (гиены, шакалы, вороны и др.).

Третья группа организмов – редуценты (лат. reductio – восстановление), или деструкторы (лат. destructio – разрушение).

**Редуценты, или деструкторы** – это консументы, участвующие в последней стадии разрушения, т. е. в минерализации органических веществ, которые они восстанавливают до неорганических соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.). Редуценты очищают природную среду от отходов, возвращают вещества в круговорот, превращая их в формы, доступные для продуцентов. Таким образом, жизненный цикл возвращается.

К редуцентам относятся главным образом микроскопические организмы (бактерии, грибы и др.) – микроконсументы. Их выделяют в отдельную группу потому, что роль редуцентов в круговороте веществ чрезвычайно велика. Без них в биосфере накапливались бы груды органических остатков; иссякли бы запасы минеральных веществ, необходимых продуцентам, и жизнь в той форме, которую мы знаем, прекратилась бы.

Пространственная структура экосистем обусловлена тем, что процессы образования и разложения органических веществ, т. е. авто-

трофные и гетеротрофные процессы, обычно разделены в пространстве. Первые активно протекают в верхних слоях, куда проникает солнечный свет, а вторые интенсивнее проявляются в нижних слоях экосистем: почвах, донных отложениях. Кроме того, эти процессы разделены во времени, поскольку существует временной разрыв между образованием органических веществ растениями и разложением их животными организмами.

Например, в полосе леса лишь небольшая часть зеленой массы немедленно используется животными, паразитами и насекомыми. Большая часть образованного материала (листья, древесина, семена, корневища и др.) не потребляется сразу и переходит в почву или в осадки. Могут пройти недели, месяцы, годы или даже тысячелетия, прежде чем накопленное органическое вещество будет использовано.

Следовательно, с точки зрения пространственной структуры в природных экосистемах можно выделить два яруса.

1. Верхний, автотрофный ярус, или «зеленый пояс» Земли, который включает растения или их части, содержащие хлорофилл; здесь преобладают фиксация света, использование простых неорганических соединений и синтез органических веществ, т. е. накопление солнечной энергии в сложных фотосинтезируемых веществах.

2. Нижний, гетеротрофный ярус, или «коричневый пояс» Земли, представлен почвами в наземных экосистемах и данными осадками – в водных. В них преобладают процессы разложения мертвых органических остатков растений и животных.

Живые и неживые компоненты экосистем так тесно переплетены друг с другом в единый комплекс, что разделить их крайне трудно. Большая часть входящих в состав живых организмов, химических элементов и органических соединений, называемых биогенными веществами, встречается как в живых, так и в неживых организмах и образует постоянный поток между живым и неживым. В то же время некоторые вещества могут принадлежать только одному из этих состояний. Например, АТФ (аденозинтрифосфатаза) встречается только в живых клетках, ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и хлорофилл не функционируют вне живых клеток, а гумус никогда не встречается в организмах.

## СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ ЭКОСИСТЕМ

*Экосистемы*, как популяционные системы, помимо «биологических свойств», присущих отдельным организмам, обладают рядом признаков, характеризующих сообщество в целом, называемых совокупными свойствами.

Кроме того, они характеризуются качественно новыми уникальными свойствами, отсутствующими у популяционных систем, входящих в их состав.

**Свойства экосистем** можно разделить на две группы: совокупные и качественно новые свойства (эмерджентные).

**Совокупные свойства** складываются из свойств отдельных подсистем, входящих в экосистему, и представляют собой сумму свойств отдельных компонентов. Рождаемость – пример совокупного свойства, характеризующего сумму рождений отдельных организмов. К совокупным свойствам относятся также площадь обитания биоценоза, плотность организмов, их общая численность, смертность и др.

Помимо совокупных свойств каждая экосистема приобретает уникальные, качественно новые свойства, называемые эмерджентными (англ. emergent – неожиданно возникающий, появляющийся).

По мере объединения подсистем в более крупные функциональные единицы у этих новых систем возникают уникальные свойства, которых не было на предыдущем уровне. Эти качественно новые свойства нельзя предсказать на основании свойств подсистем низшего порядка, составляющих систему следующего, более высокого уровня организации.

Для иллюстрации эмерджентных свойств можно привести пример из химии. Водород и кислород, соединяясь в определенном соотношении, образуют воду – жидкость, совершенно не похожую ни на водород, ни на кислород, свойства которой невозможно предсказать исходя из свойств исходных газов. Так же в человеческом сообществе. Психология толпы есть сумма психологических портретов отдельных людей. Поведение человека вне толпы отличается от его поведения в окружении массы людей. Ч. Айтматов в 2000 г. писал: «Если взять отдельного человека, то сам по себе он безопасное существо. Но как только люди собираются в большие группы, нации, этносы и вооружаются экстремистскими идеями, начинают действовать разрушительные силы толпы, с которой вести диалог невозможно» [5].

Отличительной особенностью эмерджентных свойств является то, что их нельзя свести к сумме свойств подсистем, составляющих экосистему, – это ее уникальные несводимые свойства.

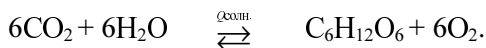
## Обмен веществ в экосистеме

Образование и разложение органических веществ, или взаимодействие автотрофных и гетеротрофных процессов – наиболее важных функций экосистем, обусловлена именно их эмерджентными свойствами.

Образование органических соединений из неорганических веществ происходит в результате процессов фотосинтеза и хемосинтеза.

**Фотосинтез** – процесс синтеза органических соединений из неорганических веществ, идущий за счет энергии света.

Все живое в современной биосфере зависит от этого процесса. Фотосинтез делает энергию Солнца и углерод доступными для живых организмов и обеспечивает обогащение кислородом атмосферы Земли. Процесс фотосинтеза описывается суммарным уравнением:



Русский ученый К.А. Тимирязев показал, что для осуществления фотосинтеза необходим *хлорофилл* – вещество зеленого цвета, поглощающее солнечные лучи в красной и сине-фиолетовой частях спектра. У высших растений хлорофилл находится во внутренних мембранах хлоропластов – специализированных органелл растительной клетки, в которых происходит реакция фотосинтеза.

**Хемосинтез** – синтез органических соединений из неорганических веществ с использованием химической энергии, выделяющейся в реакциях окисления неорганических веществ [2].

Процесс хемосинтеза открыт русским ученым-микробиологом С.Н. Виноградским в 1887 г. Некоторые группы бактерий – нитрифицирующие, железобактерии, серобактерии способны накапливать освобождающуюся в процессах окисления энергию и затем использовать ее для синтеза органических веществ. Процесс хемосинтеза протекает без участия хлорофилла, для его осуществления не обязательно наличие света.

Например, нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак до азотистой кислоты. Суммарное уравнение реакции:



Освобождающаяся энергия накапливается в молекулах АТФ и используется для синтеза органических веществ.

Синтезированные растениями углеводы (глюкоза, сахароза, крахмал и др.) являются главным источником энергии для большинства гетеротрофных организмов, населяющих нашу планету.

Разложение органических веществ происходит в процессе метаболизма (греч. *metabol* – изменение) в живых клетках.

**Метаболизм** – это совокупность биохимических реакций и превращений энергии в клетках живых организмов, сопровождающихся обменом веществ между организмами и средой [5].

Сумма реакций, ведущих к распаду или деградации молекул и выделению энергии, называется **катаболизмом**, а реакций, приводящих к образованию новых молекул, – **анаболизмом**.

Превращения энергии в биохимических реакциях осуществляются путем переноса электронов с одного энергетического уровня на другой или от одного атома или молекулы – к другим. Вещество, отдающее электроны, называется донором, а принимающее электроны – акцептором.

Энергия органических веществ выделяется в метаболических процессах при дыхании организмов.

**Дыхание** – это процесс, в результате которого энергия, выделенная при распаде органических веществ, передается на универсальную энергонесущую молекулу аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), где она хранится в виде высокоэнергетических фосфатных связей.

Так, при разложении 1 моля глюкозы выделяется 686 ккал свободной энергии ( $1 \text{ ккал} = 4,187 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ )\*.

Если бы эта энергия выделялась быстро, то большая часть ее рассеялась бы в виде теплоты. Это привело бы клетку к губельному для нее повышению температуры. Но в живых системах есть сложные механизмы, которые регулируют многочисленные химические реакции таким образом, что энергия хранится в химических связях и затем выделяется постепенно, по мере необходимости.

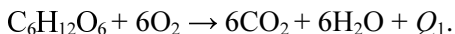
У млекопитающих, птиц и некоторых других позвоночных теплота, выделяемая при дыхании, тем или иным путем сохраняется, и поэтому температура их тела, как правило, выше температуры окружающей среды. У растений скорость дыхания не велика, поэтому выделяемая теплота обычно не накапливается и не влияет на температуру растений.

---

\* Моль – сокращенное название грамм-молекулы или килограмм-молекулы.

Дыхание может происходить в аэробных (в присутствии кислорода) и в анаэробных (бескислородных) условиях [5].

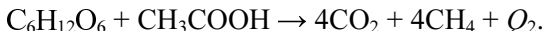
**Аэробное дыхание** – процесс, обратный нормальному фотосинтезу, т. е. синтезированное органическое вещество ( $C_6H_{12}O_6$ ) вновь разлагается с образованием  $CO_2$  и  $H_2O$  и высвобождением потенциальной энергии  $Q_{пот}$ , аккумулированной в этом веществе. Акцептором электронов является кислород:



При этом  $Q_1 = Q_{пот} = 686$  ккал/моль.

В отсутствие кислорода процесс может остаться незаконченным. В результате незавершенного дыхания образуются органические вещества, содержащие некоторое количество энергии, которая может быть использована другими организмами.

**Анаэробное дыхание** протекает без участия газообразного кислорода. Акцептором электронов служит не кислород, а другое вещество, например уксусная кислота:

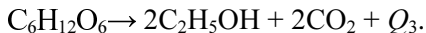


При этом  $Q_2 < Q_{пот}$ , а выделяющийся метан обладает некоторым запасом энергии  $q_1$  и может использоваться в качестве топлива или самопроизвольно окисляться и воспламеняться в природе:

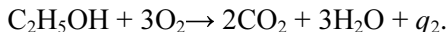


Бескислородное дыхание служит основой жизнедеятельности многих сапротрофов (бактерий, дрожжей, плесневых грибов, простейших), но может встречаться и в тканях высших животных.

**Брожение** – это анаэробное дыхание, при котором органическое вещество само служит и донором, и акцептором электронов:



При этом  $Q_3 < Q_{пот}$ , а образующийся спирт также содержит некоторое количество энергии  $q_2$ , которая может быть использована другими организмами:



Разложение может быть результатом не только биотических, но и абиотических процессов. Например, степные и лесные пожары возвращают большое количество  $CO_2$  и других газов в атмосферу и минеральных веществ в почву.



Разложение органических веществ есть процесс, в результате которого организмы получают необходимые химические элементы и энергию при преобразовании пищи внутри их клеток.

Если бы эти процессы прекратились, то все биогенные элементы оказались бы связанными в мертвых клетках, а продолжение жизни стало бы невозможным. Комплекс разрушителей в биосфере состоит из огромного числа видов, которые, действуя последовательно, разлагают органические вещества до минеральных. Процессы образования органических веществ и их распад называют также процессами продукции и деструкции.

**Продукционно-деструктивный баланс** в биосфере, называемый также биотическим балансом, зависит от соотношения скоростей автотрофных и гетеротрофных процессов. В течение длительного геологического периода, начиная приблизительно с кембрия (600 млн – 1 млрд лет назад), небольшая, но заметная часть синтезируемого органического вещества не расходовалась, а сохранялась и накапливалась в осадках. Это обусловлено тем, что не все части отмерших растений и животных разрушаются с одинаковой скоростью. Жиры, сахар и белки разлагаются достаточно быстро, а древесина (клетчатка, лигнин), хитин, кости – очень медленно. Наиболее устойчивым промежуточным продуктом разложения органических веществ является гумус, дальнейшая минерализация которого протекает очень медленно. Медленное разложение гумуса – одна из причин запаздывания деструкции по сравнению с продукцией. С точки зрения химии гумусовые вещества представляют собой продукты конденсации ароматических соединений (фенолов, бензолов и др.) с продуктами распада белков и полисахаров. Для их расщепления требуются специальные ферменты, которые часто отсутствуют у почвенных и водных сапротрофов.

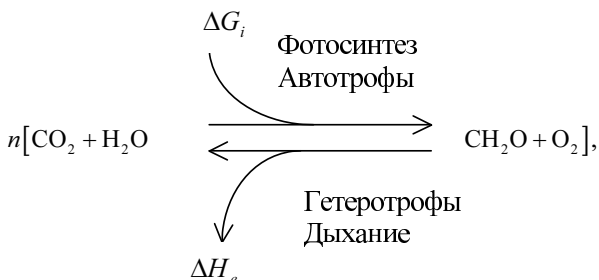
Именно преобладание скорости синтеза над скоростью разложения органических веществ стало причиной уменьшения содержания углекислого газа и накопления кислорода в атмосфере.

Примерно 300–500 млн лет назад отмечался особенно большой избыток органической продукции, что привело к образованию и накоплению в недрах Земли горючих ископаемых. Позже за счет накоплений этой энергии человек смог совершить промышленную революцию.

Соотношение скоростей автотрофных и гетеротрофных процессов может служить одной из главных функциональных характеристик экосистем.

Соотношение концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  отражает соотношение скоростей этих процессов в экосистемах, т. е. соотношение аккумулированной продуцентами и рассеянной консументами энергии. За последние 60 млн лет в атмосфере установилось относительно постоянное содержание  $\text{O}_2$  (21 %) и  $\text{CO}_2$  (0,03 %).

Соотношение  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере характеризует баланс автотрофных и гетеротрофных процессов в биосфере в целом. Обмен веществ в подавляющем большинстве экосистем осуществляет фундаментальный обратимый химический процесс [11]:



где общий множитель  $n$  определяет масштаб преобразований вещества и энергии в экосистеме.  $\Delta G_i$  – энергия света, потребленная при фотосинтезе;  $\Delta H_e$  – энергия теплоты, выделенной при дыхании. Здесь синтезируемое и распадающееся органическое вещество представлено углеводом  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ . Это может быть глюкоза ( $n=6$ ) или самое распространенное органическое вещество биосферы целлюлоза ( $n>1800$ ). Количества поглощенной и выделенной энергии равны  $n[-\Delta G_i = \Delta H_e \cong -560]$  кДж/моль.

Уравнение описывает идеальный случай для экосистемы, замкнутой по веществу. В реальных экосистемах прямая и обратная реакция, как правило, не совпадают из-за обмена участниками реакции (переноса воды, газов и органики) с другими системами.

Для биосферы в целом важнейшее значение имеет отставание процессов разложения органических веществ от процессов синтеза их зелеными растениями. Именно это отставание обусловило накопление в недрах горючих ископаемых, а в атмосфере – кислорода.

Установившийся в биосфере положительный баланс продукционно-деструкционных процессов обеспечивает жизнь аэробных организмов, в том числе человека.

## ПОТОКИ ЭНЕРГИИ В ПИЩЕВЫХ ЦЕПЯХ

Жизнь на Земле существует за счет солнечной энергии. Фотосинтезирующие растения создают органическое вещество (продуценты), которым питаются травоядные животные (первичные консументы), которыми, в свою очередь, питаются плотоядные хищники первого, второго и третьего порядка (консументы) и т. д. В конечном итоге растения «кормят» весь остальной живой мир.

Перенос энергии пищи в процессе питания через последовательный ряд живых организмов называется *пищевой, или трофической цепью*.

Пищевые цепи делятся на два основных типа: пастбищные и детритные.

**Пастбищная пищевая цепь** начинается с зеленых растений и идет к растительноядным, а затем к плотоядным животным (Ю. Одум, 1971).

**Детритная пищевая цепь** – пищевая цепь, первым звеном которой является мертвое органическое вещество, поедаемое детритофагами, служащими, в свою очередь, пищей для мелких хищников и редуцентов.

Все организмы экосистем вовлечены в сложную сеть пищевых взаимоотношений. Пищевые цепи тесно переплетаются друг с другом, образуя пищевые или трофические сети.

Так, зеленые растения (продуценты) занимают первый трофический уровень; травоядные животные (первичные консументы) – второй; хищники (вторичные консументы) – третий и т. д.

Пища, поглощаемая консументами, усваивается не полностью. На первом трофическом уровне в энергию пищи превращается примерно 1 % солнечного света.

При каждом очередном переносе большая часть (80–90 %) потенциальной энергии пищи рассеивается, переходя в теплоту.

Организмы, получающие энергию Солнца через одинаковое число ступеней, принадлежат к одному трофическому уровню.

Трофическую структуру можно изобразить графически в виде экологических пирамид.

**Экологическая пирамида** – соотношение между продуцентами, консументами (первого, второго порядков) и редуцентами в экосистеме, выраженное в их массе и изображенное в виде графической модели [10].

Экологические пирамиды отражают законы распределения количества энергии в пищевых цепях: показывают, что на каждом предыдущем трофическом уровне количество энергии, аккумулированной в

единицу времени, больше, чем на последующем. Экологические пирамиды изображаются графически в виде поставленных друг на друга прямоугольников равной высоты, длина которых соответствует масштабам продукции на соответствующих трофических уровнях. Эта закономерность справедлива не только для энергии, но и для численности и биомассы организмов.

Пирамида чисел отражает, что численность организмов на каждом трофическом уровне от продуцентов к консументам уменьшается (пирамида Элтона).

Пирамида биомассы отражает, что суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а масса травоядных превышает всю биомассу хищников.

Пирамида энергии (продукции) отражает, что на каждом предыдущем трофическом уровне количество энергии (биомассы), создаваемое в единицу времени, больше, чем на последующем.

## САМОРЕГУЛЯЦИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

*Саморегуляция* – способность природной (экологической) системы к восстановлению внутренних свойств и структур после какого-либо природного или антропогенного воздействия, изменившего эти свойства и структуры. Саморегуляция основана на принципе обратной связи отдельных составляющих природную систему, подсистем и экологических компонентов.

Саморегуляция экосистем обеспечивается внутренними механизмами, устойчивыми взаимодействиями их компонентов, трофическими и энергетическими связями.

Экосистемы, популяции и организмы характеризуются развитыми информационными сетями, состоящими из потоков физических и химических сигналов, связывающих все их части в единое целое. Эти потоки управляют системой, подобно тому как гормональная и нервная системы связывают все части организма и управляют ими.

Для обеспечения работы информационной связи необходимы три элемента:

- **рецептор**, который воспринимает сигнал изменения или нарушения в системе;
- **анализатор**, который принимает, оценивает и анализирует информацию, посылаемую рецептором;
- **преобразователь**, который изменяет или восстанавливает нарушенное состояние системы и с помощью обратного сигнала подает информацию анализатору [5].

Например, при повышении температуры тела рецептор кожи посылает информацию по нервным клеткам в определенный участок мозга – анализатор. Последний, в свою очередь, посылает информацию преобразователю – потовыделяющим железам. Пот испаряется и организм охлаждается. Когда температура нормализуется, кожные рецепторы посылают новую информацию в мозг, который подает сигнал обратной связи для прекращения потоотделения.

В экосистемах управление также основано на обратных связях, когда часть сигналов с выхода из системы вновь поступает на вход, регулируя состояние системы на выходе.

**Обратные информационные связи** необходимы для сохранения равновесия в экосистемах. Обратные связи бывают положительными и отрицательными.

**Положительная обратная связь** является как бы саморазгоняющейся. Она усиливает однонаправленные изменения в системе дополнительной информацией, поступающей с выхода системы на вход. Например, страна А увеличивает производство вооружения. Это служит сигналом стране Б для выпуска дополнительного вооружения, что является сигналом обратной положительной связи для страны А, которая начинает производить еще больше оружия. Соответственно и страна Б наращивает вооружение и т. д. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока одна или обе страны не обанкротятся или не подорвут себя и соседние страны. Положительная обратная связь может расширять систему и даже разрушать ее, если не поступят сигналы обратной отрицательной связи. В приведенном примере сигналом отрицательной обратной связи может служить банкротство одной из стран, которое приведет к снижению гонки вооружения в обеих странах.

Положительная обратная информационная связь не всегда губительна. Так, если вы вызываете положительные эмоции у делового партнера, он отвечает вам взаимностью, что вызывает у вас ответную реакцию, деловой интерес возрастает у обоих компаньонов и т. д. Положительная обратная связь усиливает положительные отклонения и в значительной степени определяет рост и выживание организмов, хотя может приводить и к нарушению равновесия. Для осуществления контроля необходима отрицательная обратная связь.

**Отрицательная обратная связь** – это поток информации в систему, противодействующий изменениям внешних условий. Она помогает избегать перегрева организма или термостата, перепроизводства продукции, перенаселения и т. д. Устройства для управления с помощью обратной связи в технике называют сервомеханизмами. Для живых систем используют термин «гомеостатические организмы», или «го-

меостаз» (греч. homos – одинаковый, stasis – состояние), т. е. механизмы, поддерживающие стабильное состояние.

*Сервомеханизмы*, как и отдельные организмы, имеют механический или физиологические регуляторы, расположенные в «постоянной точке». Например, для поддержания постоянной температуры в помещении, термостате или холодильнике терморегулятор управляет нагревательным прибором, отключая или включая его.

*Гомеостаз* – это регуляторные механизмы живых систем. У теплокровных животных регуляция температуры тела осуществляется специальным центром в мозгу. Другие центры поддерживают постоянное кровяное давление, сердечный ритм и т. д. В экосистемах в результате взаимодействия круговорота веществ, потоков энергии и сигналов обратной связи от subsystemов возникает саморегулирующийся гомеостаз без регуляции извне из «постоянной точки».

*Гомеостаз* – это способность популяции или экосистемы поддерживать устойчивое динамическое равновесие в изменяющихся условиях среды с помощью обратных связей [5].

В число управляющих механизмов на уровне экосистемы входят, например, такие subsystemы, как редуценты, регулирующие накопление и высвобождение биогенных элементов, необходимых растениям.Subsystema «хищник–жертва» (волки–зайцы) управляет плотностью популяций и хищника, и жертвы.

Природа чрезвычайно вынослива. Живые организмы, популяции, экосистемы могут достаточно долго, но не беспредельно поддерживать динамическое равновесие.

Итак, все живые существа и человек в том числе, так же как и экосистемы, являются саморегулирующимися гомеостатическими экосистемами, поддерживающими равновесие главным образом за счет отрицательных обратных связей.

Следовательно, экосистемы способны поддерживать относительную стабильность своего состояния.

**Стабильность экосистем** в экологии означает свойство любой системы возвращаться в исходное состояние после того, как она была выведена из состояния равновесия. Стабильность определяется устойчивостью экосистем к внешним воздействиям. Выделяют два типа устойчивости: резистентную и упругую.

*Резистентная устойчивость* – это способность экосистемы сопротивляться нарушениям, поддерживая неизменными свою структуру и функции.

*Упругая устойчивость* – способность системы быстро восстанавливаться после нарушения структуры и функций.

Системе трудно одновременно развить оба типа устойчивости: они связаны обратной связью, а иногда исключают друг друга.

Например, калифорнийский лес из секвойи устойчив к пожарам (высокая резистентная устойчивость), но если сгорит, то восстанавливается очень медленно или вовсе не восстанавливается (низкая упругая устойчивость). А заросли вереска очень легко выгорают (низкая упругая устойчивость), но быстро восстанавливаются (высокая резистентная устойчивость).

Огромное значение в сохранении стабильности биосферы в целом имеет биологическое разнообразие (биоразнообразие).

**Биоразнообразие** – наиболее ценный ресурс планеты, который возник в результате естественного отбора в течение миллиардов лет при взаимодействии двух процессов: видообразования и вымирания видов. Биоразнообразие включает два понятия: генетическое и видовое разнообразие.

Генетическое разнообразие, т. е. многообразие генетических программ у особей одного вида, – это гигантская генетическая библиотека, которая помогает всем видам совершенствоваться, использовать необходимые ресурсы, находить свое место в биосфере, приспосабливаться к изменениям в окружающей среде.

Видовое разнообразие – это многообразие различных видов организмов внутри какого-то биоценоза. Это «страховая политика» природы против катастроф.

Человек – самое могущественное существо, способное изменить функционирование экосистем. Человеческий мозг до сих пор опирался в основном на положительную обратную связь. Пытаясь выкачать из природы все богатства, он ломал (и ломает) механизмы ее самовосстановления, что привело к росту техники, уровня жизни и одновременно – к истощению природных ресурсов и загрязнению окружающей среды. Этот процесс, в конце концов, приведет к снижению качества жизни и разрушению окружающей среды, если не будут найдены пути адекватного управления с помощью отрицательной обратной связи.

Возможности природы восстанавливаться даже после катастроф очень велики. Человечество пережило немало природных и социальных потрясений: чума, извержения вулканов (гибель Помпеи), опустошительные войны, революции и др.

В естественных экосистемах одни виды вымирают, их место занимают другие. Исчезнувшие леса, поля, поселения со временем могут заменяться другими системами. В биосфере идет постоянный процесс изменения и развития экосистем.

Наблюдения показывают, что в результате естественных (движения ледников, пожары, наводнения, землетрясения, извержения вулканов и др.) или антропогенных (пожары, вырубки леса, добыча полезных ископаемых, создание водохранилищ, загрязнения и т. д.) нарушений биоценозы и даже почва в экосистемах частично или полностью могут исчезать. После таких крупномасштабных изменений данный участок возрождается в несколько этапов. Например, заброшенные поля или выжженный лес постепенно завоевываются многолетними дикими травами, затем кустарниками и, в конце концов, деревьями. Такой закономерный процесс, при котором биоценоз экосистемы с течением времени последовательно замещается серией других биоценозов, и называется экологической сукцессией.

**Экологическая сукцессия** – это закономерная последовательная смена биоценозов, преемственно возникающих на одном и том же биотопе под воздействием природных или антропогенных факторов [5].

Некоторые сообщества остаются стабильными многие годы, другие изменяются быстро.

## Примеры экосистем

Экосистемы принято подразделять на естественные – природные и созданные человеком – антропогенные. Природные экосистемы подразделяются на наземные и водные. Они обеспечивают условия существования человека и других животных организмов.

**Наземные экосистемы**, как и водные, входят в состав биосферы. Климатически обусловленные крупные совокупности экосистем называют биомами, или формациями [5].

**Биом** – это макросистема, совокупность экосистем, тесно связанных климатическими условиями, потоками энергии, круговоротом веществ, миграцией организмов и типом растительности.

Основные типы наземных биомов – это пустынные, травянистые и лесные экосистемы. Каждой экосистеме присущи свои типичные сообщества растений, животных и редуцентов, которые приспособлены к определенным климатическим условиям. Среднегодовое количество осадков, среднегодовая температура и их колебания в течение года – основные факторы, которые формируют сообщества пустынь, лугов и лесов в тропических, умеренных и полярных широтах. Важными факторами также являются циркуляция воздуха, распределение солнечного света, сезонность климата, высота и ориентация гор, гидродинамика вод.



Наземные формации в основном определяются растительностью, так как растения теснейшим образом зависят от климата, и именно они образуют основную часть биомассы. Лимитирующим фактором, формирующим ее характер на большей части Земли, является количество осадков.

В пустыне испарение составляет менее 250 мм в год, но при этом превышает среднегодовое количество осадков. Наблюдаются контрасты между дневными и ночными температурами. Здесь произрастает скудная, разреженная, низкорослая растительность.

Травянистые экосистемы приурочены к регионам, где среднегодовое количество осадков достаточно для произрастания трав, но выпадают они неравномерно. Периодические засухи и пожары препятствуют развитию древесной растительности.

Леса, состоящие из разнообразных пород деревьев и низкорослой растительности, покрывают ненарушенные территории со средним и высоким количеством осадков.

Климатические условия местности меняются в зависимости от широты и ее высоты над уровнем моря. Среднегодовая температура на экваторе – 26 °С, на широте 40 – около 13 °С, на широте 55 – в Новосибирске – 0,9 °С. При движении от экватора к полюсам климат становится более прохладным и влажным. Соответственно меняется и тип растительности. Поэтому даже в тропических широтах высокогорья покрыты снегами и льдами.

Растения, характерные для Арктики, могут встречаться в высокогорьях теплых широт (альпийская тундра, например). Сходную последовательность смены растительных сообществ можно наблюдать, проезжая тысячи километров от экватора на север или просто поднимаясь в горы.

Все три типа наземных биомов (пустыни, травянистые сообщества, леса) встречаются практически во всех географических широтах, кроме ледников. В каждом климате они имеют свои особенности, специфическую растительность, которые формируют и сообщества животных организмов, адаптированных к этим условиям.

**Водные экосистемы** меньше зависят от климата, чем наземные. Они формируются в зависимости от глубины водоема, содержания растворимых солей, глубины проникновения солнечных лучей, количества растворенного в воде кислорода, доступности питательных элементов, гидродинамики и температуры воды. Эти факторы определяют горизонтальное и вертикальное размещение организмов. Соли, растворенные в морской воде (в основном NaCl), меняют и физические свой-

ства воды. Так, морская вода, в отличие от пресной, замерзает при температуре ниже 0 °С.

По степени солености водные экосистемы подразделяют на морские, солоноватоводные и пресноводные.

**Морские экосистемы** образуют морские биомы, к которым относятся также эстуарии (лат. *aestuarium* – заливаемый приливом), т. е. воронкообразные устья рек, где соленые воды смешиваются с пресной водой; прибрежные болота и коралловые рифы.

Небольшие глубины, близость к материкам, приливы и отливы определяют ее насыщенность питательными веществами, доступность солнечного света, высокую продуктивность и разнообразие организмов. Здесь производится свыше 80 % всей биомассы океана и сконцентрирован мировой океанический промысел.

**Пресноводные экосистемы** отличаются низкой соленостью – это внутриматериковые водоемы. Ведущим фактором в этих экосистемах становится скорость циркуляции воды. По этому признаку различают лотические (лат. *lotus* – омывающий), текучие воды, или водотоки (реки, ручьи), и лентические (лат. *lente* – медленно, спокойно), стоячие воды, или водоемы (озера, пруды, болота, водохранилища).

**Антропогенные экосистемы** обладают теми же основными признаками, что и природные: определенной структурой биоценоза (продуценты, консументы, редуценты), потоком энергии и круговоротом веществ. Однако имеются и различия. Проследим черты сходства антропогенных и природных экосистем и их отличия на некоторых примерах.

**Город**, особенно промышленный, является гетеротрофной экосистемой, получающей энергию, пищу, воду и другие вещества с больших площадей, находящихся за его пределами. Город отличается от природных гетеротрофных систем.

Большинство городов имеют «зеленый пояс», т. е. автотрофный компонент: газоны, парки, пруды, озера и т. п. Но органическая продукция всего этого зеленого пояса не играет никакой роли в снабжении энергией механизмов и людей, населяющих город. Городские парки представляют в основном лишь эстетическую и рекреационную ценность, смягчают колебания температуры, уменьшают загрязнения и шумовые воздействия, являются местом обитания птиц и мелких животных.

Хотя площадь суши, занятая городами, не так уж велика (1–5 %), воздействуя на свои обширные пригородные зоны, города изменяют водные пути, леса, поля, атмосферу и океан. Город может влиять на удаленный лес не только непосредственно загрязняя воздух или ис-

пользуя продукты леса и древесины, но и изменяя состав деревьев в нем. Например, спрос на бумагу оказывает экономическое давление: естественные леса, состоящие из деревьев разных пород и возрастов, превращаются в плантации деревьев одного вида и возраста.

Гектар города потребляет приблизительно в тысячи раз больше энергии, чем такая же площадь сельской местности. Образующиеся в результате функционирования города тепло, пыль и другие вещества, загрязняющие воздух, заметно изменяют климат городов. В городах теплее, повышена облачность, меньше солнца, больше тумана, чем в прилегающей сельской местности. Строительство городов стало основной причиной эрозии почвы.

Город практически не производит пищу. Он только перерабатывает ее, не очищает воздух, почти не возвращает в круговорот воду и органические вещества, но находится в симбиотических отношениях с окружающей сельской местностью. Он производит и вывозит товары и услуги, деньги и культурные ценности, обогащая этим сельское население и получая взамен услуги пищу.

Город можно рассматривать как экосистему только в том случае, если учитываются его обширные пригороды. Одно из имеющихся, к сожалению, препятствий для такого разумного подхода – порочное административное разделение между городом и сельской местностью.

**Агроэкосистемы** в отличие от городов являются автотрофными экосистемами, т. е. обладают обширным «зеленым поясом». Агроэкосистемы отличаются от естественных экосистем (лес, луг, поляна), работающих только на энергии Солнца. Они получают дополнительную энергию в виде мышечных усилий человека и животных, удобрений, пестицидов, орошающей воды, горючего, механизмов, машин и т. п. Для максимализации выхода какого-либо одного продукта человек резко снижает разнообразие организмов. Виды растений и животных подвергаются искусственному, а не естественному отбору. Сельское хозяйство использует только 30 % свободной от льда суши планеты: около 10 % – пахотные земли и приблизительно 20 % – пастбища.

Условно агроэкосистемы можно разделить на два типа [5].

1. *Агроэкосистемы доиндустриального периода* используют дополнительную энергию в виде мышечных усилий человека и животных. Они поставляют продукты питания в основном для семьи фермера и частично – на местный рынок.

2. *Интенсивные механизированные агроэкосистемы* получают энергетические дотации в виде горючего, химикатов, работы машин. Эти высокопродуктивные системы производят продукты питания в

основном на рынок; продукты питания превращаются в товар, играющий важную роль в экономике.

Доиндустриальное сельское хозяйство часто называют примитивным и направленным только на выживание. Тем не менее оно очень эффективно, если его оценивать по количеству произведенной пищи на единицу затраченной энергии. Например, на огородах со смешанными культурами соотношение полученной и затраченной энергии может составлять 16:1. Напротив, многие механизированные агроэкосистемы потребляют часто не меньше энергии, чем возвращают в виде продуктов питания. Однако даже хорошо приспособленные доиндустриальные системы, эффективно использующие энергию, часто не могут производить достаточного количества избыточных продуктов питания, чтобы прокормить огромные города.

Таким образом, неиндустриализованное сельское хозяйство эффективно расходует энергию, но малотоварно. Как правило, такие агроэкосистемы дают меньший урожай на единицу площади, чем интенсивное механизированное сельское хозяйство. Но выигрывая в одном, человек проигрывает в другом – ничего не дается даром. Поскольку в развитых странах и интенсивность энергетических субсидий, и урожай, видимо, достигли максимума, повышение вкладов в сельское хозяйство может привести к уменьшению выхода продукции (отрицательная обратная связь).

Может ли человек искусственно создать полноценную экосистему вне биосферы? Является ли даже такая совершенная техногенная система, как космический корабль, в полной мере экосистемой?

По выводам Национального управления по аэронавтике США, на современном этапе развития невозможно создать безопасную и надежную закрытую экологическую систему жизнеобеспечения даже для использования ее на Земле. Создать миниатюрную модель биосферы, т. е. искусственную экосистему без притока и оттока вещества и энергии с полной регенерацией отходов и регуляцией условий для использования ее в космосе, не только сложно, но и очень дорого.

В заключение следует подчеркнуть, что функционирование экосистемы обеспечивается взаимодействием трех основных составляющих – сообщества, потока энергии и круговорота веществ.

Все экосистемы в составе биосферы открыты – они должны получать энергию, вещества и организмы из среды на входе и отдавать на выходе экосистемы. Экосистема не может быть герметичной, так как ее живое сообщество не вынесло бы такого заключения.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие биологические системы изучает современная экология? Приведите примеры экологических систем.
2. Перечислите основные абиотические компоненты экосистемы.
3. Какие биотические компоненты входят в состав экосистем? Какие организмы входят в группу редуцентов?
4. Напишите уравнение фотосинтеза и хемосинтеза.
5. Какие свойства экосистемы называются эмерджентными? Приведите примеры.
6. Напишите уравнение аэробного и анаэробного дыхания.
7. Чем можно объяснить накопление кислорода в атмосфере и горючих ископаемых в недрах Земли?
8. Напишите уравнение реакции брожения.
9. Напишите уравнение обратимого химического процесса в экосистеме.
10. Что такое гомеостаз?
11. Приведите примеры положительной и отрицательной обратной связи в экосистемах.
12. Что понимается под стабильностью экосистем? Какие типы устойчивости экосистем вы знаете?
13. Что такое сукцессии? Какие типы сукцессий вы можете назвать?
14. Приведите примеры природных и антропогенных экосистем. Может ли человек искусственно создать полноценную экосистему вне биосферы?

## Глава 4. Экологические факторы окружающей среды

### СРЕДА ОБИТАНИЯ И УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ

**Среда обитания** – совокупность абиотических и биотических условий жизни организма.

Среда обитания живых организмов складывается из многих неорганических и органических компонентов, включая привносимые человеком. При этом некоторые из них, такие как питательные вещества и энергия, жизненно необходимы организмам, другие не играют существенной роли в их жизни. Так, например, заяц, волк, лиса и любое другое животное в лесу взаимосвязаны с огромным количеством элементов. Без воздуха, воды, пищи, определенной температуры они обойтись не могут. Валун, ствол упавшего дерева, пень, кочка, канавка – элементы среды, к которым они безразличны. Животные вступают с ними во временные (укрытие, переправа), но необязательные отношения.

**Экологические факторы** – важные для жизни организма компоненты окружающей среды. Они могут быть необходимы или вредны для живых существ, способствовать или препятствовать выживанию и размножению.

**Условия существования** – совокупность экологических факторов, обуславливающих рост, развитие, выживание и воспроизводство организмов.

Различные организмы по-разному реагируют на одни и те же экологические факторы и приспосабливаются к ним. Все многообразие экологических факторов обычно подразделяют на три группы: абиотические, биотические и антропогенные.

## АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

*Абиотические факторы* – это совокупность важных для организмов свойств неживой природы. Эти факторы, в свою очередь, можно разделить на химические (состав атмосферы, воды, почвы) и физические (температура, давление, влажность, течения и т. п.) [5]. Разнообразие рельефа, геологических и климатических условий порождает и огромное разнообразие абиотических факторов.

Первостепенное значение из них имеют:

- *климатические* – солнечный свет, температура, влажность;
- *географические* – продолжительность дня и ночи, рельеф местности;
- *гидрологические* – течение, волнение, состав и свойства вод;
- *эдафические* – состав, структура и свойства почв и др.

Все факторы могут влиять на организмы непосредственно или косвенно. Например, рельеф местности влияет на освещенность, влажность, ветер, микроклимат. Рассмотрим некоторые основные абиотические экологические факторы – солнечный свет, температура, кислород.

***Солнечный свет*** оказывает на организм двоякое действие. С одной стороны, прямое воздействие на протоплазму смертельно для организма, с другой, солнечный свет – первичный источник энергии, без которого жизнь невозможна. Следовательно, свет – это не только жизненно необходимый, но на некотором минимальном и максимальном уровне смертельно опасный фактор. Видимая, т. е. воспринимаемая человеческим глазом, область спектра лежит в диапазоне длин волн от 390 до 760 нм. Животные и растения реагируют на различные длины волн света. Качественные признаки света – длина волны (цвет), интенсивность (полезная энергия) и продолжительность воздействия (длина дня). Цветовое зрение развито у некоторых видов членистоногих, рыб, птиц и др. Среди млекопитающих оно хорошо развито только у приматов.

Отдельные организмы приспособляются к разной интенсивности света, т. е. могут быть адаптированы к тени или прямому солнечному свету. Например, морской фитопланктон адаптирован к низкой интенсивности, прямой свет его подавляет. Максимум первичной продукции приходится не на поверхностный слой воды, а на слой на глубине 0,5–1,0 м.

**Температура** из всех климатических факторов, связанных с энергетикой биосферы, имеет наибольшее экологическое значение.

Температура воздуха на Земле занимает диапазон от  $-88,3^{\circ}\text{C}$  (станция «Восток», Антарктида) до  $+58,7^{\circ}\text{C}$  (Гарьян, Ливия). Средняя годовая температура приземного слоя воздуха над континентами и океаном (исключая Антарктиду) равна  $+15,7^{\circ}\text{C}$ . Большие колебания относятся к отдельным поясам и сезонам. Еще более стабильна средняя температура гидросферы. Она составляет  $+3,3^{\circ}\text{C}$ .

Температура во Вселенной колеблется в пределах тысяч градусов. По сравнению с этим диапазоном колебаний температурные пределы существования жизни очень узки. Отдельные виды бактерий некоторое время в стадии покоя могут существовать и при крайне низких температурах: до  $-250^{\circ}\text{C}$ . Другие виды бактерий и водорослей способны жить в горячих источниках – при около  $+90^{\circ}\text{C}$ .

**Изменчивость температуры** – важный экологический фактор. Температура, которая колеблется от  $10$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , воздействует на организм иначе, чем постоянная температура  $15^{\circ}\text{C}$ . Жизнедеятельность организмов, которые в природе подвергаются воздействию переменных температур (в умеренном климате), подавляется при воздействии постоянной температуры. Все организмы приспосабливаются к изменениям температуры.

Например, теплокровные организмы располагают средствами эффективной регуляции теплоотдачи и теплопродукции организма. У некоторых из них соответствующие механизмы достигают высокой мощности и совершенства. Так, песец, полярная сова и белый гусь легко переносят сильный холод без падения температуры тела и при поддержании разности температур тела и среды в  $100^{\circ}\text{C}$  и более.

Благодаря толщине подкожного жира и особенностям периферического кровообращения превосходно приспособлены к длительному пребыванию в ледяной воде многие ластоногие и киты.

В экологии известно *правило К. Бергмана*, согласно которому среди теплокровных животных размеры тела особей в среднем больше у северных популяций вида (или близких видов) по сравнению с южными. Дополнением этого правила может служить *правило Д. Алена*: относительное увеличение выступающих частей тела (конечностей, хвоста, ушей) у южных популяций вида или близких видов по сравнению с северными. Обе эти закономерности связаны с приспособлением относительной поверхности теплоотдачи организма к соответствующим климатическим условиям: чем крупнее животное, тем меньше отношение



поверхности к объему. Этому же подчиняются зональные различия густоты шерстяного покрова и его пигментации: у северных форм шерсть, как правило, гуще и темнее. Исключения, относящиеся к пигментации, обусловлены либо биологической ценностью маскирующей окраски на севере (мех белого медведя, зимний покров песка и оперение полярной совы) или защитной ролью меланиновой пигментации бесшерстяной кожи на юге (человек).

**Кислород** для большинства организмов имеет большое физиологическое значение. Поэтому распределение его концентраций в среде и условия доставки к окисляемым субстратам – важный экологический фактор.

*Концентрация кислорода* в атмосферном воздухе 0,95 % (по объему для сухого воздуха) – очень постоянна. Временное ее уменьшение на 2–3 % не оказывает заметного физиологического действия. В почве и глубоких норах животных содержание его может опускаться до 15 % и ниже, но обитатели этой среды приспособлены к таким отклонениям. При подъеме в высоту в связи со снижением атмосферного давления падает и *парциальное давление* кислорода. С определенного уровня это приводит к физиологическим нарушениям и включает механизм акклимации.

#### *Адаптации к недостатку кислорода*

Неадаптированный человек уже на высоте 3000 м над уровнем моря (при атмосферном давлении 500 мм рт. ст. и парциальном давлении кислорода 100 мм рт. ст., 13,3 кПа) испытывает ухудшение состояния и снижение работоспособности, а на высоте 6000 м (парциальное давление  $O_2$  – 64 мм рт. ст.) теряет сознание. Почти до 5000 м в Гималаях и Андах доходят постоянные поселения людей, хорошо адаптированных к условиям гор. У них по сравнению с жителями равнин повышен объем крови, увеличено количество эритроцитов и гемоглобина.

Генетически адаптированные горные животные имеют еще больший «потолок». У обитающих в Андах южноамериканских верблюдов найдено повышенное сродство гемоглобина к кислороду. Объемная доля кислорода в их эритроцитах на 25–30 % больше, чем у других наземных млекопитающих. Большая кислородная емкость крови сочетается с высокой активностью окислительных ферментов в тканях.

Мощные механизмы адаптации к недостатку кислорода развиваются у ныряющих животных, хотя дыхательный дефицит у них имеет прерывистый характер. Морские черепахи могут находиться под водой до 6 часов, некоторые морские змеи – до 2,5 часов. У китообразных

остановка дыхания может достигать до 2 часов, а глубина их погружения свыше 1000 м. Несколько меньше эти показатели у ластоногих, еще меньше – у полуводных, т. е. постоянно обитающих у воды и питающихся на воде и в воде млекопитающих и птиц.

**Вода** – самое распространенное на поверхности и вместе с тем самое удивительное химическое соединение Земли. Это единственное вещество, встречающееся в природе одновременно во всех трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Вода – универсальный растворитель, она растворяет больше солей и других веществ, чем любое другое вещество. Вода имеет очень редкую способность расширяться при замерзании, благодаря чему лед имеет плотность меньше единицы и плавает на воде, остающейся под ним в жидкой фазе, где водные организмы не замерзают. Химически чистая вода – плохой проводник электричества, но даже следы солей превращают ее в хороший проводник [9]. Свойства многих веществ, растворенных в воде, а также молекулярных биологических структур существенно зависят от конфигураций гидратных комплексов *связанной воды*.

#### *Водная среда и адаптация*

Все живые организмы в той или иной степени несут в себе отпечаток водного происхождения жизни. Все активные процессы обмена веществ в организмах происходят только в водной среде. Питательные вещества и газы поступают к потребляющим их клеткам только в растворенном состоянии. Содержание воды в активно функциональных клетках и тканях – от 70 до 98 %. По выражению известного физиолога Шмидта-Нильсена, «в самом общем виде живой организм можно описать как водный раствор, заключенный в оболочку – поверхность тела» (1982). Растения и большинство беспозвоночных животных, обитающих в море, имеют солевой состав жидкостей тела, близкий к составу воды. Но уже у морских рыб кровь и тканевая жидкость содержит меньше солей, чем окружающая их среда. А жидкость тела пресноводных рыб и наземных животных по составу ближе к морской воде, чем к пресной.

Для обитателей водоемов – *гидробионтов* – нет проблем водообеспечения, но особенности водной среды вырабатывают у них разнообразные приспособления к температурному режиму, солевому и газовому составу воды, к перемещениям в плотной среде, к давлению. У многих гидробионтов (кальмаров, рыб, китообразных) развиты настолько совершенные средства движения в водной среде (морфология и энергетика мышц, колебательная кинематика тела и плавников, во-

дореактивные движения и др.), что их до сих пор не могут превзойти техническими средствами ни по энергетической эффективности, ни по скорости, выраженной в длинах тела.

### **Водный фактор на суше**

В воздушной среде потери воды организмами неизбежны, так как содержание воды в их теле велико, а давление паров в воздухе относительно мало. Организмы не обладают совершенной гидроизоляцией; многие из них, особенно растения, имеют очень большую относительную поверхность. Газообмен, дыхание и выделение продуктов обмена веществ сопровождаются потерей воды. Эти потери существенно зависят от температуры, влажности и скорости движения воздуха и от возможности обеспечения водой.

Адаптация растений, направленная на уменьшение потерь воды, связана с устьичной регуляцией влагоотдачи листьями и рядом морфологических приспособлений. К ним относятся: погружение устьиц в глубь листа, способность листьев сворачиваться, прикрывая устьица и сокращая поверхность испарения; сохранение запасов воды в толстом сочном стебле; уменьшение относительной поверхности влагоотдачи (шаровидные кактусы; редукция листьев, превращающихся в иглы или шипы); образование защитных покровов, создающих пограничный слой неподвижного воздуха (волоски, колючки, восковой налет) и т. п.

У животных для сокращения потерь воды служит шерсть, перья, отсутствие потовых желез, обратное всасывание воды при выделительных процессах. У грызунов, обитающих в пустыне, почки обладают очень высокой концентрирующей способностью и доводят содержание плотных веществ в моче до 25 %. Все же выведение из организма растворимых конечных продуктов обмена веществ, таких как аммиак и мочевины, сопровождается значительной потерей воды.

Водный дефицит выработал у наземных насекомых, рептилий и птиц способность к экскреции почти нерастворимой мочевой кислоты. У многих животных, обитающих в аридной зоне, анатомические особенности строения дыхательных путей уменьшают респираторные потери влаги.

Для восполнения запасов воды у животных кроме питья и поглощения влажной пищи определенное значение имеет *метаболическая вода*, образующаяся в организме при окислении запасов жира. Мелкие обитатели пустынь вообще никогда не пьют, обходясь этой водой. Многие амфибии, наземные брюхоногие моллюски, некоторые насекомые и клещи способны поглощать воду через покровы тела. Расте-

ния пустынь развивают мощные корневые системы с низким осмотическим потенциалом, которые способны собирать влагу даже при очень низкой ее концентрации в почве. А растения-эпифиты поглощают влагу воздушными корнями из воздуха.

**Влажность** – это параметр, характеризующий содержание водяного пара в воздухе. В природе существует суточный режим влажности, которая она повышается ночью и понижается днем.

Наряду со светом и температурой влажность играет важную роль в жизнедеятельности и распространении организмов. Кроме того, влажность влияет на эффект воздействия температуры. Низкая влажность обуславливает иссушающее действие воздуха, особенно на наземные растения. Животные стараются избегать иссушения: переходят в защищенные места или ведут активный образ жизни в ночное время.

Переносимость человеком температуры окружающей среды зависит от относительной влажности.

**Относительная влажность** – это процентное отношение количества содержащихся в определенном объеме воздуха водяных паров к тому их количеству, которое полностью насыщает объем при данной температуре.

При падении температуры относительная влажность растет, а при повышении падает. В сухой жаркой местности днем относительная влажность составляет от 5 до 20 %, в сырой – от 80 до 90 %, во время выпадения осадков влажность может достигать 100 %.

Относительная влажность воздуха 40–60 % при температуре 18–21 °С считают оптимальной для человека. Воздух, относительная влажность которого ниже 20 %, оценивается как сухой, от 71 до 85 % – как умеренно влажный, более 85 % – как сильно влажный [4].

Вода является необходимым экологическим фактором для любой экосистемы. Количество осадков, влажность, иссушающие свойства воздуха и доступные запасы поверхностных вод – основные величины, характеризующие этот экологический фактор. Количество осадков зависит от характера перемещения воздушных масс и рельефа местности. Влажные ветры, дующие с океана, большую часть влаги оставляют на склонах гор, обращенных к океану, и за горами создается «дождевая тень», способствующая образованию пустынь.

Важно распределение осадков по временам года. Если общее годовое количество осадков (около 900) выпадает за один сезон, растениям и животным приходится переносить длительные периоды засухи. Такое неравномерное распределение осадков встречается в тропиках и

субтропиках. В тропиках этот сезонный ритм влажности регулирует сезонную активность организмов (размножение и др.) так же, как сезонный ритм температуры регулирует активность организмов умеренной зоны. Формирование типа экосистем в значительной степени зависит от количества осадков: до 250 мм – пустыни, от 250 до 750 мм – лесостепи, от 750 до 1250 мм – сухие леса, свыше 1250 мм – влажные леса.

Тип экосистем зависит не только от количества осадков, но и от транспирации, т. е. потери воды через испарение ее организмами, и, в конечном счете, определяется равновесием этих процессов.

## БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Биотические факторы – это совокупность воздействия жизнедеятельности одних организмов на другие. Для каждого организма все остальные – важные факторы среды обитания, оказывающие на него не меньшее воздействие, чем неживая природа.

Все многообразие взаимоотношений организмов можно разделить на два основных типа: антагонистические и неантагонистические [5].

**Антагонистические отношения** – это такие, при которых организмы двух видов подавляют друг друга или один из них подавляет другой без ущерба для себя. Основные формы этого вида биотических отношений: хищничество, паразитизм и конкуренция.

**Хищничество** – форма взаимоотношений организмов разных трофических уровней, при которой один вид организмов – хищник живет за счет другого – жертвы, поедая его. Это наиболее распространенная форма взаимоотношений организмов в пищевых цепях. Хищники живут отдельно от жертвы и могут специализироваться на одном виде (рысь–заяц) или быть многоядными (волк).

В любом биоценозе эволюционно сформировались механизмы, регулирующие численность и хищника, и жертвы. Неразумное уничтожение хищников часто приводит к снижению жизнеспособности численности их жертв и наносит ущерб природе и человеку.

**Паразитизм** – межвидовые взаимоотношения, при которых один вид живет за счет другого, поселяясь внутри или на поверхности тела организма хозяина. Он поедает питательные вещества хозяина, постепенно ослабляя и убивая его. Паразитизм наиболее широко распространен среди растений и низших животных – вирусов, бактерий, грибов, простейших, червей и др. Паразиты делятся на *эктопаразитов*, живущих на поверхности тела (клещи, пиявки, блохи), и *эндопарази-*

тов, обитающих в теле хозяина (бактерии, вирусы, простейшие). Одни могут перемещаться от хозяина к хозяину (блохи), другие всю жизнь паразитируют на одном хозяине, как ленточные черви, живущие в кишечнике человека и животных.

**Конкуренция** (лат. *concurrentia* – соперничество) – форма взаимоотношений, при которых организмы одного трофического уровня борются за дефицитные ресурсы: пищу, солнечный свет, жизненное пространство, места-укрытия и другие условия существования, подавляя друг друга. Конкуренция наглядно проявляется у растений: деревья в лесу стремятся корнями охватить возможно большее пространство, чтоб получать воду и питательные вещества. Они также тянутся в высоту к свету, стремясь обогнать своих конкурентов. Сорные травы забивают другие растения.

**Неантагонистические** взаимоотношения теоретически можно выразить многими комбинациями: нейтральными, взаимовыгодными, односторонними и др. Основные формы этих взаимодействий следующие: *симбиоз, мутуализм и комменсализм*.

**Симбиоз** (лат. *symbiosis* – сожительство) – это обоюдовыгодные, но не обязательные взаимоотношения разных видов организмов. Пример симбиоза – сожительство рака-отшельника и актинии: актиния передвигается, прикрепляясь к спине рака, а тот получает с помощью актинии более богатую пищу и защиту.

Сходные взаимоотношения можно наблюдать у деревьев с некоторыми видами грибов, произрастающими на их корнях: грибы получают из корней растворенные питательные вещества и сами помогают дереву извлекать из почвы воду и минеральные элементы. Иногда этот термин используют в более широком смысле – «жить вместе».

**Мутуализм** (лат. *mutuus* – взаимный) – взаимовыгодные и обязательные для роста и выживания отношения организмов разных видов. Например, при распространении насекомыми пыльцы растений у обоих видов вырабатываются специфические приспособления: цвет и запах у растений, хоботок у насекомых и др. Они также не могут существовать один без другого.

**Комменсализм** (лат. *commensalis* – сотрапезник) – взаимоотношения, при которых один из партнеров извлекает выгоду, а другому они безразличны. Комменсализм часто наблюдается в море: почти в каждой раковине моллюска, в теле губки есть «незваные гости», использующие их как укрытия. В океане некоторые виды рачков селятся на челюстях китов. Рачки приобретают убежище и стабильный источник

пищи. Киту такое средство не приносит ни пользы, ни вреда. Рыбы-прилипалы, следуя за акулами, подбирают остатки пищи. Птицы и животные, питающиеся остатками пищи хищников, – пример комменсалов. Иногда очень трудно провести грань между симбиозом и мутуализмом, комменсализмом и паразитизмом и другими видами взаимодействия. Однако четко наблюдается тенденция перехода по ходу эволюции от паразитизма к комменсализму и мутуализму, так как в условиях, когда лимитированы некоторые ресурсы, кооперация дает преимущества.

Ясно, что люди должны переходить к мутуализму с природой и друг с другом. Если этого не произойдет, то, подобно паразиту, человек погубит своего хозяина – природу, за счет которого живет, и тем самым погубит себя.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША

Несмотря на конкуренцию и другие типы антагонистических отношений, в природе многие виды могут спокойно уживаться. В таких случаях говорят, что каждый вид обладает собственной экологической нишей (фр. *niche* – гнездо). Термин был предложен в 1910 г. Р. Джонсоном.

*Экологическая ниша* – это совокупность территориальных и функциональных характеристик среды обитания, соответствующих требованиям данного вида.

Термин «экологическая ниша» был введен американским ученым Дж. Гриннелом в 1928 г. [2].

Экологическая ниша подразумевает комплекс всех абиотических и биотических экологических факторов среды, необходимых организмам для жизни, роста и размножения в данной экосистеме.

В зависимости от источников питания, размеров территории, температуры и других физико-химических факторов экологические ниши делятся на специализированные и общие.

Специализированные экологические ниши занимают растения и животные, которые могут существовать лишь в узком диапазоне экологических факторов и питаться ограниченным набором растений и животных. Например, гигантская панда, живущая в Китае, на 99 % питается побегом бамбука. Уничтожение бамбука в некоторых районах Китая ведет это животное к вымиранию.

Общие экологические ниши занимают организмы, которые легко приспособляются к изменениям условий. Они могут обитать в раз-

личных местах, потреблять разную пищу и выдерживать широкий диапазон колебаний экологических факторов. Поэтому им меньше грозит опасность вымирания, чем видам, занимающим специализированную нишу. Общими экологическими нишами характеризуются, например, мухи, тараканы, крысы, люди.

Однако близкородственные организмы, имеющие сходные требования к среде обитания, не живут в одном месте, но либо используют разные ресурсы, либо имеют другие различия в функциях. Например, разные виды дятлов одинаково питаются насекомыми и гнездятся в дуплах деревьев, но имеют как бы разную специализацию. Большой пестрый дятел добывает пищу в стволах деревьев, в крупных верхних ветвях, малый пестрый – в тонких веточках, зеленый дятел охотится на муравьев на земле, а трехпалый выискивает мертвые и обгоревшие стволы деревьев. То есть разные виды дятлов имеют разные экологические ниши. Ястребы и совы питаются одними и теми же животными, но ястребы охотятся за своими жертвами днем, а совы – ночью.

Наблюдения показывают, что два вида, сосуществующие на одной территории, не могут иметь совершенно одинаковые требования к условиям жизни. Иначе один из них вытеснит другой.

В отсутствие убежищ или других возможностей распределения функций вид, который сильнее, рано или поздно обязательно вытеснит своего партнера.

Эта закономерность экспериментально доказана в 1934 г. российским ученым Г.Ф. Гаузе, который проводил опыты с родственными видами инфузорий. Было установлено, что если один вид отличается более высокой скоростью роста и размножения, то он и побеждает другой вид. Эта закономерность получила название правила Гаузе [5].

***Правило Гаузе:** два вида, обитающие на одной и той же территории, не могут иметь совершенно одинаковую экологическую нишу.*

Два близких вида избегают конкуренции каким-либо способом: имеют различия в суточной или сезонной активности, в пище и др. Если львы и леопарды живут на одной территории, то львы охотятся на крупных животных, а леопарды – на мелких.

Информация об экологических нишах позволяет управлять домашними и дикими видами растений и животных как источниками пищевых и иных ресурсов. Кроме того, она помогает прогнозировать последствия изъятия или внедрения того или иного вида в экосистеме.



## АНТРОПОГЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

*Антропогенные факторы* – это совокупность различных воздействий на человека, на неживую и живую природу. Только самим физическим существованием люди оказывают заметное влияние на среду обитания: в процессе дыхания они ежегодно выделяют в атмосферу  $1 \cdot 10^{12}$  кг  $\text{CO}_2$ , а с пищей потребляют свыше  $5 \cdot 10^{15}$  ккал. В значительной большей степени на биосферу влияет производственная деятельность людей. В результате нее изменяются рельеф, состав земной коры и атмосферы, климат, происходит перераспределение пресной воды, исчезают естественные экосистемы и создаются искусственные агро- и техноэкосистемы, возделываются культурные растения, одомашниваются животные и т. д.

Воздействие человека может быть прямым и косвенным. Например, вырубка и раскорчевка леса оказывают не только прямое действие, но и опосредованное – изменяются условия существования птиц и зверей. Подсчитано, что с 1600 г. человеком уничтожено 162 вида птиц, свыше 100 видов млекопитающих и множество других видов растений и животных. Но, с другой стороны, он создает новые сорта растений и породы животных, увеличивает их урожайность и продуктивность. Искусственное переселение растений и животных также оказывает влияние на жизнь экосистем. Так, кролики, завезенные в Австралию, размножились настолько, что причинили огромный ущерб сельскому хозяйству.

Наиболее очевидное проявление антропогенного влияния на окружающую среду – загрязнение окружающей среды.

Приведенное разделение экологических факторов на три группы, конечно, условно. Оно не может охватить всю сложность взаимоотношений организмов и их связи с окружающей средой.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ

Несмотря на большое разнообразие экологических факторов, в характере их воздействия и в ответных реакциях живых организмов можно выявить ряд общих закономерностей.

Эффект влияния экологических факторов зависит не только от характера их действия (качества), но и от количественного значения, воспринимаемого организмами: высокая или низкая температура; степень освещенности, влажности; количество пищи и т. д. В процессе эволюции выработалась способность организмов адаптироваться к

экологическим факторам в определенных количественных пределах. Уменьшение или увеличение значения экологического фактора за этими пределами угнетает жизнедеятельность, а при достижении некоторого минимального или максимального уровня наступает гибель организмов.

Зоны действия экологического фактора и теоретическая зависимость жизнедеятельности организма, популяции или сообщества от количества значения фактора в общем виде показаны на рис. 4.1 [5].

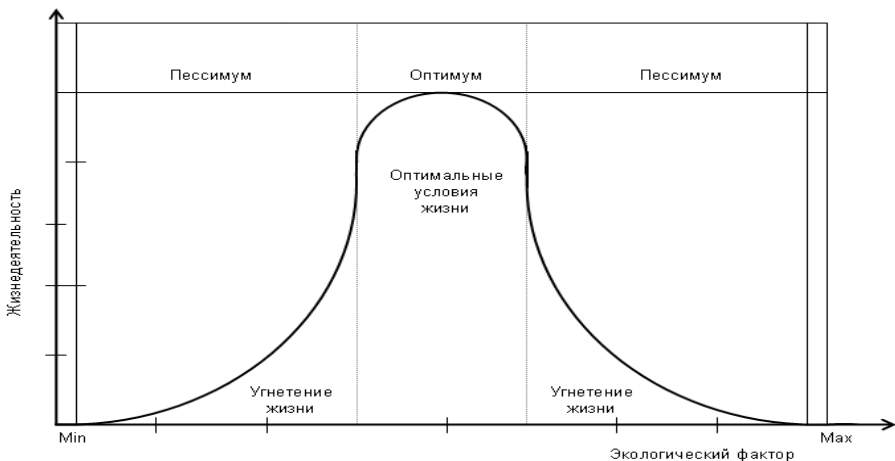


Рис. 4.1. Зависимость жизнедеятельности от количественного значения экологического фактора

Количественный диапазон любого экологического фактора, наиболее благоприятный для жизнедеятельности, называется экологическим оптимумом (лат. *optimus* – наилучший). Значение фактора, располагающегося в зоне угнетения, называют экологическим пессимумом (лат. *pessimum* – наихудший). Минимальное и максимальные значения фактора, при которых наступает гибель, называются соответственно экологическим минимумом и экологическим максимумом.

Например, если температура тела человека сохраняется на уровне примерно 36,6 °С, то человек чувствует себя хорошо – это экологический оптимизм. Но если температура тела человека повышается до 43 °С или понижается ниже 25–27 °С, то человек умирает. Эти экологические факторы называются экологическим максимумом и экологическим минимумом.

Любые виды организмов, популяций или сообществ приспособлены, например, к существованию в определенном интервале экологического фактора.

На рис. 4.2. приведена кривая зависимости жизнедеятельности организма от интенсивности электромагнитных полей (ЭМП).



Рис. 4.2. Условная кривая изменений показателей жизнедеятельности организма от интенсивности воздействующего ЭМП

Свойство организмов адаптироваться к существованию в том или ином диапазоне экологического фактора называется экологической пластичностью.

Чем шире диапазон экологического фактора, в пределах которого данный организм может жить, тем больше его экологическая пластичность. По степени пластичности выделяют два типа организмов: стенобионтные (стеноэки) и эврибионтные (эвриэки).

Стенобионтные и эврибионтные организмы различаются диапазоном экологического фактора, в котором они могут жить.

**Стенобионтные** (греч. *stenos* – узкий, тесный), или узкоприспособленные виды способны существовать лишь при небольших отклонениях фактора от оптимального значения.

**Эврибионтными** (греч. *euryus* – широкий) называются широкоприспособленные организмы, выдерживающие большую амплитуду колебаний экологического фактора.

Таким образом, стенобионты экологически непластичны, т. е. маловыносливы, а эврибионты экологически пластичны, т. е. более выносливы. К первым относятся, например, типичные обитатели морей, которые живут в условиях высокой солености (камбала), и типичные обитатели пресных вод (карась). А вот трехглая колюшка может жить как в пресных, так и в соленых водах, т. е. характеризуется высокой пластичностью.

**Организмы, живущие длительное время в относительно стабильных условиях**, утрачивают экологическую пластичность, а те, которые были подвержены значительным колебаниям фактора, становятся более выносливыми к нему, их экологическая пластичность увеличивается.

Исторически, приспособляясь к экологическим факторам, животные, растения, микроорганизмы распределяются по различным средам, формируя все многообразие экосистем, образующих биосферу Земли.

## ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Представление о лимитирующих факторах основывается на двух законах экологии: законе минимума и законе толерантности.

**Закон минимума.** Немецкий химик Ю. Либих, изучая влияние питательных веществ на рост растений, обнаружил в 1840 г., что урожай зависит не от тех элементов питания, которые требуются в больших количествах и присутствуют в изобилии (например,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ), а от тех, которые хотя и нужны растению в меньших количествах, но практически отсутствуют в почве или недоступны (например, фосфор, цинк, бор). Эту закономерность Либих сформулировал так: «Рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве». Позднее этот вывод был распространен на многие другие экологические факторы. Ограничивать, или лимитировать, развитие организмов могут и тепло, и свет, и вода, и кислород, и другие факторы, если их значение соответствует экологическому минимуму. Например, тропическая рыба морской ангел погибает, если температура воды ниже  $16^\circ\text{C}$ . А развитие водорослей в глубоководных экосистемах лимитируется глубиной проникновения солнечного света: в придонных слоях водорослей нет.

**Закон минимума Либиха:** *рост и развитие организмов зависят, в первую очередь, от тех факторов природной среды, значение которых приближается к экологическому минимуму.*

**Закон толерантности** (лат. *tolerantia* – терпение) был открыт в 1913 г. английским биологом В. Шелфордом, который обратил внимание на то, что ограничивать развитие живых организмов могут не только те экологические факторы, значение которых минимально, но и те которые характеризуются экологическим максимумом. Избыток тепла, света, воды и даже питательных веществ может оказаться столь же губительным, как и их недостаток. Диапазон экологического фактора между минимумом и максимумом В. Шелфорд назвал пределом толерантности.

Пределом толерантности описывают амплитуду колебаний факторов, которая обеспечивает наиболее полноценное существование популяции.

Позднее были установлены пределы толерантности относительно различных экологических факторов для многих растений и животных. Законы Ю. Либиха и В. Шелфорда помогли понять многие явления и распределение организмов в природе. Организмы не могут быть распространены повсюду потому, что популяции имеют определенный предел толерантности по отношению к колебаниям экологических факторов окружающей среды.

***Закон толерантности В. Шелфорда:** рост и развитие организмов зависят, в первую очередь, от тех факторов среды, значение которых приближаются к экологическому минимуму или экологическому максимуму.*

Многие организмы способны менять толерантность к отдельным факторам, если условия меняются постепенно. Можно, например, привыкнуть к высокой температуре воды в ванне, если погрузиться в теплую воду, а потом постепенно добавлять горячую. Такая адаптация к медленному изменению фактора – полезное защитное свойство. Но оно может оказаться и опасным. Неожиданное, без предупреждающих сигналов, даже небольшое изменение может оказаться критическим. Наступает пороговый эффект: «последняя капля» может оказаться фатальной. Например, тонкая веточка может привести к перелому уже перегруженной спины верблюда.

Если значение хотя бы одного из экологических факторов приближается к минимуму или максимуму, существование и процветание организма, популяции или сообщества становятся зависимыми именно от этого, лимитирующего жизнедеятельность фактора.

**Лимитирующим фактором** называется любой экологический фактор, приближающийся к крайним значениям пределов толерантно-

сти или превышающий их. Такие сильно отклоняющие от оптимума факторы приобретают первостепенное значение в жизни организмов и биологических систем. Именно они контролируют условия существования.

Например, содержание кислорода в наземных местообитаниях велико, и он настолько доступен, что практически никогда не служит лимитирующим фактором (за исключением больших высот и антропогенных систем). Кислород мало интересует экологов, занимающихся наземными экосистемами. А в воде он нередко становится фактором, лимитирующим развитие животных организмов (заморы рыб, например). Поэтому гидробиолог всегда измеряет содержание кислорода в воде, в отличие от ветеринара или орнитолога, хотя для наземных организмов кислород не менее важен, чем для водных.

Влияние лимитирующих факторов очень важно для многих видов деятельности, особенно сельского хозяйства. При целенаправленном воздействии лимитирующих условий можно быстро и эффективно повышать урожайность растений и производительность животных. Так, при разведении пшеницы на кислых почвах никакие агрономические мероприятия не дадут эффекта, если не применять известкование, которое снизит ограничивающее действие кислот. Или если выращивать кукурузу на почвах с очень низким содержанием фосфора, то даже при достаточном количестве воды, азота, калия и других питательных веществ она перестает расти. Фосфор в данном случае – лимитирующий фактор. И только фосфорные удобрения могут спасти урожай. Растения могут погибнуть и от слишком большого количества воды или избытка удобрений, которые в данном случае тоже являются лимитирующими факторами.

Знание лимитирующих факторов дает ключ к управлению экосистем. Однако в разные периоды жизни организма и в разных ситуациях в качестве лимитирующих выступают различные факторы. Поэтому только умелое регулирование условий существования может привести к эффективным результатам управления.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

В природе экологические факторы действуют в зависимости друг от друга – они взаимодействуют.

Например, **температура и влажность** – самые важные климатические факторы в наземных местообитаниях. Взаимодействие этих двух

факторов, по существу, формирует два основных типа климата: морской и континентальный. Водоемы смягчают климат суши, так как вода обладает высокими удельной теплотой плавления и теплоемкостью. Поэтому морскому климату свойственны менее резкие колебания температуры и влажности, чем континентальному.

Воздействие температуры на организм также зависит от соотношения их абсолютных значений. Так, температура оказывает более выраженное лимитирующее влияние, если влажность очень велика или очень мала. Каждому известно, что высокие и низкие температуры переносятся хуже при высокой влажности, чем при умеренной.

Организмы не являются рабами среды. Они приспосабливаются к условиям существования и изменяют их, т. е. компенсируют отрицательное воздействие экологических факторов.

**Компенсация экологических факторов** – это стремление организмов ослабить лимитирующие действия физических, биотических и антропогенных влияний. Компенсация факторов возможна на уровне организма и вида, но наиболее эффективна на уровне сообщества.

При разных температурах один и тот же вид, имеющий широкое географическое распространение, может приобретать физические и морфологические особенности, адаптированные к местным условиям. Например, у животных уши, хвосты, лапы тем короче, а тело тем массивнее, чем холоднее климат (Правило Алена).

Естественную периодичность изменений экологических факторов организмы используют также для распределения функций во времени. Они «программируют» жизненные циклы таким образом, чтобы максимально использовать благоприятные условия.

Наиболее яркий пример адаптации – поведение организмов в зависимости от длины дня – фотопериода. Амплитуда длины дня возрастает с географической широтой, что позволяет организмам учитывать не только время года, но и широту местности. Фотопериод – это «реле времени», или пусковой механизм последовательности физических процессов. Он определяет цветение растений, линьку, миграцию и размножение у птиц и млекопитающих и т. д. Фотопериод связан с *биологическими часами* и служит универсальным механизмом регулирования функций во времени. Биологические часы связывают ритмы экологических факторов с физиологическими ритмами, позволяя организмам приспосабливаться к суточной, сезонной, приливно-отливной и другой динамике факторов.

Изменяя фотопериод, можно вызывать и изменения функции организма. Так, цветководы, изменяя световой режим в теплицах, получают внесезонное цветение растений. Если после декабря сразу увеличить продолжительность дня, то это может вызвать явление, происходящее весной: цветение растений, линьку у животных и т. д.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

В качестве примера антропогенного лимитирующего фактора рассмотрим антропогенный стресс.

Экосистемы в значительной степени способны компенсировать антропогенный стресс. Возможно, что они от природы адаптированы к острым периодическим стрессам. А многие организмы нуждаются в случайных нарушающих воздействиях, которые способствуют их долговременной устойчивости. Большие водоемы часто обладают хорошей способностью к самоочищению и восстанавливают свои качества после загрязнения, так же как и многие наземные экосистемы. Однако долговременные нарушения могут привести к выраженным и устойчивым негативным последствиям. В таких случаях стресс – совокупность физиологических реакций, возникающих в организме животных, человека и экосистемах в ответ на воздействие различных неблагоприятных факторов (стрессоров). Эволюционная история адаптации не может помочь организмам – компенсационные механизмы не беспредельны. Особенно это касается тех случаев, когда сбрасываются сильно токсичные отходы, которые постоянно производит индуцированное общество и которые ранее отсутствовали в окружающей среде. Если мы не сможем изолировать эти ядовитые отходы от глобальных систем жизнеобеспечения, то они будут угрожать непосредственно нашему здоровью и станут для человечества основным лимитирующим фактором.

**Антропогенный стресс** условно подразделяют на две группы: острый и хронический. Для первого характерны внезапное начало, быстрый подъем интенсивности и небольшая продолжительность. При втором – нарушения невысокой интенсивности продолжаются долго или повторяются. Природные системы часто обладают достаточной способностью справляться с острым стрессом. Например, стратегия покоящихся семян позволяет лесу восстанавливаться после вырубки. Последствия хронического стресса могут быть более тяжелыми, так как реакции на него не столь очевидны. Могут пройти годы, пока изменения в организмах будут замечены. Так, связь между онкологическим



заболеванием и курением была выявлена лишь несколько десятилетий тому назад, хотя существовала давно.

Пороговый эффект частично объясняет, почему некоторые проблемы окружающей среды возникают неожиданно. На самом деле они накапливались долгие годы. Например, в лесах начинается массовая гибель деревьев после длительного воздействия загрязнителей воздуха. Мы же начинаем замечать проблему только после гибели многих лесов. К тому времени мы опоздали с решением этой проблемы на 10–20 лет [5].

В период адаптации к хроническим антропогенным воздействиям снижается толерантность организмов и к другим факторам, например к болезням. Хронические стрессы часто связаны с загрязняющими веществами, которые постоянно поступают в окружающую среду, загрязняя водоемы, атмосферу, почву и пищу.

Например, опасность представляет загрязнение грунтовых вод и глубоких водоносных горизонтов, составляющих значительную долю водных ресурсов на планете. В отличие от поверхностных вод, грунтовые не подвержены естественным процессам самоочищения ввиду отсутствия солнечного света, быстрого течения и биотических компонентов.

Все мы вносим свой вклад в загрязнение окружающей среды, пользуясь автомобилями, электричеством, промышленными товарами, обладающими отходами производства и потребления, и т. д.

Если в ближайшем десятилетии не удастся сдержать процесс ухудшения качества окружающей среды, то вполне вероятно, что не дефицит природных ресурсов, а воздействие вредных веществ станет фактором, лимитирующим развитие цивилизации.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Чем отличается среда обитания от условий существования?
2. Какие важные экологические факторы относятся к абиотическим факторам? Приведите примеры.
3. Какие важные экологические факторы относятся к биотическим факторам? Приведите примеры.
4. Кто обладает большей экологической пластичностью: уроженец Москвы или Рима, Сибири или Африки?
5. Что называется экологическим оптимумом, минимумом, максимумом?
6. Приведите примеры стено- и эврибионтных организмов.

7. Сформулируйте законы минимума и максимума. Кто их установил?
8. Как формулируется закон толерантности? Кто его открыл?
9. Какие экологические факторы называются лимитирующими? В чем их значение?
10. Как, воздействуя на лимитирующие факторы, можно управлять агроэкосистемами?
11. Как воздействие факторов влияет на пределы толерантности?
12. Как живые организмы компенсируют действие экологических факторов?
13. Приведите примеры антропогенных лимитирующих факторов.

## **Глава 5. круговорот веществ в природе**

**Круговорот веществ** – многократное участие веществ в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере, литосфере и в биосфере планеты, при непрерывном притоке энергии [10].

Круговорот веществ складывается из отдельных процессов круговорота химических элементов, воды и других веществ.

С появлением органической жизни круговорот веществ на Земле происходит с обязательным участием живого вещества. Путем круговорота веществ и превращения энергии живое вещество поддерживает высокий уровень разнообразия биосистем, что служит одной из основ стабильности биосферы. В последние 600 млн лет характер основных круговоротов на Земле существенно не изменился. Но современная техногенная деятельность человека, являясь не замкнутой по отношению к естественному ходу биосферных процессов, наносит вред окружающей среде и экологическому равновесию биосферы.

В перемещениях и превращениях целого ряда химических элементов и соединений, входящих в состав органических веществ, живые организмы играют основную роль. Эти элементы и соединения циркулируют в биосфере, проходя через тела живых организмов и вновь возвращаясь во внешнюю среду. То есть имеют место биогеохимические циклы, или биогенные круговороты.

Круговороты веществ на Земле подразделяют на большой, или геологический (абиотический), и малый, или биологический (биотический).

### **БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ**

В основе биологического круговорота веществ лежат процессы синтеза и разрушения органических соединений. Эти два процесса обеспечивают жизнь и составляют одну из главных ее особенностей.

Биологический круговорот характеризуется ничтожным количеством энергии. На создание органического вещества затрачивается всего

около 1 % падающей на Землю лучистой энергии [5]. Однако эта энергия, вовлеченная в биологический круговорот, совершает огромную работу по созданию живого вещества. Чтобы жизнь продолжала существовать, химические элементы должны постоянно циркулировать из внешней среды в живые организмы и обратно, переходя из протоплазмы одних организмов в усвояемую для других организмов форму.

Биологический круговорот играет особую роль в биосфере, где важнейшим процессом является фотосинтез. Перенос вещества и энергии осуществляется в основном посредством трофических (пищевых) цепей. Из внешней среды химические элементы поступают в тела живых организмов, в которых затем происходит превращение элементов в новые сложные соединения и возвращение их в процессе жизнедеятельности в почву, воду, атмосферу с ежегодным спадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав биогеоценоза. На рис. 5.1 показаны отдельные звенья биологического круговорота и их компоненты (экологические типы живых организмов) [12].

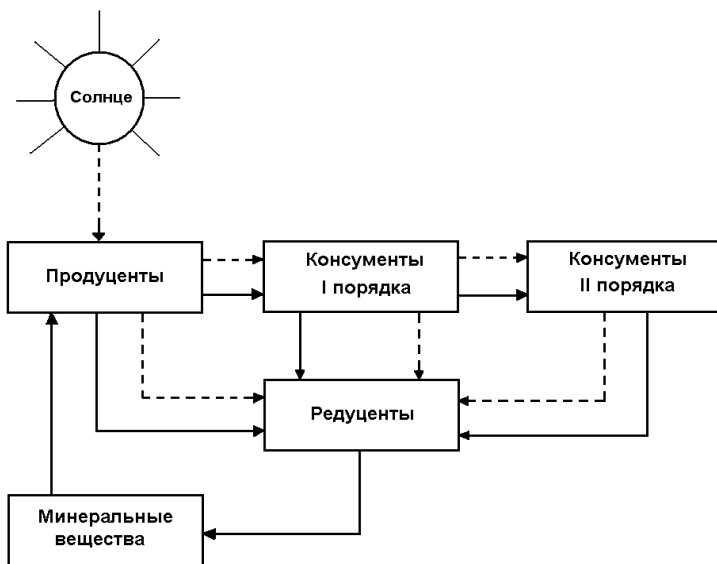


Рис. 5.1. Схема переноса веществ (сплошная линия) и энергии (пунктирная линия) в природных экосистемах

1. Продуценты – это автотрофные организмы, способные строить свои тела за счет неорганических соединений, используя солнечную энергию (зеленые растения, микроскопические водоросли и др.). Они составляют первое звено пищевой цепи.

2. Консументы – это гетеротрофные организмы, которые потребляют продукцию и накопленную в ней энергию. То есть для них продуценты представляют собой единственный источник питания. Они бывают I порядка (растительноядные), II порядка (плотоядные), III порядка (хищники) и т. д.

3. Редуценты (деструкторы) – это организмы, разлагающие органические остатки (бактерии, грибы, микроорганизмы) и служащие частично завершающим звеном биологического круговорота.

Интенсивность продукционных и деструкционных процессов в биологическом круговороте зависит от соотношения теплообеспеченности и увлажнения. Так, низкая скорость разложения органического вещества в экосистемах полярных районов определяется дефицитом тепла, а в аридных экосистемах – недостатком увлажнения.

Биологические круговороты характеризуются емкостью – количеством химических элементов, находящихся в составе живого вещества в данной экосистеме.

Важным показателем интенсивности биологического круговорота является скорость обращения химических элементов (количество живого вещества, образующегося и разлагающегося в единицу времени).

Биологический круговорот обеспечивает воспроизводство биомассы растений и животных, тем самым оказывая активное влияние на облик и состояние биосферы. Биологический круговорот тесно связан с биогеохимическими циклами.

## **БОЛЬШОЙ КРУГОВОРОТ**

В основе большого геологического абиотического круговорота лежит процесс переноса различных веществ – воды, углерода, азота, кислорода, фосфора, минеральных соединений, металлов и т. д. – из одного места в другое в масштабе планеты.

## **КРУГОВОРОТ ВОДЫ**

Круговорот воды (гидрологический цикл) – процесс непрерывного, взаимосвязанного перемещения воды на Земле, происходящий под влиянием солнечной энергии, силы тяжести и жизнедеятельности организмов.

Естественный гидрологический цикл состоит из трех отдельных процессов: испарения воды, конденсации паров, выпадения осадков и их стока.

Вода испаряется с поверхности водоемов, почвы и растений, помимо этого, растения выделяют воду физиологически. Вода, находящаяся в парообразном состоянии, возвращается затем в виде осадков.

Различают малый и большой круговорот воды.

При малом круговороте вода, испарившаяся с поверхности океанов, возвращается в них в виде осадков. Однако с поверхности океана испаряется больше воды, чем возвращается в него в виде осадков.

При большом круговороте вода, испарившись с поверхности океана, частично возвращается в него в виде осадков, другая часть переносится на сушу, где также выпадает в виде атмосферных осадков.

На суше складывается обратная ситуация: здесь количество воды, испарившейся с поверхности почвы, растений и водоемов, меньше, чем количество выпавших осадков (исключение составляют пустыни, где испарение преобладает над осадками). Баланс между количеством осадков и испарением в конечном итоге достигается благодаря стоку воды с суши в океаны в виде рек, ручьев, грунтовых вод.

Выпадая на сушу, вода расходуется на просачивание, испарение и сток. Доступная для наземных организмов вода составляет всего лишь 0,01 % от общего ее количества. Просачивание особенно важно для наземных экосистем как источник снабжения почвы влагой, которая расходуется растениями в основном на испарение и физиологическое выделение воды. Мизерная часть воды, проходящей через тела растений, разлагается ими в ходе фотолитического расщепления на кислород, выделяемый в атмосферу, и водород, включаемый в состав органических веществ\*.

В круговороте воды на континентах испарение воды с поверхности суши растениями играет основную роль (1 га леса, например, испаряет от 20 до 50 тонн воды в день). Потери воды от испарения и просачивания восполняет сток. При уменьшении плотности растительного покрова сток ведет к эрозии почвы. Играя роль испарителей, растения уменьшают поверхностный сток и тем самым препятствуют эрозии почвы.

Важным показателем круговорота воды является активность водообмена.

---

\* Фотолитическое расщепление молекул воды на ион водорода  $H^+$  и гидроксил  $OH^-$ .

Данные различных частей гидросферы и их водного баланса позволяют рассчитать активность водообмена, происходящего в процессе круговорота воды (табл. 5.1.) [13].

Таблица 5.1

**Активность водообмена (по М.И. Львовичу, 1986)**

Часть гидросферы	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	Элемент баланса, тыс. км <sup>3</sup> /год	Активность водообмена, лет
Океан	1 370 000	452	3000
Подземные воды, в т. ч. зоны активного водообмена	60 000	12	5000
	4000	12	300
Полярные ледники	24 000	3	8000
Поверхностные воды суши	280	40	7
Реки	1,2	40	0,030
Почвенная влага	80	80	1
Пары атмосферы	14	525	0,027
Вся гидросфера	1 454 000	525	2800

Из таблицы видно, что наиболее замедленной частью круговорота воды являются полярные ледники (8000 лет), что связано с медленным движением ледников и таянием льда.

Наибольшей активностью водообмена обладает атмосферная влага, затем речные воды, которые сменяются в среднем каждые 11 дней. Это свидетельствует о быстрой возобновляемости пресной воды. Круговорот воды является по существу глобальным опреснителем вод.

С появлением жизни на Земле круговорот воды стал относительно сложным, так как к физическому явлению превращения воды в пар добавился процесс биологического испарения, связанный с жизнедеятельностью организмов – транспирация. Соотношение количества воды, выделившейся в результате транспирации и испарения, меняется в зависимости от местных условий. Во влажном тропическом лесу количество воды, испаряемой растениями, более чем в два раза превышает испарение с той же площади растениями саванны, расположенной на той же широте и высоте. Растительность в целом играет значительную

роль в испарении воды, влияя тем самым на климат регионов. Она является также водоохраным и водорегулирующим фактором: смягчает паводки, удерживая влагу в почвах и препятствуя их иссушению и эрозии.

Хозяйственная деятельность человека существенно влияет на круговорот воды. В одних случаях такое влияние бывает целенаправленным, в других – случайным, непредусмотренным. Например:

1) количество осадков в промышленных регионах увеличивается – причиной этому служит обилие мельчайших частиц минеральных веществ, которые ускоряют конденсацию водяных паров;

2) тропические влажные леса, задерживая и испаряя воду, смягчают климат экваториальных районов суши, сокращение площади экваториальных лесов может привести к изменениям климата и катастрофическим засухам в прилегающих районах;

3) в результате покрытия земной поверхности непроницаемыми материалами, строительства оросительных систем, уплотнения пахотных земель, уничтожения лесов и т. п. сток воды в океан увеличивается и пополнение фонда грунтовых вод сокращается.

Во многих засушливых районах резервуары подземных вод выкачиваются человеком быстрее, чем заполняются. Вода здесь – невозобновимый ресурс, подобный нефти и газу. Например, в России в результате интенсивного водозабора в эксплуатируемых скважинах в урвонной поверхности надземных вод сформировались депрессивные воронки площадью 50 000 км<sup>2</sup>, а снижение уровня в центре воронки – 80–130 м (г. Москва, г. Брянск, г. Санкт-Петербург, г. Курск) [5].

Основной потребитель воды – население (81 %); в промышленности используется 11 % воды, остальная ее часть – в коммунально-бытовом секторе.

Источниками централизованного водоснабжения служат поверхностные воды, доля которых в общем объеме водозабора составляет 68 %, и подземные воды – 32 %.

Жители сельской местности в большинстве своем используют в питьевых целях сооружения и устройства систем децентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Вода из колодцев, родников и других источников децентрализованного водоснабжения не защищена от загрязнения и поэтому представляет высокую эпидемиологическую опасность.

Практически все поверхностные источники водоснабжения в последние годы подвергаются воздействию вредных антропогенных за-



грязнений. Особенно это касается таких рек, как Волга, Дон, Северная Двина, Урал, Уфа, Тобол, Томь, а также других рек Сибири и Дальнего Востока. 70 % поверхностных вод и 30 % подземных потеряли питьевое значение и перешли в категории загрязненности — «условно чистая» и «грязная». Практически 70 % населения РФ употребляют воду, не соответствующую ГОСТу «Вода питьевая».

Особенно тяжелое положение с загрязнением поверхностных водоемов сложилось в Астраханской, Кемеровской, Калининградской, Томской, Тюменской, Ярославской областях, Приморском крае.

## КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА

Углерод встречается на Земле как в свободном виде (алмаз, графит), так и в связанном состоянии (углекислый газ, карбонаты, уголь, нефть, природный газ, сланцевое масло, битумы). Он является одним из основных биогенных элементов (например, содержание углерода в теле человека составляет 19,4 % по массе).

Углерод – основной строительный материал молекул, важных для жизни органических соединений (углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот – ДНК, РНК и др.). Растения получают его, поглощая  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Сейчас запасы углерода в атмосфере в виде  $\text{CO}_2$  относительно невелики в сравнении с его запасами в океанах и земной коре (в виде ископаемого топлива). Но твердые формы углерода продуценты усваивать не могут.

Таким образом, «зеленый пояс» Земли и карбонатная система океана являются буферной системой, которая поддерживает относительно постоянное содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

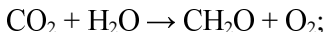
До наступления индустриальной эры потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы. Влияние человека на круговорот углерода проявилось в том, что с развитием индустрии и сельского хозяйства поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу стало расти за счет антропогенных источников.

Основная масса углерода находится в земной коре в связанном состоянии. Важнейшие минералы – карбонаты, количество углерода в них оценивается в  $9,6 \cdot 10^{15}$  т. Разведанные запасы горючих ископаемых (угли, нефть, битумы, торф, сланцы, газы) содержат еще около  $1 \cdot 10^{13}$  т углерода. Человек тем или иным путем извлекает эти запасы из недр и постепенно увеличивает поток  $\text{CO}_2$  в атмосферу: в 1800 г. концентрация  $\text{CO}_2$  составляла 0,029 %, в 1958 г. – 0,0315 %, в 1980 г. – 0,0335 %, а в 1995 г. – 0,0352 %.

Круговорот углерода в биосфере основан на потреблении  $\text{CO}_2$  из атмосферы и его поступлении в атмосферу [5].

Потребление углекислого газа из атмосферы происходит главным образом:

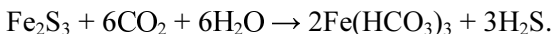
1) в процессе фотосинтеза



2) в реакциях его с карбонатами в океане



3) при выветривании горных пород



Поступление углекислого газа в атмосферу в современных условиях происходит в результате:

1) дыхания всех организмов;

2) минерализации органических веществ;

3) выделения по трещинам земной коры из осадочных пород;

4) выделения из мантии Земли при вулканических извержениях (незначительная часть – до 0,01 %);

5) сжигания древесины и топлива.

Низкое содержание  $\text{CO}_2$  и высокие концентрации  $\text{O}_2$  в атмосфере сейчас служат лимитирующими факторами для фотосинтеза, а зеленые растения и карбонаты океана являются регуляторами этих газов, поддерживающими относительно стабильное их соотношение (0,03 % и 21 %).

Главные причины увеличения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере – это сжигание горючих ископаемых в промышленности, на транспорте и уничтожение лесов.

При уничтожении лесов содержание углекислого газа в атмосфере увеличивается: при непосредственном сжигании древесины и разложении неиспользованной биомассы растений, за счет снижения фотосинтеза и при окислении гумуса почвы (если на месте лесов распахивают поля или строят города). Леса – важные накопители углерода: в биомассе лесов приблизительно в полтора, а в лесном гумусе – в четыре раза больше углерода, чем в атмосфере.

Сельское хозяйство также приводит к потере углерода в почве, так как потребление  $\text{CO}_2$  из атмосферы агрокультурами в течение лишь части года не компенсирует полностью высвобождающийся из почвы

углерод, который теряется при окислении гумуса в результате частой вспашки.

Одновременное уменьшение поглотительной способности «зеленого пояса» может привести к сбою механизмов саморегуляции природной буферной системы.

Кроме  $\text{CO}_2$  в атмосфере присутствуют в небольших количествах еще два углеродных соединения: оксид углерода  $\text{CO}$  (около  $0,1 \text{ млн}^{-1}$ ) и метан  $\text{CH}_4$  (около  $1,6 \text{ млн}^{-1}$ ). Как и  $\text{CO}_2$ , они находятся в быстром круговороте: время пребывания в атмосфере  $\text{CO}$  – около 0,1 года,  $\text{CH}_4$  – 3,6 года, а  $\text{CO}_2$  – 4 года. В естественных условиях  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$  образуются при неполном анаэробном разложении органических веществ и в атмосфере окисляются до  $\text{CO}_2$ . Количество  $\text{CO}$ , попадающего в атмосферу при сгорании топлива, особенно с выхлопными газами, равно его естественному поступлению.

Следовательно, деятельность человека увеличивает приток углерода в атмосферу в виде  $\text{CO}_2$ .

## КРУГОВОРОТ КИСЛОРОДА

Биогеохимический цикл кислорода является процессом, связывающим атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу. Все органические вещества – это соединения кислорода, поэтому кислород является жизненно важным элементом почти для всех живых организмов (исключение составляют анаэробные бактерии). В количественном отношении кислород – преобладающий компонент живой материи. Например, тело человека на 62,8 % состоит из кислорода (по массе).

Господствующей формой нахождения кислорода в атмосфере является молекулярный кислород ( $\text{O}_2$ ), но имеются также озон ( $\text{O}_3$ ) и атомарный кислород ( $\text{O}$ ). Свободный кислород является продуктом жизнедеятельности организмов.

В отличие от углерода и азота резервуары доступного для биоты кислорода по сравнению с его потоками огромны. Поэтому отпадает проблема глобального дефицита  $\text{O}_2$  и замкнутости его круговорота. Биотический круговорот кислорода составляет 160 Гт/год, а общее количество в пределах экосферы – порядка  $10^{14}$  т.

Кислород на Земле – первый по распространенности элемент: его содержание (в весовых процентах) в атмосфере – 23,1; в экосфере (в составе сухой органики) – 44,8; в литосфере – 47,2; в гидросфере (в составе воды) – 86,9. Однако для водных организмов нужен растворенный в воде кислород. Его среднее содержание в фотическом слое

гидросферы составляет 4,5 мг/л и претерпевает значительные колебания [3].

Содержание кислорода в атмосфере во много раз больше – 288 мг/л и на протяжении длительной геологической эпохи постоянно. Наземные животные довольно чувствительны к отклонениям от этого уровня. Некоторый дефицит кислорода для животных и человека возникает только в высокогорье, в зонах интенсивного потребления и в искусственных устройствах.

С круговоротом кислорода тесно связано образование озона.

В высоких слоях атмосферы под влиянием жесткой ультрафиолетовой части солнечного спектра происходят ионизация и диссоциация части молекул кислорода, образуется атомарный кислород, который немедленно присоединяется к возбужденным молекулам кислорода, образуя озон – трехатомный кислород (см. главу 11).

На образование озона тратится около 5 % поступающей к Земле солнечной энергии – около  $8,6 \cdot 10^{15}$  Вт. Реакции легко обратимы. При распаде озона эта энергия выделяется, за счет чего в верхних слоях атмосферы поддерживается высокая температура.

## КРУГОВОРОТ АЗОТА

Воздух по объему почти на 80 % состоит из молекулярного азота  $N_2$  и представляет собой крупнейший резервуар этого элемента. Все живые организмы нуждаются в азоте, который используют в различных формах для образования белков и нуклеиновых кислот. Но лишь немногие микроорганизмы могут использовать газообразный  $N_2$  из атмосферы. К счастью, в процессе круговорота он преобразовывается в растворимые и усвояемые растениями ионы аммония  $NH_4^+$ , нитрит- и нитрат-ионы  $NO_2^-$  и  $NO_3^-$  [5].

*Поступление азота в атмосферу* происходит:

- 1) в процессе минерализации азотсодержащих органических веществ до оксидов азота и последующей денитрификации, т. е. восстановления их до молекулярного газа  $N_2$ ;
- 2) с вулканическими газами;
- 3) с газами, образующимися при антропогенной деятельности человека (дымом, выхлопными газами).

В водоемы соединения азота поступают с поверхностным и дренажным стоком с городских и сельских территорий; с городскими, промышленными и сельскохозяйственными сточными водами.

**Потребление азота** происходит:

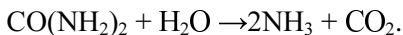
- 1) в процессе биологической фиксации  $N_2$  из воздуха – азотфиксации благодаря деятельности азотфиксирующих микроорганизмов;
- 2) в результате естественных физических процессов фиксации  $N_2$  в атмосфере и превращения его в оксиды  $NO_x$  и аммиак  $NH_3$ , например при грозовых электрических разрядах;
- 3) в процессе промышленного синтеза  $NH_3$ ;
- 4) при фотосинтезе – минеральные соединения азота ( $NH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ) потребляются растениями.

Биотический цикл азота включает ряд очень сложных процессов, основную роль в которых играют микроорганизмы.

Поступление азота в биотический круговорот можно проиллюстрировать на примере минерализации наиболее сложных высокомолекулярных азотсодержащих органических веществ – белков. Распад совершается и идет в несколько стадий.

На первой стадии происходит расщепление белков до аминокислот ( $RCHNH_2COOH$ ) микроорганизмами, вырабатывающими ферменты протеазы. Затем аминокислоты разлагаются бактериями, актиномицетами, грибами как в аэробных, так и в анаэробных условиях с выделением аммиака ( $NH_3$ ).

В результате белкового обмена в животных организмах выделяется мочевины  $CO(NH_2)_2$ , которая тоже служит источником  $NH_3$ :



Поскольку продуктом разложения аминокислот является аммиак  $NH_3$ , эта стадия называется аммонификацией.

**Аммонификация** – процесс разложения азотсодержащих органических веществ с выделением аммиака ( $NH_3$ ).

При аммонификации могут образовываться также сероводород  $H_2S$ , индол  $C_2H_7N$ , скатол  $C_9H_9N$ , этилмеркаптан  $C_2H_5SH$ . Все эти вещества обладают неприятным резким запахом, поэтому распад белков часто называют гниением.

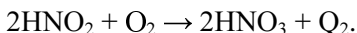
На второй стадии выделившийся аммиак в природных условиях частично используется растениями, а частично окисляется, взаимодействуя с кислородом. Эта стадия превращений азота называется нитрификацией.

**Нитрификация** – процесс превращения азотсодержащих веществ в форму, усвояемую высшими растениями.

Нитрификация протекает в процессе жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий в две фазы. В первой фазе аммиак окисляется до азотистой кислоты (или нитритов):



во второй фазе азотистая кислота окисляется до азотной (или до нитратов):



Нитрификация в первой фазе осуществляется в основном нитрификаторами из рода *Nitrosomonas*, а во второй – из рода *Nitrobacter*.

Реакции нитрификации идут с выделением энергии, которую бактерии используют для своей жизнедеятельности, т. е. они являются хемоавтотрофами.

На третьей стадии образовавшиеся при нитрификации нитриты и нитраты в анаэробных условиях служат источником кислорода для окисления безазотистых органических веществ. При этом нитриты и нитраты восстанавливаются до газообразного азота, который и поступает в атмосферу.

Этот процесс называется денитрификацией.

Например,



Денитрификация протекает с потреблением энергии за счет жизнедеятельности бактерий.

В сточных водах, особенно при биологической очистке, в процессе нитрификации часто образуются излишние количества нитритов и нитратов, которые при их сбросе в водоемы могут вызывать нежелательное «цветение» воды. Поэтому процессы денитрификации используются для глубокой доочистки сточных вод от минеральных соединений азота, которые восстанавливаются до газообразного азота  $\text{N}_2$  и отдуваются в воздух. В данном случае человек стремится возвратить в атмосферу излишки азота, образующиеся при принудительном разложении органических веществ на очистных сооружениях. Этот процесс называется антропогенной денитрификацией.

Биотическое потребление азота происходит при азотфиксации его особыми микроорганизмами.

Азотификация (связывание молекулярного азота) – процесс, обратный денитрификации; связывающий азот атмосферы и переводящий его в химические соединения, необходимые для жизнедеятельности организмов. Оба процесса требуют энергии, которую микроорганизмы получают либо в виде солнечного света, либо в виде органического вещества.

Большинство наземных растений и высших водорослей, несмотря на огромное количество азота в атмосфере, способны усваивать его лишь в виде ионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  или  $\text{NO}_3^-$ .

Итак, только примитивные микроорганизмы могут превращать биологически бесполезный газообразный азот в формы, усвояемые растениями.

Таким образом, центральное место в биотической циркуляции азота занимает  $\text{NH}_3$ . Азотификация и денитрификация – основные процессы, определяющие потребление азота из атмосферы и поступление его в атмосферу.

Влияние человека на круговорот азота достаточно велико. Он выращивает на обширных площадях бобовые растения, увеличивая азотификацию, а также промышленным способом связывает азот.

В масштабе биосферы благодаря механизмам обратной связи и большому резервному фонду круговорот азота относительно совершенен. Антропогенная денитрификация (превращение избыточных нитритов и нитратов в газообразный  $\text{N}_2$ ) и стремление к сокращению производства нитратных удобрений соответствуют природным процессам поступления потока  $\text{N}_2$  в атмосферу, компенсируя тем самым его антропогенную фиксацию из атмосферы в сельском хозяйстве и промышленности.

В последнее время содержание  $\text{N}_2$  в атмосфере не менялось. Можно думать, что поступление его в атмосферу (денитрификация) и отток из атмосферы (азотификация) уравновешены, хотя фиксация слегка преобладает вследствие деятельности человека.

Следовательно, хоть человек и влияет как на потребление  $\text{N}_2$ , так и на поступление его в атмосферу, эти потоки сбалансированы и не меняют его концентрацию в воздухе, в отличие от потоков  $\text{CO}_2$ , которые ведут к накоплению газообразного углерода в атмосфере.

## КРУГОВОРОТ ФОСФОРА

Минеральный фосфор – довольно редкий элемент: содержание его в земной коре не превышает 1 %. Источниками неорганического фосфора являются изверженные горные породы – апатиты и древние осадочные – фосфориты. Запасы фосфора, доступные живым организмам, полностью сосредоточены в литосфере. Неорганический фосфор поглощается растениями и включается таким образом в пищевую цепь.

Фосфор – один из наиболее важных биогенных элементов. Он входит в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, ферментов, костной ткани, молекулы АТФ и АДФ, в которых запасается химическая энергия. По сравнению с азотом он встречается в относительно немногих химических формах. В биотический круговорот фосфор поступает в процессе разрушения протоплазмы организмов и постепенно переходит в фосфаты:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ .

Особенность биогеохимического цикла фосфора заключается в том, что, в отличие от азота и углекислого газа, его резервный фонд – не атмосфера, а горные породы и отложения, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи.

Циркуляция его легко нарушается, так как основная масса вещества сосредоточена в малоактивном и малоподвижном резервном фонде, захороненном в земной коре.

Фосфор очень медленно перемещается из фосфатных пород на сушу к живым организмам и обратно.

Потребляется фосфор растениями и животными для построения белков протоплазмы и используется в промышленном производстве удобрений, моющих средств и рыбопродуктов.

Поступление фосфора в биотический круговорот происходит в основном в процессе эрозии фосфатных пород (в том числе гуано) и вследствие минерализации продуктов жизнедеятельности и органических остатков растений и животных (бытовые сточные воды, обогащенные фосфоросодержащими моющими средствами; поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий и т. д.).

Образующиеся при минерализации органических веществ фосфаты поступают с отходами и сточными водами в наземные и водные экосистемы, где вновь могут потребляться растениями в процессе фотосинтеза.

Механизмы возвращения фосфора в круговорот в природе недостаточно эффективны и не возмещают той его части, которая накапливается в осадках. Вынос фосфатов на сушу осуществляется в основном с



рыбой. Но это не компенсирует их поток с суши в море. Морские птицы также участвуют в возвращении фосфора в круговорот (например, скопления гуано на побережье Перу). Однако перенос фосфора и других веществ из моря на сушу птицами сейчас происходит не столь интенсивно, как в прошлом.

Влияние деятельности человека на циркуляцию фосфора ведет к его потерям и захоронению на дне океана, что делает цикл менее замкнутым.

Сохранение цикличности круговорота фосфора очень важно, потому что из всех биогенных веществ, необходимых организмам в больших количествах, фосфор – один из наименее доступных элементов на поверхности Земли. Фосфор и теперь часто лимитирует первичную продукцию экосистем, а в будущем его лимитирующее значение может резко возрасти, что грозит снижением пищевых ресурсов планеты.

Следовательно, деятельность человека приводит к потерям фосфора из круговорота вследствие его избыточного поступления в водоемы из антропогенных источников и последующего захоронения в глубоководных океанических осадках.

## **КРУГОВОРОТЫ ВТОРОСТЕПЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Второстепенные элементы, как и жизненно важные, мигрируют между организмами и средой. Многие из них концентрируются в тканях благодаря химическому сходству с какими-либо важными биогенными элементами, что может оказаться опасным для организма. Некоторые второстепенные элементы попадают в круговорот в результате деятельности человека. Угрозу представляют все токсичные отходы, в больших объемах сбрасываемые в окружающую среду, которые начинают циркулировать вместе с жизненно важными элементами. Большинство второстепенных элементов в концентрациях и формах, обычных для природных систем, не оказывают отрицательного влияния на организмы, так как последние к ним адаптированы. Но если очень редкий элемент вносится в среду в форме высокотоксичного соединения металла или искусственного радиоактивного изотопа, то даже небольшое количество его способно оказывать значительный биологический эффект.

В качестве примера рассмотрим ртуть.

Биогеохимический цикл ртути (Hg) – пример круговорота природного элемента, который почти не влиял на организмы до наступления индустриальной эры. Ртуть химически малоподвижна, а концентрации

ее в природе невелики. Разработка месторождений и промышленное использование увеличили поток ртути в атмосферу. Соответственно увеличился и ее сток со сточными и поверхностными водами. Увеличение содержания ртути, как, впрочем, и других тяжелых металлов (кадмия, меди, цинка, хрома), в окружающей среде стало серьезной проблемой. Ртуть используется в различном электротехническом оборудовании, термометрах, зубных пломбах, лекарствах, красках, фунгицидах и др. Больше половины расходуемой ртути не возвращается в производство. Это означает, что она попадает в природные воды и оказывается в окружающей среде.

В результате разработки отложений и увеличения выбросов ртути возрастает ее количество в почвах, воде, живых организмах. При этом микроорганизмы, участвующие в круговороте, превращают ее нерастворимые формы в растворимую, очень подвижную и очень ядовитую – метилртуть. Рыбы и моллюски накапливают метилртуть до концентраций, опасных для человека, использующего их в пищу.

Ртуть – один из наиболее опасных загрязнителей, который не только нарушает природное равновесие, но и угрожает здоровью человека. Впечатляющим примером служит г. Минамата – маленький прибрежный городок Японии, основное предприятие которого в течение многих лет сбрасывало в воды залива жидкие отходы, содержащие ртуть. Жители окрестностей, употребляющие в пищу рыбу, выловленную в заливе, становились глухими, немыми, слепыми, парализованными. В результате болезни, которая получила название «болезнь Минамата», умерли девяносто девять человек, семьдесят прикованы к постели, около трех тысяч человек имеют ее симптомы. Долгое время, после того как сбросы сточных вод, содержащих ртуть, были прекращены, в г. Минамата рождались дети с различными аномалиями и уродствами.

Трансформация веществ в окружающей среде и накопление их в живых организмах в процессе круговорота должны учитываться при использовании опасных химических элементов.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие процессы лежат в основе биологического круговорота веществ в природе?
2. Какие организмы называются продуцентами, консументами и редуцентами?
3. Какова основная особенность круговорота воды? Как влияет человек на круговорот воды в биосфере?

4. В чем проявляется влияние человека на увеличение диоксида углерода в атмосфере?

5. Какие процессы лежат в основе круговорота кислорода?

6. Какие основные процессы лежат в основе круговорота азота?

7. Какой процесс называется аммонификацией?

8. Какой процесс называется нитрификацией?

9. Какой процесс называется денитрификацией?

10. В чем заключаются особенности биологического цикла фосфора? Как деятельность человека влияет на биогеохимический цикл фосфора?

11. Приведите пример круговорота второстепенных элементов.

## Глава 6. Человек и биосфера

До относительно недавнего геологического времени ни одно живое существо не угрожало динамически устойчивому равновесию (гомеостазу) биосферы. Однако с зарождением человеческого рода в конце третичного периода (около 1,7 млн лет назад) положение изменилось. В ходе эволюции длительностью более 1 млн лет наши предки – палеоантропы – взяли верх в конкурентной борьбе с другими млекопитающими и начали оказывать разрушающее воздействие на биоценозы.

Человек становится единственным существом, ответственным за деградацию биосферы.

Первым техническим завоеванием человека был огонь. С появлением его в руках человека началось разрушительное наступление на окружающую среду. Так, использование огня для загона и ловли дичи в палеолите привело к выжиганию обширных территорий, занятых лесами, саваннами, прериями. Но охотники-палеолиты более 12 тыс. лет назад не только разрушали растительные сообщества, но и уничтожали около 60 % видов крупных млекопитающих: мамонтов, древних бизонов, гигантских веероперных птиц и др. Первое техническое завоевание человека привело к первой экологической проблеме.

Второе техническое завоевание человека – сельское хозяйство. С его появлением влияние человека на биосферу увеличилось многократно.

Сельское хозяйство, целью которого было освобождение места для культивирования небольшого количества видов организмов, отобранных человеком, развивалось по схеме: лесные биотопы → пастбища → поля сельскохозяйственных культур, что вело к полному уничтожению первоначального растительного покрова.

Так, 90 % территории современного Китая когда-то было покрыто лесами, сегодня они занимают всего 5 % территории. Палестина, Сирия, Месопотамия, Иран, Ирак – биотопы колыбели цивилизованного человечества. К сегодняшнему дню они разрушены чрезмерной экс-

плуатацией: вначале уничтожили леса, затем вторичный растительный покров – результатом явилось опустынивание богатейших когда-то земель.

Переход к земледелию значительно уменьшил необходимую индивидуальную кормовую площадь. Одновременно это потребовало роста общих затрат контролируемой человеком энергии на единицу продукции (на обработку земли, переработку урожая и т. д.).

Все это вместе с оседлостью, созданием побочных поселений и необходимым разделением труда означало появление устойчивой материальной культуры – возникновение цивилизации.

Переход к животноводству в некоторых случаях приводил к резкому увеличению живых организмов в области, в которую они были завезены человеком, что приводило к экологическому взрыву.

**Экологический взрыв** – это массовое размножение живых организмов в области, в которую они были завезены случайно или интродуцированы и где не оказалось их естественных врагов (например, интродукция овец в Австралию). В 1835 г. фермеры завезли несколько овец на данный материк, на котором их раньше не было. Не имея естественных врагов, овцы примерно через 50 лет увеличили свою численность до 8 млн особей, затем темпы снизились и стабилизировались на уровне 7 млн голов.

Кроме того, ситуация все более ухудшается за счет ускорения роста населения планеты. Быстрый рост численности населения, т. е. «демографический взрыв», происходит по экспоненциальному закону. С древнейших исторических эпох до начала XIX в. численность мирового народонаселения колебалась вокруг нескольких сотен миллионов человек, то медленно возрастая, то снижаясь из-за волн эпидемий и голода. Человечеству, которое появилось около 600 тыс. лет назад, потребовалось 500 тыс. лет, чтобы численность его возросла от нескольких сотен тысяч человек до 1 млрд (1830 г.). В 1930 г., всего через сто лет после достижения миллиардного уровня, численность превысила 2 млрд чел., уже 30 лет спустя (1960 г.) достигла 3 млрд чел. И всего лишь через 15 лет (1975 г.) – 4 млрд чел. Затем, еще через 12 лет, (1987 г.) народонаселение Земли перевалило отметку в 5 млрд чел., и такой рост продолжается, составляя примерно 90 млн (рождаемость минус смертность) человек в год [4].

С увеличением численности населения увеличивается численность городского населения. Крупнейшие агломерации: Мехико – 19 млн чел. (первое место в мире), Сан-Паулу – 18 млн (третье место), Буэнос-

Айрес – 12 млн и т. д. Самый густонаселенный город Европы – Барселона – 700 чел/га (для сравнения: Париж – 291, Берлин – 189, Лондон 128 чел/га). В Китае с 1980 по 1990 г. количество городов увеличилось более чем в два раза (с 223 до 467), а население их выросло в полтора раза (с 95 до 144 млн чел.).

Урбанизация природы кроме положительных сторон – большие возможности трудоустройства, экономичная система жизнеобеспечения населения и др. имеет и целый ряд негативных: уродливая в целом среда, загрязнение воздуха, чрезмерный шум, насилие, темпы развития инфраструктуры (жилья, транспорта, водоснабжения, канализации) не успевают за темпами роста численности населения. При этом усиливается не только процесс сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах, но и на сельскую жизнь все более распространяются черты и особенности, свойственные городу.

Таким образом, увеличение населения Земли, стиль жизни и уровень экологического сознания людей совместно с развитием промышленности – основные факторы деградации биосферы.

При сохранении нынешних темпов роста населения численность более 10–12 млрд человек можно ожидать уже к 2040–2055 гг., т. е. ситуация становится катастрофичной на наших глазах. Поэтому в ближайшем будущем для человеческой популяции вполне вероятно регулирующее воздействие таких лимитирующих факторов, как истощение доступных человечеству ресурсов, голод, болезни, социальные потрясения, а также возникновение экологических войн или проведение насильственных действий.

Распределение численности населения в различных регионах планеты имеет следующие особенности.

1. Европа – высокая плотность, слабый прирост населения.
2. Сибирь и Северная Америка – низкая плотность, слабый прирост населения.
3. Центральная Америка, Африка, Восток – низкая плотность, быстрый прирост населения.
4. Индия, Китай, Юго-Восточная Азия – высокая плотность, быстрый прирост населения.

Плотность населения в Нидерландах, Японии, Индонезии достигает 300 чел/кв. км. Рекорд по перенаселению принадлежит Египту, где плотность населения составляет 1000 чел/кв. км.

Самые высокие темпы роста населения наблюдаются в Индии. Сразу же после Второй мировой войны население Индии составляло

300 млн человек, в середине 1970-х гг. увеличилось в два раза, в 2009 г. составило 1166 млн человек.

Рост народонаселения в значительной мере определяет будущее планеты: растут потребности, развиваются технологии, иссякают природные ресурсы, повышается нагрузка на биосферу, разрушается окружающая человека природная среда и т. д. Сегодня эта проблема волнует демографов, социологов, экономистов, экологов и политиков.

## ДИНАМИКА НАРОДОНАСЕЛЕНИЯ

Динамика народонаселения определяет демографическую (греч. demos – народ) ситуацию в отдельных странах и в мире. Население увеличивается при превышении темпов рождаемости над темпами смертности. Демографы для оценки этих процессов пользуются не абсолютным числом родившихся и умерших людей, а коэффициентами рождаемости (КР) и коэффициентами смертности (КС) [5]:

$$\text{КР} = \frac{A}{B} \cdot 1000;$$

$$\text{КС} = \frac{C}{B} \cdot 1000;$$

где:  $A$  – число рожденных детей в год;  $B$  – численность населения на середину года;  $C$  – число умерших за год.

Коэффициенты отражают число рожденных или умерших на 1000 жителей в год. Ежегодный прирост населения (%) характеризуется коэффициентом прироста населения (КП):

$$\text{КП} = \frac{\text{КР} - \text{КС}}{10} .$$

Например, в 1989 г. коэффициент рождаемости в мире был 28 %, а коэффициент смертности – 10 %. Таким образом, прирост населения в среднем составил 1,8 %. В этом же году КП менялся от 4,1 % в Кении, Восточной Африке и Восточной Азии до 0,2 % в Венгрии. При равенстве коэффициентов рождаемости и смертности и отсутствии миграции численность населения в стране остается стабильной. Эта ситуация называется нулевым приростом населения (НПН).

Численность населения в стране зависит также от среднего *коэффициента фертильности (СКФ)*, который представляет собой среднее

число живых детей у одной женщины в течение детородного периода (15–44 года). На коэффициенты рождаемости (КР) и средние коэффициенты фертильности (СКФ) влияют одни и те же факторы:

- уровень образованности и обеспеченности: КР и СКФ тем ниже, чем выше уровень образования и экономического благосостояния общества;
- использование детского труда: КР и СКФ больше в развивающихся странах и сельских местностях, где детей активно используют в трудовой деятельности;
- урбанизация: у городского населения существует тенденция к снижению обоих коэффициентов по сравнению с сельскими жителями, нуждающимися в детском труде;
- высокая стоимость воспитания и образования снижает КР и СКФ в тех странах, где образование обязательно, а детский труд запрещен;
- коэффициент детской смертности напрямую определяет и коэффициент рождаемости: в странах с высокой смертностью детей родители в качестве гарантий заводят «лишних» детей;
- возраст вступления в брак: в странах, где средний возраст вступления в брак у женщин выше 25 лет, естественно, коэффициенты рождаемости и фертильности ниже;
- пенсионное обеспечение: в странах, где существуют надежные и достаточные пенсии, КР и СКФ снижаются, так как обеспечение старости не зависит от количества детей;
- культурные традиции: религиозные убеждения и вековые традиции влияют на количество детей, которое хотят иметь супружеские пары.

Внимательный анализ факторов, влияющих на коэффициенты рождаемости и фертильности, показывает, что низкие значения этих коэффициентов наблюдаются в экономически развитых странах, а высокие – в развивающихся странах.

Динамика роста численности населения на планете описывается экспоненциальной кривой.

Рост мирового населения обусловлен не только ростом коэффициента рождаемости, но и снижением коэффициента смертности.

В конце XX и в начале XXI в. в богатых странах темп роста населения замедлился, а в бедных странах продолжает увеличиваться. Рекордсменом здесь остается Африка, где ежегодный прирост населения составляет в среднем 2,8 % (в три раза выше, чем в США), а в Кении он достигает 4,2 %, на Ближнем Востоке – 2,0 % в год. Тенденции уве-



личения населения Земли, очевидно, будут сохраняться в течение десятилетий после того, как коэффициенты рождаемости и фертильности в развивающихся странах снизятся. Это объясняется тем, что возрастная структура населения в развивающихся странах отличается от таковой в развитых странах. Демографы выделяют три возрастные категории: 0–14 лет, 15–44 года, 45–85 лет. В большинстве развивающихся стран молодое население (0–14 лет и 15–44 года) составляет значительно большую долю, чем люди старше 65 лет. Экономически развитые государства, например Швеция, Германия, Дания, Венгрия, достигшие нулевого прироста населения, имеют почти равное число жителей в каждой возрастной категории.

Любая страна с большим количеством жителей в возрасте до 15 лет обладает мощным импульсом увеличения численности населения, если не происходит рост коэффициента смертности. Это объясняется тем, что женщин, способных иметь детей, становится с каждым годом все больше. Население страны будет увеличиваться в течение 60–70 лет, даже если коэффициент фертильности снизится до уровня простого воспроизводства и ниже. Поэтому демографическая проблема сохранит остроту и в XXI в. К 2025 г. население слаборазвитых стран составит 84 % всех жителей Земли, в то время как сейчас составляет около 68 %

Произойдет также «омоложение» мира (уже сейчас в развивающихся странах молодежь составляет почти 60 % населения). Ожидается взлет ислама: с 800 млн мусульман в 1980 г. до 4,4 млрд – в 2100 г., а число христиан увеличится всего с 1,4 до 2,2 млрд человек.

Общество XXI в. будет еще более «городским», а из пяти самых крупных городов мира три будут находиться в странах «третьего мира»: Мехико (более 18 млн человек), Сан-Паулу и Калькутта. Такой взрыв, скорее всего, приведет к «трусобной урбанизации». Все это может обострить контрасты в развивающихся странах. Чтобы смягчить демографические проблемы, необходима стабилизация численности населения Земли. И некоторые страны уже проводят более или менее жесткую политику регулирования числа жителей.

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ**

Регулирование численности населения может повлиять на демографическую ситуацию в мире. Снижение числа жителей в стране происходит при изменении трех главных демографических категорий: рождаемости, смертности и миграции. Многие страны пытаются снижать

прирост населения, ограничивая иммиграцию и даже поощряя эмиграцию. Увеличение коэффициента смертности не является приемлемой альтернативой. Поэтому основные усилия сосредоточивают, как правило, на снижении коэффициента рождаемости.

Существуют три основных подхода к решению проблемы снижения рождаемости: 1) экономическое развитие, 2) контроль рождаемости и 3) социально-экономические преобразования.

Экономическое развитие большинства развивающихся стран в современных условиях находится в стадии перехода к индустриальному обществу. В этих условиях коэффициент рождаемости несколько снижается, но коэффициент смертности снижается намного быстрее, что обуславливает высокие темпы прироста населения.

Контроль рождаемости путем планирования семьи, по мнению современных исследователей, потребует меньше средств, чем одно экономическое развитие. Программы по регулированию народонаселения основаны на просвещении и медицинском обслуживании граждан и варьируются в зависимости от культурных традиций. Большинство из них обеспечивают население информацией о контроле рождаемости, кормлении грудью, дорожном уходе, противозачаточных средствах. В большинстве стран, кроме Китая, эти программы не принуждают граждан иметь меньше детей.

Контроль рождаемости экономит государственные средства, сокращая расходы на социальные нужды. Анализ «затраты – прибыль» показал, что в Таиланде, например, в период с 1972 по 1980 г. правительство получило 7 долларов на каждый доллар, вложенный в программу контроля рождаемости. Кроме того, контроль рождаемости улучшает здоровье женщин в развивающихся странах, где около 1 млн женщин в год умирает от осложнений в период беременности.

Самая жесткая и обширная программа снижения коэффициентов фертильности была принята в Китае, где с 1958 по 1962 г. умерли от голода около 30 млн человек. В основе этой программы лежали следующие мероприятия[5]:

- мощные стимулы, отодвигающие время вступления в брак;
- развитие системы образования;
- создание условий и возможностей семейным парам для стерилизации, аборт и использования противозачаточных средств;
- экономические льготы для семей, подписавших обязательства иметь не более одного ребенка (надбавки к зарплате, пайки, пенсии и т. д.);

- принуждение к аборту женщин, беременных третьим ребенком;
- предложения родителям, имеющим двух детей, сделать стерилизацию;
- требования к представителям властей ограничивать количество детей в собственных семьях;
- другие меры.

Руководство Китая поставило целью добиться нулевого прироста в 2000 г., когда число жителей достигнет 1,2 млрд человек, и затем медленно сократить численность населения до 1 млрд человек к 2100 г. Однако, по прогнозам ООН, с учетом того, что 34 % населения Китая моложе 15 лет, его народонаселение уже в 2020 г. может составить около 1,5 млрд человек. В 2009 г. население Китая составило 1338,6 млн человек.

В Индии в апреле 1976 г. в этой стране была принята программа контроля над рождаемостью, в рамках которой основная роль отводилась стерилизации и методам принуждения мужчин к этой процедуре. Тогдашний премьер-министр Индира Ганди сказала, в частности: «Мы должны действовать решительно и добиться снижения рождаемости... некоторыми правами личности можно пренебречь во имя человеческих прав нации: права на жизнь, права на прогресс».

Центральное правительство не требовало обязательной стерилизации части населения, однако отдельные штаты страны поощряли это. Например, в штате Махараштра был принят закон, по которому подлежали обязательной стерилизации отцы, имевшие трех живых детей, и обязательным было прерывание беременности у женщин, беременных четвертым по счету ребенком. В столице Индии Дели, а также в штатах Пенджаб и Хараяна были приняты законы, которые предусматривали отмену жизненно важных льгот и лишение права на ряд услуг для женатых мужчин, уже имеющих двоих детей, но не желающих подвергаться вазэктомии. Мужчинам, не соблюдающим закон об обязательной стерилизации, грозили лишение прав на льготное жилье, на бесплатное медицинское обслуживание, займы и даже потеря работы. Для тех, кто подвергался вазэктомии, а также для информаторов, которые поставляли властям необходимые сведения, были предусмотрены поощрительные премии. Из-за стремления местных властей выполнить квоту по стерилизации страдали большей частью бедняки.

Каков же был итог политики стерилизации? В последние месяцы правления И. Ганди число стерилизаций достигло 1 млн в месяц. Население Северной Индии взбунтовалось. А в начале 1977 г. правительст-

во И. Ганди ушло в отставку, так как ее партия «Индийский национальный конгресс» потерпела поражение на выборах. Следующее правительство под руководством премьер-министра Десаи отказалось от мер принуждения и наказаний за нежелание подвергнуться стерилизации. Большинство стран не могут или не хотят использовать принудительные элементы китайской программы. Однако нельзя ждать, пока общество встанет перед выбором – массовое вымирание или жесткие меры. Следует попытаться заблаговременно мягкими мерами сдерживать рост населения.

Экономически развитые страны, в отличие от развивающихся, озабочены замедлением темпов роста населения. В Германии, Венгрии правительства пытаются найти способы поднять рождаемость. Например, если в Германии сохранится коэффициент фертильности 1,4 и не будет разрешена иммиграция, в 2050 г. ее население сократится с 62 до 45 млн человек. Это означает, что останется слишком мало рабочих рук для того, чтобы обеспечить дальнейшее развитие и собирать налоги, необходимые для пенсий.

Социально-экономические преобразования в стране, по мнению многих экспертов, могут более эффективно регулировать численность населения, чем контроль рождаемости. Экономические рычаги (вознаграждения и штрафы) могут снизить коэффициенты рождаемости. Возможности для женщин получить юридические права, образование и работу помогли бы сократить коэффициенты фертильности. При этом огромное значение имеет изменение роли женщин в обществе и улучшение условий их жизни. Хотя женский труд составляет две трети общей продолжительности труда в мире, они получают всего одну десятую часть мирового дохода. Женщины составляют 60 % взрослых обитателей планеты, не умеющих читать и писать. В то же время образование – сильнейший фактор, заставляющий женщину иметь меньше детей. До тех пор, пока женское образование не получит широкого распространения, не снизится их экономическая зависимость от мужчин и не повысится статус женщины в обществе, высокая фертильность, голод, нищета и деградация окружающей среды будут усиливаться во многих регионах мира.

По данным Международного Банка Реконструкции и Развития (МБРР), решительный поворот к сокращению рождаемости в развивающихся странах могут обеспечить только разумные социальные преобразования: поднятие жизненного уровня, улучшение социального обеспечения, повышение уровня образования и грамотности населе-

ния. Так, в одном из штатов Индии, в котором 70 % населения грамотно, прирост населения стал меньше 2 % в год, в то время как в среднем по Индии он превышает 2 %.

Снижение прироста численности населения Земли не решит тех ресурсных, социальных и экологических проблем, однако позволит снизить их остроту. Эксперты считают оптимальным снижение прироста населения с 1,8 до 1 % в год. Быстрое сокращение мирового коэффициента рождаемости на 50 % потребует внедрения системы мероприятий: устойчивого экономического развития, контроля рождаемости, системы экономических штрафов и льгот, изменения роли женщины в обществе. Сочетание этих мер должно тщательно планироваться для каждой отдельной страны, в соответствии с ее культурными традициями.

Рост населения происходит по экспоненциальному закону Мальтуса, а количество продуктов сельского хозяйства увеличивается по арифметической прогрессии.

## **ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ**

Проблема питания – одна из острейших в современном мире, хотя кризисные явления в этой области имеют достаточно продолжительную историю.

Увеличение численности населения планеты и городского населения требует и соответствующего роста производства продукции, чтобы сохранить хотя бы на сегодня сложившийся уровень питания.

Если все продовольствие разделить поровну между жителями планеты, его хватит, чтобы прокормить 6 млрд человек. Но если каждый человек будет питаться, как средний житель промышленно развитой страны, то продовольствия хватит только для 2,5 млрд человек. Однако равномерное распределение продовольствия ни сейчас, ни в будущем практически невозможно из-за различий в почвенных и климатических условиях и доходах населения в разных регионах Земли.

Территория, где большинство населения страдает от голода и недоедания, протянулась по обе стороны экватора и включает многие страны Азии, Латинской Америки и особенно Африки.

Беднейшие слои находятся на грани жизни и смерти (две чашки риса – 150 кал и овощи – 10 кал в день). Люди слабеют, теряют сознание, становятся апатичными. Большинство из них погибают от болезней прежде, чем умирают от голода. Взрослые слишком слабы, чтобы продуктивно работать и ясно мыслить [5].

В то время как около 15 % населения развивающихся стран страдают от недоедания и неполноценного питания, около 15 % населения промышленно развитых стран страдают от переизбытка. Пища переизбыточных людей насыщена жирами, холестерином, солью, сахаром, содержит мало свежих овощей, фруктов, клетчатки, что является причиной ожирения, диабета, гипертонии и других сердечно-сосудистых заболеваний. Таким образом, не недостаток продуктов питания, а бедность является главной причиной голода и преждевременной смерти во всем мире.

Полезна или вредна продовольственная помощь бедным странам как гуманитарная акция? Некоторые аналитики утверждают, что предоставление продовольствия голодающим странам с высокими темпами прироста населения приносит в конечном итоге больше вреда, чем пользы. Поощряя рост населения и не научив людей самостоятельно выращивать урожай, такая помощь в будущем обрекает на смерть еще большее количество людей.

Критики продовольственной помощи не отвергают помощь вообще. Они считают, что индустриальные государства в первую очередь должны помочь развивающимся странам контролировать прирост населения, в том числе и путем подъема экономики. Продовольственная же помощь должна предоставляться в виде исключения тогда, когда в регионе в результате природных или социальных катастроф полностью разрушена система снабжения.

Рост численности населения Земли порождает и другие проблемы глобального масштаба: истощение природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и деградация природных экосистем. И каждый из нас в большей или меньшей степени способствует этим процессам.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какое влияние оказывает человек на биосферу? Перечислите основные технические завоевания человека, влияющие на деградацию биосферы.

2. Дайте определения термина «экологический взрыв». Приведите примеры.

3. По какому закону характеризуется рост численности населения при демографическом взрыве?

4. Какими коэффициентами демографы определяют динамику народонаселения?

5. Какие факторы влияют на коэффициенты рождаемости и коэффициенты фертильности?
6. Какими мерами можно сбалансировать численность населения на планете?
7. Как влияет рост населения на окружающую природную среду?
8. По какому закону увеличивается рост продуктов сельского хозяйства?

## Глава 7. Природные ресурсы биосферы

Любое производство неизбежно связано с потреблением природных ресурсов.

**Ресурсы** – это все, что извлекается из природной среды для удовлетворения потребностей и желаний человека. Некоторые ресурсы используются непосредственно: чистый воздух, пресная вода, съедобные растения, дикие животные. Но большинство природных материалов (железо, нефть, уголь, культурные растения, домашние животные) становятся ресурсами только после соответствующей переработки в продукты, которые можно приобрести по доступной цене.

**Природопользование** – это сфера хозяйственной деятельности, которая заключается в использовании, охране и воспроизводстве природных ресурсов.

**Природопользователь** – это физическое или юридическое лицо, производственная деятельность которого состоит в эксплуатации конкретного природно-ресурсного объекта в соответствии с представленным ему правом пользования.

В экологии выделяют два типа природопользования: рациональный и нерациональный.

**Нерациональное природопользование**, как правило, ведет к истощению природных ресурсов, подрыву восстановительных сил биосферы, снижению оздоровительных и эстетических качеств. То есть эта система деятельности не обеспечивает сохранения природно-ресурсного потенциала природы.

**Рациональное природопользование** – эта система деятельности, призванная обеспечить экономное использование природных ресурсов и их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося народного хозяйства и сохранения здоровья людей.



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ «ЗАКОНЫ» Б. КОММОНЕРА

В начале 1970-х годов американский эколог Б. Коммонер сформулировал четыре положения, раскрывающие суть системы рационального природопользования. Эти положения стали называть «законами», хотя правильнее было бы назвать их «экологическими поговорками» – ведь любая поговорка отражает опыт предшествующих поколений [14]:

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

**1. Все связано со всем.** Это положение о всеобщей связи вещей и явлений в природе и человеческом обществе. Эти связи можно рассмотреть как на локальных экосистемах, так и на глобальном уровне.

Например, все живое на Земле подчинено космическим силам, единому потоку солнечной энергии, его ритмам. Глобальные круговороты веществ, ветры, океанские течения, реки, миграции птиц и рыб, переносы семян и спор, деятельность человека и влияние антропогенных агентов – все это придает биосфере признаки единой системы.

Сеть связей и зависимостей характерна и для человеческого общества. По сравнению с природной она многократно обогащена за счет потоков информации. Не следует представлять себе эти связи так, будто все связано со всем отдельно в природе и отдельно в человеческом обществе, в экономике. Важно подчеркнуть, что на самом деле и природа, и общество находятся в одной сети системных взаимодействий.

**2. Все должно куда-то деваться.** Это положение рассматривает закон сохранения массы вещества. В отличие от человеческого производства и быта, живая природа в целом почти безотходна, в ней нет такой вещи, как мусор. Все опавшие листья, экскременты и трупы животных становятся пищей для других организмов – насекомых, червей, грибов, бактерий – разлагаются ими до простых соединений и в таком виде рано или поздно вновь потребляются растениями. При этом в целом для биосферы всегда соблюдается количественный баланс масс и равенство скоростей синтеза и распада. Это означает высокую степень замкнутости круговорота веществ в биосфере.

Деятельность человека привела к изменениям химической среды на поверхности планеты, к возникновению необычных для поверхности земли, воды и воздуха высоких концентраций ряда элементов, к появ-

лению стойких синтетических соединений, чуждых химизму живых организмов – ксенобиотиков. Некоторые из этих веществ являются сильными ядами. Поскольку из всего колоссального объема материалов и веществ, извлекаемых из недр, перерабатываемых и синтезируемых человеком, в природный круговорот попадает лишь малая часть, то с точки зрения живой природы человечество производит в основном мусор и отраву. При этом существенно нарушается замкнутость круговорота веществ.

В хозяйственной и производственной деятельности человека отходы неизбежны. Поэтому нужно думать об уменьшении их количества, о последнем их использовании, а также о здравоохранении.

**3. Ничто не дается даром.** Это всеобщий закон рационального природопользования. В экономике природы, как и в экономике человека, не существует бесплатных ресурсов: пространство, энергия, солнечный свет, вода, кислород, какими бы неисчерпаемыми ни казались их запасы на Земле, неукоснительно оплачиваются любой расходуемой их системой. Платить нужно энергией за дополнительную очистку технологических газов, сточных вод, утилизацию отходов, удобрением за повышение урожая, санаториями и лекарствами за ухудшение здоровья человека и т. д.

**4. Природа знает лучше.** Это самое важное правило природопользования, которое означает, что нельзя пытаться покорить природу, а нужно сотрудничать с ней, используя биологические механизмы для очистки стоков и повышения урожая культурных растений и т. д. При этом нельзя забывать о том, что человек является биологическим видом, частью природы, а не ее властелином.

Принцип «природа знает лучше» определяет, прежде всего, то, что может и что не должно иметь места в биосфере.

Все в природе – от простых молекул до человека – должно было пройти очень жестокий конкурс на вакансию в биосфере.

Главный критерий этого отбора – вписанность в глобальный биотический круговорот, увеличение его эффективности, заполненность всех экологических ниш, исключение «мертвых зон» в сети природных взаимосвязей. У любого вещества, выращенного организмами, должен существовать разлагающий его фермент. И все продукты распада должны вновь вовлекаться в круговорот. Такова жизнь.

Человеческая индустриальная цивилизация очень быстро и грубо нарушает замкнутость биотического круговорота в глобальном масштабе, что не может остаться безнаказанным. В этой критической си-

туации необходимо найти компромисс и выработать условия его принятия.

*На всех не хватает* – этой формулировки нет среди поправок Б. Коммонера. Но она также отражает общую системную закономерность – ограниченность ресурсов.

В природе действует правило максимального «давления жизни»: организмы размножаются с интенсивностью, обеспечивающей максимально возможное их число. Репродуктивный потенциал многих организмов так велик, что если бы на какое-то время были сняты ограничения размножения и остановлено умирание, то произошел бы «биологический взрыв» космического масштаба: за считанные часы масса живого вещества превысила бы массу земного шара. Этого не происходит из-за ограничений по веществу: масса питательных веществ для всех форм жизни на Земле конечна и ограничена.

«На всех не хватит» – источник всех форм конкуренции, соперничества и антагонизма в природе и в обществе. Внутри популяций или между популяциями различных растений или животных предметом конкуренции чаще всего бывают пища, пространство (и в буквальном, и в переносном смысле – место под солнцем), убежище или половой партнер. В человеческом обществе все это сохраняет свое значение, но украшается разнообразными социальными, экономическими, этическими и эстетическими «надстройками», начинающими играть самостоятельную роль. Так, например, классовая борьба, расизм, межрегиональные и межнациональные конфликты – это и есть ничто иное, как начальная ступень внутри видовой конкуренции, принимающей иногда гораздо более жесткие формы, чем у зверей. Существенное различие заключается в том, что в природе в результате конкурентной борьбы остаются лучшие, а в человеческом обществе это отнюдь не гарантированно (скорее, наоборот).

Людей много, соответственно, потребности их велики. Совершенно очевидно, что при дальнейшем росте численности населения планеты если даже и хватит на всех «хлеба и зрелищ», то не хватит ресурсов для обеспечения высоких стандартов комфорта и благополучия, не хватит просторного дома на природе с гаражом и бассейном и многого другого.

## ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

**Природные ресурсы** – это компоненты природной среды, природные объекты, которые используются (или могут быть использованы) при осуществлении хозяйственной деятельности в качестве источников энергии, продуктов производства, предметов потребления и имеют потребительскую ценность.

В зависимости от происхождения природные ресурсы подразделяются на минеральные, водные, лесные, земельные, биологические и рекреационные.

В зависимости от возможности использования природные ресурсы подразделяются на следующие[15]:

- ресурсы промышленного производства;
- ресурсы сельскохозяйственного производства;
- ресурсы непроемственной сферы.

Ресурсы промышленного производства включают:

- энергетические ресурсы, используемые для производства энергии (нефть, газ, уголь, энергия речных вод, уран и радиоактивные элементы, топливная древесина и т. д.);

- неэнергетические ресурсы, используемые в различных отраслях промышленности (полезные ископаемые, воды, земли, леса).

Ресурсы сельскохозяйственного производства, участвующие в создании сельскохозяйственной продукции, включают агроклиматические (ресурсы тепла и влаги), почвенные земельные (земля и ее верхний слой – почва), растительные биологические (кормовые) и водные ресурсы (вода).

Ресурсы непроемственной сферы включают лекарственное сырье, объекты промысловой охоты и рекреационные ресурсы.

В экологии природные ресурсы подразделяются на исчерпаемые и неисчерпаемые.

**Неисчерпаемые** (неистощимые) ресурсы – количественно неиссякаемая часть природных ресурсов (солнечная энергия, морские приливы, текущая вода, ветер).

**Исчерпаемые** – ресурсы, количество которых неуклонно уменьшается по мере их добычи или изъятия из природной среды. Они, в свою очередь, подразделяются на невозобновимые (минеральные) и возобновимые.

Возобновимые ресурсы – это ресурсы, которым свойственна способность к восстановлению через размножение или другие природные циклы (например, лесные, водные, биологические, почвенные ресурсы).

Невозобновимые ресурсы – это ресурсы, непрерывное использование которых может уменьшить их запасы до такого уровня, при котором дальнейшая их эксплуатация становится экономически нецелесообразной, а к своему самовосстановлению за сроки, соизмеримые со сроками их потребления, они не способны (прежде всего это минеральные ресурсы) (рис. 7.1).

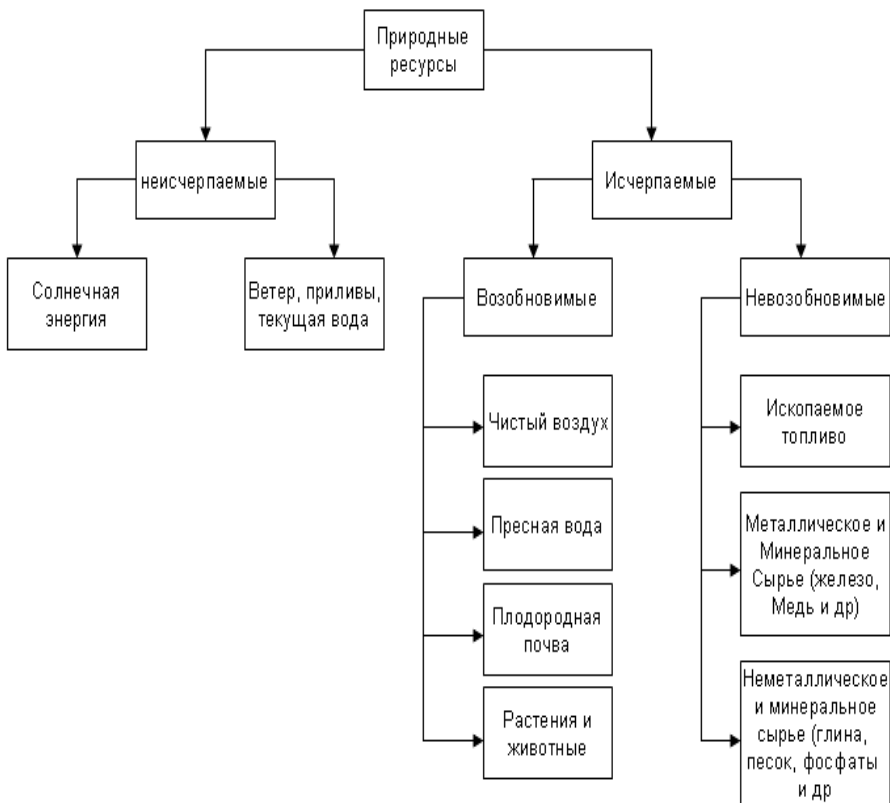


Рис. 7.1. Основные типы природных ресурсов

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Пресная вода, несмотря на кажущееся изобилие, является достаточно большой редкостью – всего лишь 3 % от количества воды в гидросфере.

Футурологи утверждают, что будущие войны могут возникнуть в борьбе за пресную воду. Считается, что в настоящее время более миллиарда человек лишены здорового водоснабжения. Тяжелая ситуация сложилась в Азиатско-Тихоокеанском регионе (Бангкок, Таиланд, Южная Корея, Япония), в бассейнах рек – Нила, Тигра и Евфрата.

Назначение воды как природного ресурса – поддержание жизненной потребности человека, животного и растительного мира. В производственной и хозяйственной деятельности человек применяет воду для очистки, мытья, охлаждения оборудования и материалов, полива растений, гидротранспортировки, обеспечения специфических процессов (выработка электроэнергии). Водная среда используется для вылова рыбы, добычи подводных запасов сырья (марганец, никель, кобальт) и топлива (нефть), сбора растений, перевозки грузов на судах.

По суммарным запасам пресных и поверхностных вод Россия опережает все страны мира. На ее территории сосредоточено более 20 % мировых пресных водных ресурсов [15]. На долю России приходится 10 % мирового речного стока. По этому жизненно важному показателю наша страна занимает второе место в мире после Бразилии.

Географическое распределение материкового стока крайне неравномерно: более 90 % его выносится в Северный Ледовитый и Тихий океаны, а на бассейны Каспийского и Азовского морей, где проживает примерно 80 % населения России и сосредоточена большая часть хозяйственного потенциала, приходится менее 9 %. Поэтому, в частности, Волжский бассейн испытывает большую техногенную нагрузку: 18 %-й водозабор (почти 43 км<sup>3</sup>/год) уменьшает естественный годовой сток Волги на 10–12 %. А водозабор из таких рек, как Дон, Кубань, Терек, Урал, Исеть, Миасс, превышает 50 % стока [15]. На каждого жителя РФ в год приходится в среднем 29 тыс. м<sup>3</sup> суммарного речного стока, 520–540 м<sup>3</sup> суммарного водозабора и 90–95 м<sup>3</sup> воды бытового водоснабжения (т. е. по 250 л в сутки). В крупных городах удельное водоснабжение составляет 320 л в сутки, в Москве – 400 л в сутки. Средняя водообеспеченность населения у нас одна из самых высоких в мире (для сравнения: в США – 320 л, Германии – 180 л, Англии – 170 л, Японии – 125 л, Индии – 65 л, Финляндии – 58 л, Ираке – 16 л в сутки). Однако по сравнению со многими другими странами пресная

вода у нас расходуется крайне неэкономно. В то же время в ряде районов на юге России, в Поволжье и в Зауралье существуют трудности с обеспечением населения качественной питьевой водой.

Трудности в обеспечении населения пресной водой заключаются как в неравномерности ее распределении, так и в нерациональном и неэкономном ее потреблении. Трудности возникают также за счет ухудшения качества вод, истощения и деградации водных объектов и экосистем. Так, например, аварии на химических, металлургических, энергетических и других предприятиях, прорывы в городских системах очистки сопровождаются сбросом отравляющих веществ в природные водные объекты.

При использовании воды в промышленности и в быту необходимо учитывать, что недопустимо забирать из наземных и подземных источников воды больше, чем ее поступает на сушу ежегодно в виде осадков, иначе возникнет опасность истощения региональных запасов воды – в результате фактический объем воды, который можно использовать, не опасаясь вредных последствий, соответствует количеству атмосферных осадков, формирующих поверхностный и подземный стоки.

## АТМОСФЕРА

Атмосфера – это огромная воздушная система, нижний слой (тропосфера) толщиной 8 км в полярных и 18 км в экваториальных широтах. Общее количество свободного кислорода в атмосфере –  $1,5^{10}$  т. Назначение атмосферы в экосистеме Земли – это обеспечение человека, животного и растительного мира жизненно необходимыми газовыми элементами (кислород, углекислый газ), защита Земли от метеоритного воздействия, обеспечение процессов производственной деятельности человека газовыми элементами (кислородом, азотом, водородом и нейтральными газами)

**Кислород** – наиболее важная для человека составная часть воздуха. При нехватке кислорода у человека развиваются явления компенсаторного характера: учащается дыхание, ускоряется ток крови и т. д. За 60 лет жизни через его легкие проходит 200 г вредных химических веществ, 16 г пыли, 0,1 г металлов. Из наиболее опасных для человека веществ можно назвать канцероген бенз(а)пирена (продукт термического разложения сырья и горения топлива), формальдегид и фенол.

Главным продуцентом кислорода на Земле служат зеленые водоросли поверхности океана (60 %) и тропические леса суши (30 %).

Тропические леса Амазонки называют легкими планеты Земля. Ранее в литературе высказывались опасения, что возможно уменьшение количества кислорода на Земле вследствие увеличения объема сжигаемого ископаемого топлива. Но расчеты показывают, что использование всех доступных человеку залежей угля, нефти и природного газа уменьшит содержание кислорода в воздухе не более чем на 0,15 % (с 20,95 до 20,80 %) Другая проблема – вырубка лесов, приводящая к возникновению кислородных «паразитов» – стран, которые живут за счет других стран.

## ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

Площадь земельных ресурсов мира составляет 129 млн км<sup>2</sup>, или 86,5 % площади суши. Под пашней и многолетними насаждениями в составе сельскохозяйственных угодий занято около 15 млн км (10 % суши), под сенокосами и пастбищами – 37,4 млн км<sup>2</sup> (25 %). Общая площадь пахотно-пригодных земель оценивается различными исследователями по-разному: от 25 до 32 млн км. В настоящее время примерно 75 % российских сельскохозяйственных земель не возделывается, что обеспечивает ей «запас прочности».

Земельные ресурсы планеты позволяют обеспечивать продуктами питания больше населения, чем имеется в настоящее время и будет в ближайшем будущем. Вместе с тем в связи с ростом населения, особенно в развивающихся странах, количество пашни на душу населения сокращается. Еще 10–15 лет назад душевая обеспеченность пашней населения Земли составляла 0,45–0,50 га, в настоящее время она составляет уже 0,35–0,37 га. Душевая обеспеченность пахотными угодьями меняется в широких пределах. Для Канады она составляет 1,4 га, для США – 0,63, ФРГ – 0,15, Японии – 0,04 га. В настоящее время в России на душу населения приходится 0,82 га пашни, что значительно превышает мировой показатель.

Рассматривая проблему качества почв, следует отметить, что на больших площадях продуктивность почв снижается из-за уменьшения гумуса. В России около 43 % пахотных земель характеризуется низким содержанием гумуса, причем на преобладающей части территории баланс гумуса отрицательный.

Практически все сельскохозяйственные угодья России расположены в районах рискованного земледелия и большие территории находятся в зоне многолетней мерзлоты. Наряду с этим в стране есть прекрасные почвы, но их мало и они подвержены засухам и эрозии.



Если сравнивать Россию, например, с Канадой, которая тоже расположена в северном регионе, то надо иметь в виду, что все северные города и большинство сельскохозяйственных угодий Канады расположены на одних широтах с Киевом и Курском. Вегетационный период в России на 100 дней короче, чем во Франции, Италии и Австрии. Россия – самая холодная страна на планете, и для того чтобы поддерживать такой же уровень жизни, как в упомянутых странах, нам нужны, в частности, разные затраты энергии. В России они должны быть в 2–3 раза больше, чем в Западной Европе\*.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Основой энергетики сегодня является ископаемое топливо: уголь, нефть, газ и уран-235. Однако запасы невозобновимых источников энергии в литосфере ограничены.

Если предположить, что численность населения планеты в некоторый период времени стабилизируется на отметке 15 млрд. человек, то окажется, что все разведанные сегодня запасы нефти будут использованы в течение трех месяцев, а запасы угля – за 15 лет.

В настоящее время альтернативным и, возможно, единственным выходом из сложившейся ситуации представляется разработка экологически чистых источников энергии, потенциал которых весьма значителен.

Альтернативные источники энергии – получение энергии не из ее традиционных источников (уголь, нефть, газ, сланцы и др.), а из возобновляемых, использующих энергию Солнца, ветра, приливов и отливов, геотермальных источников и т. д.

**Солнечная энергия**, ежегодно попадающая на поверхность Земли в виде солнечного излучения, в 15 тыс. раз превышает ежегодное мировое потребление энергии. Для использования солнечных лучей необходимы: солнечные элементы и батареи для производства электроэнергии, гелиоэлектростанции для производства высокотемпературного тепла и электроэнергии, солнечные коллекторы для получения низкотемпературного тепла с целью снабжения зданий и др.

**Ветровая энергия** – заключенная в ветре механическая энергия, может быть использована ветроэлектрическими станциями с КПД око-

---

\* Для сравнения: чтобы обеспечить среднепланетарный уровень жизни, Россия должна производить 18,9 т условного топлива на человека в год; в то же время энергонасыщенная Япония потребляет не более 3 т.

ло 40 % для выработки электроэнергии и приведения в действие различных механизмов (водяных насосов, мукомольных мельниц). Технически надежны и рентабельны в районах с постоянными ветрами электростанции мощностью 50–100 кВт с высотой башни 15–25 м. Наибольшее число ветровых электроустановок работает в настоящее время в США (9000) и Дании (1500), они производят дешевую электроэнергию. В нашей стране пока эксплуатируются ветроустановки небольшой мощности (до 15 кВт). Однако даже такой экологически чистый источник энергии порождает проблемы: создает ультразвуковые излучения, помехи в телевизионном приеме для населения. В Голландии ежегодно гибнет около 40 тыс. крупных птиц.

**Гидроэнергетика.** Общая возобновляемая энергия Мирового океана включает в себя энергию различного вида: энергию волн приливов и отливов, океанских течений, температурного градиента и т. д. В настоящее время самая крупная приливная электростанция (ПЭС) находится на берегу Ла-Манша, в устье р. Ранг (Бретань), мощность которой достигает 240 МВт. В нашей стране в 1968 г. вступила в строй вторая в мире экспериментальная ПЭС мощностью 400 кВт в Кислой Губе (близ Мурманска).

**Геотермальная энергия** используется в областях современного вулканизма и в тектонически-подвижных регионах Земли, где горячие подземные воды поднимаются к поверхности и выходят в виде термальных источников. Самая крупная в мире геотермальная электростанция (мощностью 700 МВт) находится в США; в Италии (в Тоскане) такая электростанция мощностью 450 МВт снабжает электроэнергией всю область; в Исландии 80 % населения обогревает свои дома геотермальным теплом. В России действует пока единственная геотермальная электростанция на Камчатке – Паужетская (с 1966 г.) – мощностью всего 11 МВт, хотя здесь геотермальные ресурсы огромны.

**Биоэнергетика.** Биогаз относится к возобновляемым источникам энергии. Он образуется в биогазовых или очистных установках в процессе разложения растительных и животных отходов без доступа кислорода. Основной его компонент – метан с примесью углекислого газа. Биогаз используют для приготовления пищи, отопления, в газовых двигателях, в блок-ТЭЦ. Особенно широко его используют в блок-ТЭЦ Германии – их мощность составляет от 10 до 100 МВт и они имеют очень высокий КПД – до 85 %. Небольшие БТЭЦ (мощностью 10–20 кВт), называемые энергетическими секциями, используются для отопления помещений жилых зданий.

Немецкие экологи подсчитали мировой технический потенциал возобновляемых источников энергии в год (миллиарды тонн условного топлива)\*.

Все это показывает, что использование в дальнейшем возобновляемых источников энергии позволит не только обеспечить человечество необходимой электроэнергией, но самое главное, значительно снизить выбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду.

## ЛЕСА

Растительный мир – это совокупность большого числа разнообразных видов растений. Он функционирует во взаимодействии с землей, водой и атмосферой.

Назначение растительного мира – образование органического вещества, усвоение углекислого газа и выработка кислорода, обеспечение древесины и питанием человека и животных. За год растения поглощают и усваивают примерно 200 млрд тонн  $\text{CO}_2$  (3–3,6 т/год/га) и выделяют 150 млрд тонн кислорода (1,8–5 т/год/га). Однако процесс окисления сбрасываемой деревьями листвы потребляет примерно 50 % годового количества вырабатываемого ими кислорода.

## ПРИРОДНОЕ СЫРЬЕ

Ежегодно из недр извлекается около 3 тонн минерального сырья в расчете на одного человека. Это руды металлов, строительные материалы, уголь, минеральное удобрение. Запасы полезных ископаемых распределены по территории Земли неравномерно. Наибольшие залежи железных руд имеются в Бразилии, Австралии, Канаде, США, Южно-Африканской Республике, Франции, Великобритании, ФРГ, Швеции, Норвегии, России, Китае. Потенциальные запасы железных руд – триллионы тонн, известные месторождения – 600 млрд тонн, а достоверные и вероятные – 260 млрд тонн. Среднее содержание железа в руде – около 40 %. Добыча железной руды в мире составляет около 800 млн т/год.

Наиболее оптимистический прогноз, исходящий из полного содержания элементов в земной коре, предполагает следующие сроки ис-

---

\* Для сравнения: потребление первичной энергии в мире составляет около 9 млрд тонн условного топлива.

черпания: железа –  $10^9$  лет, меди –  $242 \cdot 10^6$ , урана –  $10^9$ , алюминия –  $10^9$  лет. Ископаемого топлива хватит на 520 лет, атомной энергии – на 8400 лет, термоядерного топлива – на 10 лет. Пессимистические оценки важнейших ресурсов дают 50–70 лет для полного их истощения.

Эксплуатация месторождений полезных ископаемых связана с изъятием и загрязнением земли, нарушением земельного покрова, уничтожением растительного покрова. Горнодобывающая промышленность – один из лидеров по загрязнению водного и воздушного пространств. Косвенное влияние эксплуатации месторождения проявляется через создание примыкающего бытового и промышленного хозяйств, прокладку дорог, транспортировку значительных масс добываемых материалов, прокладку энергообеспечивающих систем, изъятие земли под отвалы.

Создание эффективных технологических схем переработки руд позволяет вовлечь в использование большие запасы уже разведанного, но не используемого сырья. Сам процесс добычи может быть улучшен за счет применения химических и биологических методов. Это подземное выщелачивание руд, использование микроорганизмов.

## ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

При производстве промышленной продукции и при хозяйственной деятельности образуются отходы, являющиеся потенциальным сырьем. Их делят в зависимости от источника образования на две группы: отходы производства и отходы потребления [17].

**Отходы производства** – это остатки сырья, материалов, веществ, изделий, предметов, образовавшиеся в процессе производства продукции, выполнения работ (услуг) и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства.

**Отходы потребления** – это остатки веществ, материалов, предметов, изделий, товаров (продукции или изделий), частично или полностью утративших свои первоначальные потребительские свойства для использования по прямому или косвенному назначению в результате физического или морального износа в процессах общественного или личного потребления (жизнедеятельности), использования или эксплуатации.

Исходя из возможности использования различают утилизируемые и не утилизируемые отходы. Для первых существует технология переработки и вовлечения в хозяйственный оборот, для вторых технология в настоящее время отсутствует.

В результате деятельности человека образуется несколько сотен видов отходов, а используется несколько «классических» видов: металл, пластмассы, бумага, стекло и др. Вторичное использование материалов решает целый комплекс вопросов по защите окружающей среды: сокращается потребность в первичном сырье, уменьшается загрязнение вод и земли, освобождаются трудовые ресурсы из процессов переработки сырья. Истощение запасов первичного сырья потребовало перевода технологии многих стран на использование только вторичного сырья.

Например, переработка макулатуры вместо получения из древесины требует энергии на 60 % меньше, снижает загрязнение воздуха на 15 % и воды на 60 %. Сталь из металлолома на 70 % дешевле получаемой из руд. И при этом на каждой тонне стали экономится 1,5 тонн руды и 0,2 тонн кокса, уменьшается масса отходов, идущих в отвалы.

Высококачественная бумажная макулатура может быть использована для изготовления писчей и типографской бумаги. За счет улучшения технологии из макулатуры может быть изготовлена негорючая бумага. Бумажную пульпу дешевле изготавливать из макулатуры, чем из естественного сырья.

Пластмассы в виде отходов естественным путем разлагаются очень медленно либо вообще не разлагаются. При их сжигании происходит сильное загрязнение атмосферы ядовитыми веществами. В настоящее время в мире утилизируется лишь небольшая часть из 80 млн тонн пластмасс, ежегодно выпускаемых в мире.

Наиболее эффективный способ предотвращения накопления пластмассовых отходов – их вторичная переработка (рециклинг) и разработка биodeградальных быстроразрушаемых в природе полимерных материалов.

Степень утилизации использованных алюминиевых и жестяных банок сильно варьируется в промышленно развитых странах: в Великобритании она составляет 3,5 %, в странах Западной Европы – 13 %, а в США – 55 %. В странах Западной Европы предполагается увеличение степени утилизации использованных алюминиевых банок в будущем, так как на получение из них алюминия необходимо затратить лишь 5 % энергии от той, которую пришлось бы израсходовать на его производство из натурального сырья.

За рубежом существуют разные взгляды на проблему удаления олова с банок перед их переработкой, что делает их утилизацию относительно дорогостоящей.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем основная суть «законов» Коммонера?
2. Перечислите основные виды природных ресурсов.
3. Какие природные ресурсы рассматриваются в экологии?
4. Как влияет деятельность человека на водные природные ресурсы?
5. Приведите примеры альтернативных источников энергии.
6. Какие факторы уменьшают запасы продуктов питания на планете?
7. Какие факторы уменьшают качество почв?
8. Приведите примеры использования вторичного сырья в промышленности.

## РАЗДЕЛ 2

### **КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

#### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Загрязнение* – это все, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы [17].

Основные загрязнители существовали еще до появления человека. Поэтому все ныне живущие растительные и животные организмы и их сообщества устойчивы к ним.

Любое вещество или фактор может стать загрязнителем при определенных обстоятельствах. Например, катионы натрия необходимы организму для поддержания электролитического равновесия, проведения нервных импульсов, активизации пищеварительных ферментов. Соль в организме регулирует водный баланс клеток. Однако в больших количествах соли натрия ядовиты. Уже 250 г поваренной соли является летальной дозой. Вот почему морская вода не пригодна для питья.

Различают естественное и антропогенное загрязнение [18]. Естественное загрязнение – загрязнение, возникающее в результате природных, как правило, катастрофических процессов (мощного извержения вулкана, землетрясения и т. п.).

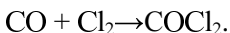
Антропогенное загрязнение – загрязнение, возникающее в результате деятельности людей, в том числе их прямого или косвенного влияния на интенсивность природного загрязнения.

Антропогенное загрязнение – результат работы промышленности, энергетики, сельскохозяйственной деятельности, эксплуатации транспорта, потребления продуктов питания, использование предметов быта. Как правило, многие антропогенные загрязнители ничем не отли-

чаются от природных. Исключение составляют ксенобиотики (греч. xenos – чужой) – чужеродные для природы вещества. Это искусственные и синтетические соединения: полимеры, поверхностно-активные вещества и др. Они плохо разрушаются в природе, не входят в круговорот веществ и могут накапливаться.

Различают первичное и вторичное загрязнение. При первичном загрязнении вредные вещества образуются непосредственно в ходе природных или антропогенных процессов. При вторичном загрязнении вредные вещества синтезируются в окружающей среде из первичных.

Очень часто вторичные загрязнители оказываются более токсичными, чем первичные. Так в воздухе происходит реакция синтеза отравляющего вещества удушающего действия – фосгена из угарного газа и молекулярного хлора:



Некоторые загрязнители приобретают ядовитость только после попадания в живые организмы, в результате происходящих там химических превращений. Так, в составе растительных организмов ртуть превращается в еще более опасную метилртуть. Бенз(а)пирен приобретает канцерогенность в процессе окисления в печени.

Все виды загрязнений окружающей среды можно объединить в следующие основные группы.

1. *Химическое загрязнение* – загрязнение окружающей среды, формирующееся в результате изменения ее естественных химических свойств или при поступлении в среду химических веществ, не свойственных ей, а также в концентрациях, превышающих фоновые (естественные) среднесуточные колебания количеств каких-либо веществ, для рассматриваемого периода времени.

2. *Физическое загрязнение*. Эта группа часто называется энергетическими загрязнениями. К ним относятся физические загрязнения, представляющие собой колебательно-волновое движение частиц упругой среды: различные шумы, вибрации, инфразвук и ультразвук. А также загрязнения, представляющие собой постоянные и электромагнитные поля различных длин волн: промышленные частоты, радиочастоты, СВЧ-диапазон, миллиметровый диапазон, ИК-излучение (тепловое загрязнение), УФ-загрязнение, рентгеновское и  $\gamma$ -излучение.

3. *Биологическое загрязнение* – случайное или происходящее вследствие деятельности человека проникновение в экосистемы или технические устройства видов животных (бактерий) и/или растений,



обычно там отсутствующих. Биохимическое загрязнение, связанное с продуктами жизнедеятельности живых существ и разложением мертвых тел.

4. *Механическое загрязнение* – засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без физико-химических последствий (например, мусор).

5. *Тепловое* (термальное) загрязнение – форма физического загрязнения среды, характеризующаяся периодическим или длительным повышением ее температуры.

6. *Световое загрязнение* – форма физического загрязнения окружающей среды, связанная с периодическим или продолжительным превышением уровня естественной освещенности местности, в том числе за счет использования источников искусственного освещения.

7. *Трансграничное загрязнение* – загрязнение среды, охватывающее территорию нескольких государств или целые континенты и формирующееся за счет трансграничного переноса загрязнителей.

8. *Глобальное загрязнение* – биосферное загрязнение внешней для загрязняющего объекта среды физическими, химическими или биологическими агентами, обнаруживаемыми вдали от источников загрязнения и практически в любой точке планеты.

9. *Комплексное загрязнение среды*. Оно обусловлено совместным действием физического, химического, физико-химического или биологического загрязнения.

Ниже рассмотрим химическое и физическое загрязнение: электромагнитное, инфракрасное и ультрафиолетовое.

## Глава 8. Химическое загрязнение окружающей среды

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ОТРИЦАТЕЛЬНОМУ ДЕЙСТВИЮ НА ЧЕЛОВЕКА И ДРУГИЕ ОРГАНИЗМЫ

По отрицательному действию на человека и другие организмы загрязняющие вещества подразделяются на токсиканты, канцерогены, мутагены, терратогены, аллергены, нейро- и психотропные вещества, яды.

**Токсиканты** – ядовитые вещества, отравляющие или изменяющие функциональную деятельность организма. К ним относится большая группа неорганических и органических веществ, в том числе такие распространенные, как ртуть, свинец, мышьяк, фтор, нитриты, неорганические соединения алюминия.

**Канцерогены** – вещества, вызывающие развитие злокачественных новообразований или способствующие их возникновению. В настоящее время известно более 500 канцерогенных веществ. Самым сильным канцерогеном считается бенз(а)пирен, затем – диметил, диоксины, эпоксиды. Из металлов канцерогенными свойствами обладают хром, бериллий, кобальт.

**Мутагены** – вещества, вызывающие наследственные изменения (мутации) в развитии ближайших или отдаленных поколений организмов. Часть мутагенов являются канцерогенами. Кроме того, к ним относятся многие пестициды, кадмий, ртуть, марганец и радионуклиды.

**Терратогены** – вещества, вызывающие повреждение зародышей организмов с возникновением аномалий и пороков развития. Данными свойствами обладают кадмий, мышьяк, вольфрам, а также некоторые вирусы.

**Аллергены** – большая группа веществ, в том числе растительного происхождения, вызывающих аллергию, т. е. повышенную чувстви-

тельность организма к какому-либо соединению, с тяжелыми реакциями. По отношению к конкретному человеку выявление аллергенов представляет сложную задачу.

**Нейро- и психотропные вещества** – вещества, действующие на нервную систему. К ним относятся бензин, разнообразные растворители, четыреххлористый углерод.

**Яды** – вещества, отравляющие печень, почки, кроветворную систему, органы дыхания.

Одно и то же вещество (или фактор) может оказывать разное влияние на органы и ткани. Например, бензин, бензол, анилин не только вызывают наркотический эффект, но и пагубно влияют на кровь и кроветворную систему.

На практике каждый организм подвергается не одиночному действию какого-либо вредного вещества, а целой их группе. Если в организме происходит простое суммирование отрицательных эффектов попавших в него веществ, то такое комбинированное действие называется аддитивным. Если из этой группы веществ одно из них усиливает действие другого или других, то говорят, о потенцированном действии или явлении синергизма. Вещества, вызывающие этот эффект, называют синергетиками. Наиболее выраженным синергетиком является свинец [19].

Целый ряд вредных веществ (ртуть, кадмий, свинец, бенз(а)пирен, нитриты и др.) обладает выраженным кумулятивным свойством, т. е. накоплением в организме, что приводит к его расстройству и даже гибели.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО МЕХАНИЗМУ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМЫ**

По механизму воздействия на организмы загрязняющие вещества подразделяют на следующие группы [20].

### **Загрязняющие вещества раздражающего действия**

К веществам этой группы относятся соединения, вызывающие раздражение слизистых оболочек. Как правило, это связано со способностью загрязнителя диссоциировать с образованием  $H^+$  и  $OH^-$  ионов. Некоторые загрязняющие вещества приобретают способность изменять рН при растворении во влаге слизистых оболочек, в дождевой воде или каплях тумана.

К раздражающим веществам относятся твердые соединения (каустическая сода, едкий калий, известь-пушенка), жидкие вещества (растворы кислот и щелочей) и газообразные соединения (сернистый газ, серный ангидрид, оксиды азота, хлорид водорода, хлор, аммиак).

Природные источники раздражающих веществ – вулканическая деятельность, лесные пожары, обмен веществ растений, микроорганизмов, животных. Антропогенные источники раздражающих газов – продукты сгорания твердого и жидкого топлива, работа предприятий химической промышленности и т. д.

При действии этих веществ на животных и человека наблюдается раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, пищеварительного тракта, спазмы бронхов, ожоги, удушье – в зависимости от агрегатного состояния загрязнителя и способа его поступления в организм. Раздражающее действие, связанное с изменением pH, обусловлено денатурацией белка ткани (денатурация – лишение природных свойств). Защитная роль слизистых оболочек при этом снижается. Вот почему наличие в воздухе загрязнителей раздражающего действия усиливает проникновение в организм других вредных веществ и повышает опасность инфекционных заболеваний. Установлена прямая зависимость между содержанием в воздухе диоксида серы и количеством респираторных заболеваний человека. Опасность раздражающих веществ усиливается при наличии в воздухе аэрозолей и пыли. Газы хорошо адсорбируются на пылевых частицах и проникают с ними глубоко в дыхательные пути. Вещества раздражающего действия, содержащиеся в атмосфере, могут быть и источниками образования вторичных загрязнителей.

Повышенное содержание в воздухе кислотных газов неблагоприятно сказывается на зеленых растениях, приводя к разрушению хлорофилла, снижению фотосинтеза и урожайности. В целом раздражающие вещества более токсичны для растений, чем для животных. Исключение составляют оксиды азота, которые служат растениям источником азотного питания.

Попадая вместе с дождевой водой в почву, кислоты нарушают ее микрофлору. Замедляется разложение растительных остатков, плодородие почвы снижается. В подкисленной почве тяжелые металлы переходят в растворимую форму и легко всасываются растениями, вызывая их отравление. Употребление в пищу таких растений человеком опасно.

Нежелательно подкисление и для водоемов. Это нарушает их природное равновесие, а в водных обитателях накапливаются тяжелые металлы.

Наличие в воздухе кислотных газов является причиной так называемых кислотных дождей и туманов (если pH ниже 5,6). Они наносят большой вред памятникам архитектуры, разрушают мрамор, песчаник, вызывают коррозию конструкций из стали, никеля и меди.

## **ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА И ФАКТОРЫ, НАРУШАЮЩИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ В ОРГАНИЗМЕ**

Причиной нарушения окислительно-восстановительного баланса в организме могут быть химические вещества (окислители или восстановители), а также ионизирующее излучение, психоэмоциональные стрессы, климатические, геофизические факторы (холод, геомагнитные и гравитационные аномалии), инфекционные болезни. Рассмотрим некоторые из химических веществ.

**1. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)** – это соединения, которые содержат два и более конденсированных бензольных колец, способных вступать в реакции окисления и восстановления. Среди них – бенз(а)пирен ( $C_{20}H_{12}$ ), нафталин ( $C_{10}H_8$ ) и др.

Особенность бенз(а)пирена заключается в том, что он приобретает токсичность в результате химических превращений в организме. Промежуточные продукты обмена ПАУ обладают высокой канцерогенной активностью.

ПАУ возникают там, где имеет место неполное сгорание углеродсодержащего вещества. Особенно их много выделяется при разгоне и торможении транспортных средств; в дыме пожаров, табачном дыму; при сжигании угля, нефти, листьев, мусора; в нефтехимии и коксохимии; при курении; при хлорировании питьевой воды и т. д.

Именно ПАУ, а не никотин, являются наиболее опасными компонентами табачного дыма. Табачный дым – это смесь различных соединений. Более 50 из них – канцерогены. В табачном дыму содержатся угарный газ, аммиак, бенз(а)пирен, оксиды азота, пиридин, кадмий, мышьяк, метан, нитросоединения, изопрен, ацетон, изобутилен, бутен, толуол, пропилен, стирол, пропионитрил и др. ПДК многих веществ превышена в сотни и даже тысячи раз. Табачная зависимость у организма возникает благодаря никотину, который легко проникает в мозг. Уже через 6–7 секунд после затяжки никотин обнаруживают в мозге.

Всего за 5 минут никотин изменяет гормональный баланс в организме, артериальное давление, работу желудочно-кишечного тракта. Однако главная опасность никотина – это его способности снижать возможности организма к адаптации. Человек становится более уязвимым для возбудителей инфекционных болезней, токсичных веществ и вредных факторов. Формирование табачной зависимости может произойти всего лишь после одной выкуренной сигареты. Поэтому на всякий случай лучше воздержаться даже от разового курения.

Среди производных ПАУ имеется целый ряд диоксинов.

Диоксинами называют все полихлорированные углеводороды полициклического ряда, у которых кольца соединены через кислород.

Это большая группа веществ, механизм воздействия которых на ткань еще недостаточно изучен. Среди диоксинов есть совершенно безвредные соединения, но есть и чрезвычайно опасные. Среди последних – самый сильный яд, известный науке как А2,3,7,8–ТХДД (тетрахлордibenзопарадиоксин). Он в тысячи раз токсичнее цианистого калия, ядовитее стрихнина, кураре, зомана, зарина. Его ПДК в атмосферном воздухе  $5 \cdot 10^{-10}$  мг/м<sup>3</sup>.

Диоксины вызывают мутации, рак, психические расстройства, болезни иммунной системы, приводят к рождению детей-уродов.

Разнообразные диоксины возникают там, где есть вероятность хлорирования или бромирования углеводородов в кислородной среде. Например, при производстве гербицидов: 2,4Д – аквалин ( $C_8H_6Cl_2O_3$ ); ДДТ ( $C_{14}H_9Cl_5$ ); гептахлор ( $C_{10}H_5Cl_7$ ); ГХЦГ ( $C_6H_6Cl_6$ ). При производстве хлорфенолов, эпоксидных и ионообменных смол, жидкостей для трансформаторов и конденсаторов, ЦБК (на базе хлорирования, т. е. при отбеливании бумаги), при сжигании пластмасс и отходов из них и т. д.

Токсичность ПАУ зависит от скорости их выведения из организма. Ароматические соединения являются жирорастворимыми и могут накапливаться в подкожной жировой клетчатке, надолго задерживаются в организме.

Важную роль в выведении диоксинов из организма играет печень. Однако из-за хорошей растворимости в жирах токсины надолго задерживаются в подкожной жировой клетчатке. Период полураспада диоксинов в организме составляет 6–7 лет, в природе их разрушение происходит в полтора-два раза медленнее.

Растения и микроорганизмы разлагают попавшие в них ПАУ до  $CO_2$  и  $H_2O$ . В природной среде ПАУ разрушаются под влиянием ультрафиолетового света и озона.

**2. Дыхательные яды.** К этой группе соединений относят вещества, которые нарушают работу белков, переносящих кислород и электроны. Такими ядами являются нитраты, нитриты, угарный газ, цианиды, сероводород, метилмеркаптан и др.

Механизм действия дыхательных ядов различен. Угарный газ необратимо связывается с гемоглобином, делая невозможным перенос им кислорода. Нитраты, нитриты и анилин приводят к образованию окисленного гемоглобина – метгемоглобина, который тоже не способен переносить кислород.

Цианиды, сероводород и метилмеркаптан нарушают конечный этап клеточного дыхания, который идет в митохондриях: прекращаются окислительно-восстановительные превращения железа цитохромов.

Независимо от механизма действия дыхательные яды изменяют окислительно-восстановительный баланс в организме. Наиболее чувствительным к недостатку кислорода является мозг. Поэтому все дыхательные яды вызывают головную боль и головокружение. При их хроническом воздействии на организм снижается память, внимание, развиваются болезни нервной системы, у детей задерживается умственное развитие. При остром отравлении отмечается помутнение сознания, возможна смерть от кислородного голодания мозга.

Остановимся подробнее на одном из представителей этой группы загрязнителей – нитратах. Нитраты – нормальный компонент растительной ткани, источник синтеза аминокислот, полиаминов, алкалоидов, белков. Нитраты поступают в растение благодаря корневому и частично воздушному питанию. В некоторых случаях вовлечение нитратов в обмен веществ происходит медленнее, чем их поступление, что приводит к накоплению нитратов в растении. Этому способствует внесение повышенных доз минеральных удобрений, низкая освещенность (например, при выращивании в теплицах), холодное лето.

Нитраты, попавшие в организм человека, сами по себе не представляют непосредственной угрозы. Под действием микроорганизмов ротовой полости и кишечника они превращаются в нитриты. А нитриты не только являются дыхательными ядами, но и реагируют с NH-группами пищевых продуктов (рыба, хлеб), некоторых лекарств или табачного дыма, образуя сильнейшие канцерогены – нитрозоамины.

## **ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, НЕОБРАТИМО СВЯЗЫВАЮЩИЕСЯ С ОРГАНИЧЕСКИМИ И НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ТКАНИ**

Органические и неорганические вещества ткани, ковалентно связывающиеся с загрязняющими веществами, изменяют свои биологические свойства. Среди этих загрязняющих веществ выделяют вещества, связывающие тиоловые (SH) группы белков и необратимо связывающие химические элементы.

### **Загрязняющие вещества, связывающие тиоловые (SH) группы белков**

SH-группы белков обладают способностью реагировать с тяжелыми металлами с образованием малорастворимых соединений. К тяжелым металлам относят элементы с плотностью большей, чем у железа: свинец, ртуть, цинк, медь, кадмий, кобальт, олово, висмут, ванадий и др. Тиоловыми ядами являются также некоторые неметаллы: мышьяк и селен.

Природными источниками загрязнения среды тяжелыми металлами являются места выхода на поверхность полиметаллических руд, вулканическая деятельность, лесные пожары, морская пена. Антропогенные источники – горнодобывающая промышленность; цветная металлургия; сжигание угля, нефтепродуктов, дерева, мусора; производство фосфорных удобрений. Большая часть металлов, добываемых из недр, остается в отвалах (до 80–90 %), загрязняя среду.

В результате блокирования SH-групп белок теряет свою биологическую активность. Поскольку тиоловые яды действуют на белки не избирательно, то нарушается функция ферментов, гормонов, транспортных белков, белков ахроматинового веретена, белков хромосом и структурных белков. Поэтому яды для SH-групп имеют широкий спектр действия и называются протоплазматическими. Тиоловые яды вызывают рак, мутации, аллергию, болезни кровеносной системы, печени, почек, мозга. Прочное связывание протоплазматических ядов с клеточными структурами обуславливает их способность накапливаться в живых организмах. Органы, в которых преимущественно сосредотачиваются тяжелые металлы, страдают в большей степени.

Лишь незначительная часть протоплазматических ядов выводится из организма. У животных этот процесс происходит через почки, желчь, слюну, даже легкие и слезную жидкость. У растений тиоловые яды частично обезвреживаются с помощью органических кислот вакуолярного сока, частично превращаются в летучие органические со-



единения и испаряются с поверхности листа. Так, ртуть превращается в метилртуть, выделяющуюся в воздух. Метилртуть – еще более токсичное соединение, чем сама ртуть и ее соли.

Высокой способностью накапливать тяжелые металлы, мышьяк, сурьму, селен обладают водные растения и животные. Содержание загрязнителя увеличивается с повышением уровня пищевой цепочки. Например, если в беспозвоночных содержится 10 условных единиц тяжелых металлов на единицу массы, то в рыбах – 100, а в хищных рыбах – 1000. Употребление их в пищу может вызвать острое отравление тяжелыми металлами.

Загрязнение среды тяжелыми металлами представляет серьезную экологическую проблему.

Рассмотрим наиболее опасные представители тиоловых ядов.

**Свинец.** Согласно одной из теорий падение Древнего Рима объясняется тем, что римляне пользовались свинцовым водопроводом, свинцовой посудой и т. п., что привело к хронической свинцовой интоксикации. Это подтверждается высоким уровнем содержания соединений свинца в захоронениях того времени. У современных американцев содержание свинца в организме примерно в 400 раз выше естественного «доиндустриального» уровня.

Свинец и его соли необратимо связываются с SH-группами белков, нарушая процессы митоза (один из способов разложения клетки). Это повышает вероятность ракового перерождения клеток. Поэтому хроническое отравление этим тяжелым металлом проявляется в болезнях системы кроветворения, пищеварения, нервной системы (свинцовые параличи), гипертонии. При остром отравлении по краю десен появляется темно-серая кайма, лицо приобретает землистый цвет, во рту появляется сладковатый привкус, нарушается работа пищеварительного тракта.

У растений свинец накапливается, как правило, в подземных органах, поражая корни и корнеплоды, снижая фотосинтез и урожайность. Исключение составляют растения, листья которых содержат большое количество щавелевой и винной кислоты. Они накапливают тяжелые металлы в надземных органах. Такие растения хорошо использовать для озеленения участков вдоль автотрасс, тротуаров городов. Чтобы уменьшить поглощение свинца культурными растениями, его переводят в нерастворимую форму известкованием почвы.

Некоторые растения – липа, тополь, ива, боярышник, туя – способны накапливать за вегетацию до 40 мг свинца на 1 кг сухой листвы. Много поглощают и дикорастущие злаки (до 1 % сухой биомассы).

**Ртуть** – относится к тяжелым металлам. Она имеет два кругооборота в природе. Первый связан с естественным природным обменом элементарной (неорганической) ртути, второй, так называемый локальный, обусловлен процессами метилирования неорганической ртути, поступающей в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека.

Ртуть применяется в производстве каустической соды и бумажной массы, в синтезе пластмасс, электротехнической промышленности. Она также используется в качестве фунгицидов для протравливания посевного материала.

Ртуть в виде паров и аэрозолей выбрасывается в атмосферу, откуда она и ее соединения мигрируют в почву и растения, в водоемы и гидробионты. Именно в водной среде в результате деятельности микроорганизмов происходит метилирование ртути, которая в дальнейшем в виде метилртути включается в продвижение по трофическим путям водных или наземных экосистем.

Ртуть нарушает процессы митоза (митоз клеток – разрушение клеток живых и органических организмов); накапливается в половой системе, костном мозге, печени, легких; поражает половую систему, вызывает гибель зародышей. При хроническом контакте с ртутью развивается дрожание пальцев вытянутых рук, снижается память, внимание. Связывание с белками крови снижает иммунитет и вызывает аллергические реакции. При остром отравлении ощущается металлический вкус во рту, появляется слюнотечение, рвота.

**Кадмий** в отличие от свинца и ртути является биогенным элементом: он входит в состав ферментов печени и почек. Однако даже незначительное повышение содержания кадмия относительно физиологических норм приводит к сильнейшему отравлению. Кадмий и его соли очень ядовиты. Они обладают мутагенным и канцерогенным действием, накапливаются в костях, печени, почках.

Загрязнение кадмием пищевых продуктов и пищевого сырья, как правило, происходит со сточными водами и другими отходами промышленных предприятий, связанных с производством и применением специальных сплавов, автоматики, полупроводников, атомной и ракетной техники, антикоррозийных покрытий, полимеров, а также при использовании фосфорных удобрений и пестицидов. Загрязнение атмосферного воздуха кадмием происходит при сжигании пластмассовых отходов. В воздухе сельской местности концентрация кадмия в 10 раз превышает уровни естественного фона, а в городской среде при нали-

чии перечисленных выше предприятий содержание кадмия увеличивается почти в 100 раз.

Кадмий могут накапливать отдельные растения, например картофель, томаты, горох, капуста, зерновые, фасоль, салат, фрукты. Наибольшее количество кадмия содержится в грибах – от 0,1 до 5 мг/кг. Так, в Германии в луговых шампиньонах концентрация кадмия достигает 6 мг/кг, поэтому федеральное ведомство по вопросам здравоохранения рекомендовало ограничить употребление в пищу дикорастущих грибов.

В научной литературе описаны случаи хронического отравления кадмием. Например, в Японии вместе со сточными водами, сбрасываемыми в р. Дзинцу, попал кадмий. Эта река служила источником хозяйственно-питьевого водоснабжения и, кроме того, из нее брали воду для орошения рисовых полей и плантаций сои. Во время вспышки заболевания было установлено, что в рисе, являющемся базовым продуктом питания японцев, концентрация кадмия составляла 0,6–1 мг/кг продукта. В результате заболели около 3 тыс. человек, в основном женщины в возрасте после 40 лет, преимущественно много рожавшие. Это объясняется дефицитом кальция, активно заменявшегося кадмием. Болезнь получила название «итай-итай» или «ох-ох», так как первоначальные признаки заболевания проявлялись сильными болями в нижних конечностях и пояснице, нарушением функции почек. Затем наблюдались сильное похудение, деформация скелета и переломы костей из-за нарушения фосфорно-кальциевого обмена. Во многих случаях это заболевание оканчивалось инвалидностью или смертью. В США заболевания, подобные «итай-итай», были зарегистрированы при употреблении в пищу сахарного порошка, загрязненного значительным количеством кадмия.

Токсичность тиоловых ядов для человека возрастает в следующей последовательности: алюминий–марганец–железо–кобальт–цинк–кадмий–свинец–никель–медь–ртуть.

### **Загрязняющие вещества, необратимо связывающие химические элементы**

К загрязняющим веществам, способным связывать биогенные элементы, относятся фтористые соединения. Пары HF постоянно выделяются из земных недр, насыщая воду и почву. В организмах животных и человека фтор – необходимый элемент. Его обнаруживают в зубной эмали ( $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ) и в костях. Снижение поступления фтора в организм вызывает кариес зубов.

Высокое содержание фтора в организме приводит к заболеванию – флуорозу. Причиной повышенного содержания фтора в окружающей человека среде могут быть отходы алюминиевых производств (с гальванотехникой), процессы пайки и газорезки, гравировка стекол, производство плавиковой кислоты, фторбериллия, молочного стекла – криолита, некоторых пестицидов, фосфорных удобрений. Причина флуороза – образование нерастворимых фтористых солей кальция и магния. Это приводит к нарушению кальциевого и магниевого обменов. Зубы при этом становятся рыхлыми, истончаются, зубная эмаль нарастает в виде бугорков – отмечается крапчатость зубов. У растущих организмов нарушается процесс окостенения. Накопление фторида кальция в сухожилиях и связках снижает подвижность костей в суставах. Изменения в кальциевом обмене приводят к аллергическим болезням.

Необратимое связывание магния вызывает нарушение обмена фосфора, так как все процессы переноса фосфатных групп идут с участием магния. Следствием этого становятся заболевания нервной системы, раздражительность, повышение утомляемости. Если фтористые вещества находятся в воздухе в виде плавиковой кислоты, раздражаются слизистые оболочки дыхательных путей и кожа.

Для растений накопление фтора не характерно. Немного больше, чем обычно, его содержится в луке. Фториды разрушают хлорофилл, вызывая хлороз (пожелтение) листьев.

## **ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА**

Группа жирорастворимых загрязняющих веществ объединяет химически инертные вещества, которые легко растворяются в липидном слое клеточных мембран и поэтому беспрепятственно проникают через биологические барьеры (легкие, слизистые оболочки, кожу, гематоэнцефалитический барьер, клеточные мембраны).

К жирорастворимым загрязнителям относятся бензин, керосин, бензол, сероуглерод, четыреххлористый углерод, спирты, разнообразные растворители.

Токсичность этих веществ связана с их способностью нарушать проницаемость биологических мембран. При функционировании нервной ткани возникает разность электрических потенциалов между наружной и внутренней поверхностью мембран нервных клеток, что вызывает нарушение целостности жирового слоя мембраны и создает ситуацию, напоминающую пробивание конденсатора. Вот почему жи-

жирорастворимые яды губительно действуют на нервную систему. Нарушение проведения нервных импульсов субъективно воспринимается как наркотическое опьянение. При длительном воздействии на организм токсинов этой группы развиваются тяжелые болезни эндокринной системы и печени в связи с поражением мембран эндоплазматической сети, наблюдается нарушение фильтрации мочи в почечных канальцах, т. е. заболевания почек.

Жирорастворимые соединения, как правило, накапливаются в организме. Выделение происходит медленно и чаще всего в неизменном виде через легкие и лишь частично в окисленном виде с потом и мочой. Растения (как низшие, так и высшие) более стойкие к жирорастворимым ядам. В отличие от животных, растения способны окислять и обезвреживать углеводороды, полностью разлагая их до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . 1 кг листвы вишни, тополя, яблони поглощает до 1 мг бензола в сутки. Растения тростника, рдеста, рогоза, камыша используются для эффективной очистки вод от жирорастворимых ядов. В день одно растение тростника поглощает до 10 мг фенола [20].

Жирорастворимые вещества представляют большую опасность для экологических систем. Загрязнение морей и рек нефтью и нефтепродуктами привело к настоящей «нефтяной чуме».

Попадая в воду, нефть растекается по ее поверхности, препятствуя газообмену между водой и воздухом. В результате наблюдается замор рыбы, гибель моллюсков и планктона. Растворяя жировую смазку на перьях водоплавающих птиц, нефть приводит к переохлаждению их организмов от соприкосновения с водой и массовой гибели.

Летучие фракции нефти испаряются, оставляя в воде густую жироподобную массу. Она скатывается в комочки, которые тонут и загрязняют дно водоема. Большую роль в самоочистке водоема от нефти играют бактерии и фитопланктон. Специально выведенные штаммы микроорганизмов используют для очистки вод от нефтепродуктов в экстремальных ситуациях.

Легкие фракции углеводородов могут участвовать в формировании смога.

## **ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, КОНКУРИРУЮЩИЕ С БИОГЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ВЫТЕСНЯЮЩИЕ ИХ**

Некоторые вещества, входящие в состав ткани, могут замещаться похожими веществами по физическим, физико-химическим и химическим свойствам. Биологические свойства ткани при этом изменяются.

Нарушения в обменных процессах, регистрируемые при этом, зависят от роли замещенного вещества и свойств заместившего его соединения или элемента. Условие вытеснения биогенного вещества из организма – высокое содержание заместителя в среде. Причиной этого может быть геологическая аномалия или аварийная ситуация на производстве (например, пожар на Чернобыльской АЭС).

Легко вытесняются вещества, находящиеся в ионной форме, например S-элементы. Заместителями являются элементы, имеющие сходное строение наружного электронного слоя. Калий может вытесняться рубидием, цезием, литием. Кальций и магний – стронцием, барием, радием, бериллием.

В результате цезий и рубидий накапливаются в мышцах и мягких органах, а щелочные металлы – в костной ткани.

Те же закономерности прослеживаются и для растений. Организмы, содержащие большое количество калия (картофель, абрикос) накапливают щелочные металлы. В растениях, богатых щавелевой и винной кислотами, фиксируются щелочноземельные металлы.

Источниками цезия, рубидия и других редкоземельных металлов являются испытания атомного оружия, ядерные конфликты, а также разработка редкометалльных месторождений. Бериллий попадает в среду в составе отходов от производства авиамоторов, деталей ядерных реакторов, электронной аппаратуры, рентгеновских трубок, алюминия. Способность бериллия замещать кальций и цинк объясняется его канцерогенностью (так как кальций уплотняет биологические барьеры и препятствует воспалительным и аллергическим реакциям). Барий – высокотоксичный элемент. Ядовиты и все растворимые соли бария. Источником попадания бария в среду может быть производство перекиси водорода, пиротехника, химическая промышленность, использующая барий в качестве катализатора некоторых реакций. Токсичность бария связана с его способностью замещать магний и «заключивать» энергетический обмен организма. Таким образом, в основе действия этой группы загрязнителей на организм – конкуренция с биогенными веществами и их вытеснение. На этом принципе основано целебное действие многих лекарственных препаратов.

В качестве примеров рассмотрим стронций, цезий. При циркуляции стронция и цезия в организме может происходить их концентрация в тканях. Стронций (Sr) – ранее малоизученный элемент, который теперь служит объектом особого внимания в связи с большой опасностью его радиоактивного изотопа для человека и животных. По свойствам

стронций похож на кальций. На 1000 атомов кальция, участвующих в биогеохимическом цикле в природе, приходится 2,4 атома стронция. Стронций, попадая через растения и животных в пищу человека, может накапливаться в костных тканях, как и кальций. По мнению ученых, в костях человека в некоторых районах уже содержится такое количество стронция, которое может оказывать канцерогенное действие и вызывать другие эндемичные заболевания костной системы. Кроветворная ткань костного мозга особенно чувствительна к бета-излучению стронция-90.

Цезий-137 (Cs-137) – другой опасный продукт деления атома. Он схож по свойствам с калием и потому тоже очень активно циркулирует по пищевым цепям и может накапливаться в тканях человека в опасных количествах.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое загрязнение? Приведите основные виды и группы загрязнения окружающей среды.
2. Какие вещества называются ксенобиотиками?
3. Приведите классификацию загрязняющих веществ по отрицательному действию на человека и другие организмы.
4. Какие загрязняющие вещества относятся к веществам раздражающего действия? Как они действуют на организм?
5. Какие загрязняющие вещества и факторы нарушают окислительно-восстановительное равновесие в организме? Приведите примеры.
6. Какие загрязняющие вещества относятся к тиоловым ядам? Как они действуют на организм? Приведите примеры.
7. Какие загрязняющие вещества относятся к жирорастворимым? Как они действуют на организм? Приведите примеры.
8. Какие вещества относятся к ксенобиотикам?

## **Глава 9. Электромагнитное загрязнение окружающей среды**

Простейшие электрические и магнитные явления были известны еще в глубокой древности. Но лишь в 1600 г. английский ученый У. Гильберт впервые разграничил электрические и магнитные явления. Он открыл существование магнитных полюсов и неотделимость их друг от друга и установил также, что земной шар является гигантским магнитом. Электрические и магнитные явления подразделяются на естественные и антропогенные.

### **ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

Естественные источники можно разделить на постоянно действующие (например, космическая пыль и излучения, магнитное поле Земли, солнечное излучение, морской прибой, атмосферное электричество и т. п.) и кратковременные (гром, молния, извержение вулкана и т. д.).

Среди естественных источников, создающих электромагнитный фон, основным, безусловно, является Солнце – центральное тело нашей планетной системы и ее основной источник энергии, которая возникает вследствие термоядерной реакции, протекающей в его ядре.

Эффективная температура поверхности Солнца (фотосфера) составляет 5770 °С. На Солнце возникает излучение очень высоких частот, которое испускается в виде квантов ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов.

При среднем расстоянии от Земли до Солнца полное количество падающего излучения за 60 с на площадь в один квадратный сантиметр составляет около 1,97 ккал. Эта величина названа солнечной постоянной, и колебание ее не превышает одного процента. По этой величине можно судить о постоянстве солнечного излучения. Если бы эта величина увеличилась на 10 %, то наша Земля превратилась бы в пустыню, а в случае ее уменьшения на 10 % Земля покрылась бы тонким слоем льда [7].



Солнечная активность повторяется с периодом 11 лет. Этот цикл коррелирует со многими процессами в биосфере Земли. Например, изменение скорости роста деревьев, установленное на протяжении многолетних наблюдений по чередованию ширины годовых колец, повторяется с этим периодом. Такая же корреляция наблюдается между землетрясениями, сельскохозяйственным урожаем, эпидемиями болезней (гриппа, холеры, тифа и т. д.), сердечно-сосудистыми заболеваниями, размножением и миграцией насекомых, колебаниями уровня озер и т. д.

В период активного Солнца увеличивается интенсивность рентгеновского излучения в 2 раза в диапазоне длин волн  $300\text{--}100 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ ); в диапазоне  $100\text{--}10 \text{ \AA}$  интенсивность возрастает в 3–5 раз, а в диапазоне  $10^{-2} \text{ \AA}$  – в 100 раз. Ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн  $1800\text{--}3500 \text{ \AA}$  в период 11-летнего цикла меняется незначительно (1–10 %). Мощность излучения в диапазоне длин волн  $0,29\text{--}2,4 \text{ мкм}$  в период солнечной активности практически не меняется [7].

Поток электромагнитной энергии и поток заряженных частиц взаимодействуют с магнитным полем Земли.

### **Магнитное поле Земли**

Естественное электромагнитное поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности, его напряженность на открытой местности обычно находится в диапазоне от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличивать напряженность этого поля до десятков сотен кВ/м.

Геомагнитное поле Земли состоит из основного (постоянного) поля (его вклад  $\approx 99 \%$ ) и переменного поля (его вклад  $\approx 1 \%$ ). Существование постоянного магнитного поля объясняют процессами, протекающими в жидком металлическом ядре Земли. Оно ориентировано относительно магнитных полюсов планеты, не совпадающих с географическими полюсами планеты. Напряженность геомагнитного поля Земли убывает от магнитных полюсов ( $55,7 \text{ А/м}$ ) к магнитному экватору ( $33,4 \text{ А/м}$ ). В средних широтах его напряженность равна примерно  $40 \text{ А/м}$ , ( $1 \text{ мкТл} = 1,25 \text{ А/м}$ ). Основное магнитное поле испытывает лишь медленные вековые изменения. Естественный геомагнитный фон Земли составляет  $30\text{--}60 \text{ мкТл}$ .

Энергия магнитного поля Земли весьма значительна из-за ее размеров. Наша планета имеет примерно такое же магнитное поле, каким обладает высококачественный стальной шарообразный магнит диа-

метром 600 км. Для создания такого потока магнитной индукции, каким обладает Земля, необходимо охватить земной шар по экватору проводником и пропускать по нему электрический ток величиной в 600 миллионов ампер [7].

Человеческое тело также излучает электромагнитные поля с частотой выше 300 ГГц с плотностью потока энергии порядка  $0,003 \text{ Вт/м}^2$ . Если общая площадь поверхности среднего человеческого тела –  $1,8 \text{ м}^2$ , то общая излучаемая энергия – приблизительно  $0,0054 \text{ Вт}$ .

Область околоземного пространства, физические свойства, размеры и форма которой определяются магнитным полем Земли и его взаимодействием с потоками заряженных частиц от Солнца (солнечным ветром), называют магнитосферой [22].

Магнитосфера Земли обладает собственным магнитным полем.

Во внутренних областях магнитосферы магнитное поле удерживает потоки быстрых частиц с энергией в сотни КэВ и выше. Эти частицы образуют радиационные пояса Земли. Таким образом, магнитное поле Земли является магнитным экраном, который препятствует проникновению в биосферу заряженных космических частиц.

Заряженные космические частицы образуются в момент появления на Солнце темных пятен с последующими вспышками. Образующийся поток плазмы и излучения – электромагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового – летит в сторону Земли со скоростью 1000 км/сек. Через три-четыре дня он достигает Земли. Магнитное поле Земли принимает на себя удар заряженных частиц. Именно это и называют «возмущенным геомагнитным фоном». В геомагнитном поле возникают электромагнитные волны низкой частоты – 1,5, 10 Гц.

Резкое возрастание плотности энергии в солнечном ветре приводит к магнитосферным бурям.

**Магнитные бури** – резкие, неправильной формы колебания магнитного поля Земли. Они начинаются на всем земном шаре и имеют тенденцию к повторению через 27 суток. Поле изменяется по значению и направлению на несколько процентов за время от нескольких часов до нескольких суток (обычно магнитная буря продолжается от 6 до 12 часов). После окончания магнитосферной бури элементы земного магнетизма постепенно возвращаются к своим нормальным значениям. Число и интенсивность магнитных бурь различны в разные годы. Периоды максимума бурь повторяются с интервалом примерно в 11,5 лет. Магнитные бури сопровождаются появлением в верхней атмосфере полярных сияний, ионосферных возмущений, рентгеновского

и низкочастотного излучений, возрастанием потока частиц в радиационных поясах, искажением магнитного поля Земли [22].

На действие магнитных бурь люди реагируют по-разному. Их можно классифицировать по следующим группам.

К первой группе относятся те, у которых амплитуда биопотенциала головного мозга изменяется за три-четыре дня до наступления магнитной бури.

Ко второй – реагирующие за сутки.

К третьей – в момент самой бури.

К четвертой – по прошествию после бури.

К пятой (10–15 % наблюдаемых) – люди, на состоянии биопотенциала которых магнитная буря не отразилась.

Магнитное поле действует на весь организм сразу в целом: от тела и органа до клетки и отдельных ее молекул и атомов.

Электромагнитные волны низких частот действуют на биоритмы человека. Например, по данным болгарских ученых, артериальное давление в эти дни подсакивает в среднем на 10–13 %. Электромагнитные волны способны изменять вязкость крови. Кровь становится гуще, а значит, медленнее течет по сосудам, особенно тоненьким сосудам головного мозга. Клетки хуже снабжаются кислородом. При этом возникают головные боли, мигрени, быстрая и беспричинная усталость, вялость, сонливость и т. д.

По данным медицинской статистики, в дни геомагнитных бурь число приступов по поводу инфарктов, инсультов, кризов на 30 % больше, чем в случае спокойного геомагнитного поля. По причине инфаркта миокарда 70 % всех смертей приходится на недельные интервалы, в пределах которых наблюдались бури, и только 30 % – на периоды спокойного магнитного поля Земли.

**Атмосферное электричество.** Среда обитания человека подвергается воздействию не только электромагнитного, солнечного и космического излучения, но и пронизана статическим электричеством. Понятие «атмосферное электричество» объединяет совокупность электрических процессов, происходящих в атмосфере.

Существуют два вида электричества: положительное и отрицательное.

В атмосфере всегда присутствует электрическое поле. Все осадки, облака, пыль и туманы в атмосфере всегда заряжены в той или иной степени. Районы пыльных бурь, гроз, осадков имеют более сильные электрические поля, чем районы с хорошей погодой, где присутствует

стационарное электрическое поле с напряженностью, равной примерно 130 В/м. Наибольшее значение напряженности наблюдается в средних широтах, а к полюсам и к экватору значение напряженности уменьшается.

В целом атмосфера заряжена положительно, а Земля имеет отрицательный заряд, примерно равный  $3 \cdot 10^5$  Кл. Средняя поверхностная плотность электрического заряда Земли равна  $1,15 \cdot 10^{-13}$  Кл/см<sup>2</sup>. Эти значения рассчитаны в предположении, что средний вертикальный градиент электрического потенциала земной поверхности составляет 130 В/м [22].

Источниками атмосферного электричества в локальных областях являются извергающиеся вулканы, торнадо, метели, пылевые бури, водопады и морские волны, облака, осадки, паровые и дымовые образования природного и техногенного происхождения и т. д. При этом электризация атмосферы происходит весьма бурно, что приводит к возникновению грозových явлений. Наибольший вклад в электризацию атмосферы вносят облака и осадки. В нижней области облака находятся отрицательные заряды, а верхние области облака заряжены положительно. В грозových облаках имеются экстремумы напряженности электрического поля и плотности объемных зарядов, величина которых на порядок превышает средние значения этих параметров. В зонах экстремумов напряженности электрического поля зарождаются молнии.

**Молнии** представляют собой искровой разряд между изолированными друг от друга частицами воздуха. Молнии бывают линейными, четочными и шаровыми [7]. Среди линейных молний различают наземные (ударяющие в Землю) и внутриоблачные. Средняя длина разрядов достигает нескольких километров. Внутриоблачные молнии могут достигать 50–150 км. При наземных молниях импульсное значение тока может достигать от 20 до 500 кВ. Внутриоблачные молнии сопровождаются разрядами с токами порядка 5–15 кА. При молниевых разрядах возникают значительные электромагнитные помехи в широком диапазоне частот \* [22].

**Четочные молнии** состоят из светящихся пятен-четок, разделенных темными промежутками.

---

\* Искровой разряд в молнии характеризуется следующими примерными значениями величин: разность потенциалов между облаком и Землей  $10^8$  В, сила тока в молнии  $10^5$  А, продолжительность молнии  $10^{-6}$  с, диаметр светящегося канала 10–20 см.

**Шаровые молнии** представляют собой светящиеся образования овальной формы с диаметром примерно 10–20 см. Удельная плотность шаровых молний примерно равна плотности воздуха – они парят в воздухе; чаще возникают в облаках, чем у поверхности Земли. Продолжительность жизни шаровой молнии – от нескольких до десятков секунд. Шаровые молнии обладают значительными удельными энергиями, достигающими  $10^6$ – $10^7$  Дж/г.

Все виды молний имеют вредное, а иногда опасное воздействие на различные объекты и человека.

**Огни Эльма.** При напряженности электрического поля более 500–1000 В/м у поверхности Земли в атмосфере возникает свечение, впервые увиденное в районе выступающих острых частей собора святого Эльма и получившее название огни Эльма. При этих значениях напряженности электрического поля начинается электрический разряд с острых, вытянутых вверх конструкций и предметов (труб, куполов, мачт и т. п.), который сопровождается характерным шумом.

При дальнейшем увеличении напряженности электрического поля свечение усиливается с переходом в коронную форму. Проявление огней Эльма наиболее эффективно ночью в горах или на море. На очень высоких конструкциях, например радио- и телемачтах, ток короны может превышать 10 мА при напряжении  $10^6$  В. При этом возникают существенные радиопомехи. На острых предметах величина напряженности электрического поля резко возрастает, что приводит к усилению ионизационных процессов в атмосфере. При столкновительных и рекомбинационных процессах возникает спонтанное излучение взаимодействующих частиц атмосферы [7].

В процессе эволюционного развития живые организмы в определенной степени адаптировались к естественному фону электромагнитных полей. Живые организмы и человечество буквально купаются в океане электромагнитных волн. Однако вследствие научно-технического прогресса электромагнитный фон Земли в настоящее время не только увеличился, но и претерпел качественные изменения. Появились электромагнитные излучения таких длин волн, которые имеют искусственное происхождение в результате техногенной деятельности (например, миллиметровый диапазон длин волн и др.)

Миллиметровое излучение внеземного происхождения интенсивно поглощается атмосферой Земли, поэтому живые организмы не адаптированы к этим волнам.

В настоящее время электромагнитный фон Земли особенно возрос в зонах с высокоразвитой наукоёмкой промышленностью.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ

На практике при характеристике электромагнитной обстановки используются термины «электрическое поле», «магнитное поле».

### **Электромагнитное поле**

Термин «электромагнитное поле» (ЭМП) используется для обозначения электрических и магнитных полей. Каждое из них имеет свои собственные характеристики, хотя они и считаются неразделимыми, поскольку одно из них создает второе [4].

В целом ЭМП определяется как пространство, в котором присутствует энергия.

### **Электрическое поле**

Наш обычный опыт наблюдения электрического поля – это статическое электричество. Достаточно в синтетической одежде коснуться металлического предмета, чтобы получить удар электрического тока.

Статическим это электричество называется потому, что электроны просто переместились из одного места в другое, а не движутся в виде электрического тока. В статическом поле положительные и отрицательные заряды разделены некоторым расстоянием.

Электрические поля существуют всегда, когда присутствуют электрические заряды и используются электроприборы.

Направленный поток электронов называется электрическим током. Постоянный ток представляет собой направленное движение электронов во времени ( $- \rightarrow +$ ). Переменный ток является потоком электронов, который с определенной частотой меняет направление движения на противоположное ( $\leftrightarrow$ ). Переменный ток можно проиллюстрировать примером стандартной в России сети электропитания с частотой 50 Гц. Это означает, что ток и напряжение меняют направление 100 раз в секунду – т. е. совершает 50 полных циклов колебаний за одну секунду.

### **Магнитное поле**

При переменном токе, когда электроны меняют направление своего движения, формируется мощное магнитное поле, которое меняется с той же частотой, что и ток.

Магнитное поле (МП) возникает во всех случаях, когда по проводнику протекает электрический ток. Все магнитные поля располагаются в пространстве перпендикулярно электрическому току.

Если ток постоянный, то и магнитное поле будет постоянным, как у постоянного магнита. Если ток переменный, то и магнитное поле будет изменяться с той же частотой, что и электрическое – т. е. образуется электромагнитное поле, содержащее и то и другое поле.

Все электромагнитные поля описываются длиной волны ( $\lambda$ ) и распространяются со скоростью света – примерно 300 тысяч километров в час. Источник, генерирующий излучение, а по сути создающий электромагнитные колебания, характеризуется понятием «частота».

Магнитные поля характеризуются плотностью магнитного потока. Плотность магнитного потока измеряется в теслах (Тл) или гауссах (Гс). Часто эти величины выражают в микротеслах (мкТл) или в миллигауссах (мГс) ( $1 \text{ мкТл} = 10 \text{ мГс}$ ).

**Спектр электромагнитных излучений**, освоенный человечеством в настоящее время, представляется необычайно широким, простирающимся от сверхдлинных волн 3–30 Гц (несколько тысяч метров и более) до коротковолнового  $\gamma$ -излучения (с длиной волны менее  $10^{-12}$  см) [7].

В настоящее время известно, что радиоволны, свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, рентгеновские лучи и гамма-излучение – все это волны одной (электромагнитной) природы, отличающиеся длиной.

Шкала электромагнитных волн для различных диапазонов частот представлена в табл. 9.1.

Таблица 9.1

### Шкала электромагнитных волн

Наименование волнового диапазона	Диапазон частот	Диапазоны длин волн
№ 1. Декаметровые волны (крайне низкие – КНЧ)	3–30 Гц	100–10 Мм
№ 2. Метровые волны (сверхнизкие – СНЧ)	30–300 Гц	10–1 Мм
№ 3. Гектокилометровые волны (инфранизкие – ИНЧ)	0,3–3 КГц	1000–100 км
№ 4. Мириаметровые волны (очень низкие – ОНЧ)	3–30 КГц	100–10 км
№ 5. Километровые волны (НЧ – низкие частоты)	30–300 КГц	10–1 км
№ 6. Гектометровые волны (СЧ – средние частоты)	300–3000 КГц	1–0,1 км
№ 7. Декаметровые волны (ВЧ – высокие частоты)	3–30 МГц	100–10 м
№ 8. Метровые волны (ОВЧ – очень высокие частоты)	30–300 МГц	10–1 м

Окончание табл. 9.1

Наименование волнового диапазона	Диапазон частот	Диапазоны длин волн
№ 9. Дециметровые волны (УВЧ – ультра-высокие частоты)	300–3000 МГц	1–0,1 м
№ 10. Сантиметровые волны (СВЧ – сверхвысокие частоты)	3–30 ГГц	0,1 м – 1 см
№ 11. Миллиметровые волны (КВЧ – крайневые частоты)	30–300 ГГц	1 см – 1 мм
Субмиллиметровые волны	300–3000 ГГц	1 мм – 0,1 мм
Инфракрасное излучение (ИК-диапазон)	3000 ГГц – $4,3 \cdot 10^{14}$ ГГц	0,1 мм – 0,76 мкм
Видимый диапазон	$4,3 \cdot 10^{14}$ ГГц – $7,5 \cdot 10^{14}$ ГГц	0,76–0,38 мкм
Ультрафиолетовое излучение (УФ-диапазон)	$7,5 \cdot 10^{14}$ – $3 \cdot 10^{16}$ ГГц	0,38 мкм – 100 Å
Рентгеновский диапазон	$3 \cdot 10^{16}$ – $3 \cdot 10^{19}$ ГГц	100 Å $\approx$ 0,1 Å
$\gamma$ -излучение	$3 \cdot 10^{19}$ – $3 \cdot 10^{21}$ ГГц	$\approx$ 0,1 Å – 0,001 Å
Космические лучи		

В соответствии с Регламентом радиосвязи, принятым Международным консультативным комитетом радиосвязи (МККР), к радиодиапазону относятся поддиапазоны 5–11. Поддиапазоны 1–4 относятся к промышленным частотам [7].

Интенсивность электромагнитных излучений оценивается:

- в диапазоне крайне низких частот (3–30 Гц) и сверхнизких частот (30 Гц – 30 КГц) значениями магнитной индукции (В, Тл), (длины волн 100 Мм – 10 км); поддиапазоны 1–4;
- в диапазоне частот 30 КГц – 300 МГц значениями напряженности электрического поля (Е, В/м) и плотности магнитного (Н, А/м) поля (диапазон длин волн 10 км ÷ 1 м); поддиапазоны 5–8;
- в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц значениями плотности потока энергии (ППЭ, Вт/м<sup>2</sup> или МкВт/см<sup>2</sup>) (длины волн 1 м ÷ 1 мм); поддиапазоны 9–11.

К видимому диапазону относятся колебания с длинами волн 0,76–0,38 мкм. Видимый диапазон составляет небольшую часть оптического диапазона. Спектр видимого диапазона: 0,76 мкм – темно-красный;



0,64 мкм – красный; 0,60 мкм – оранжевый; 0,5 – желтый; 0,4 мкм – голубой; 0,38 – фиолетовый.

Несмотря на единую электромагнитную природу, каждый диапазон отличается техникой генерации, измерений, областью применения.

В табл. 9.2 приведены некоторые техногенные источники ЭМП, работающие в различных диапазонах электромагнитного спектра. Из представленных данных видно, сколь широк спектр освоенных электромагнитных излучений [7].

Таблица 9.2

### Некоторые техногенные источники ЭМП

Название	Диапазон частот
Радиотехнические объекты	30 кГц – 30 МГц
Радиопередающие станции	30 кГц – 300 МГц
Радиолокационные и радионавигационные станции	СВЧ-диапазон (300 МГц – 300 ГГц)
Телевизионные станции	30 МГц – 3 ГГц
Плазменные установки	Видимый, ИК-, УФ-диапазоны
Термические установки	Видимый, ИК-диапазон
Высоковольтные линии электропередач	Промышленные частоты, статическое электричество
Электротранспорт (трамваи, троллейбусы, метрополитен)	16,7 Гц
Рентгеновские установки	Жесткий УФ, рентгеновский диапазон, видимое свечение
Лазеры	Оптический диапазон
Мазеры	СВЧ-диапазон
Технологические установки	ВЧ, СВЧ, ИК, УФ, видимый, рентгеновский диапазоны
Ядерные реакторы	Рентгеновское и $\gamma$ -излучение, ИК-, видимое и т. п.
Источники ЭМП специального назначения (наземные, водные, подводные, воздушные), применяемые в радиоэлектронном противодействии	Радиоволны, оптический диапазон, акустические волны (комбинированность действия)

## ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ГОРОДЕ

К основным источникам ЭМП антропогенного происхождения относятся телевизионные и радиолокационные станции, мощные радиотехнические объекты, промышленное технологическое оборудование, высоковольтные линии электропередач промышленной частоты, термические цеха, плазменные, лазерные и рентгеновские установки, атомные и ядерные реакторы и т. п.

За последние годы в городах количество разнообразных источников ЭМП во всем частотном диапазоне (вплоть до десятков гигагерц) резко увеличивается. К этим источникам относятся системы сотовой связи, неисчислимое количество систем мобильной связи, радары ГАИ, электротранспорт, кабельные сети, проложенные под землей, и т. д. Напряженность ЭМП искусственных источников в десятки, сотни и тысячи раз превышает естественный электромагнитный фон.

В городах выявлены крупные зоны с блуждающими кольцевыми электрическими токами и полями. Суточные колебания искусственно-го ЭМП изменяют электромагнитную обстановку в биосфере в целом.

Неоднородность электромагнитного или переменного полей заключается в том, что в некоторых районах, на улицах или проспектах их фон меняется в пять-семь раз и более. Причинами этого являются различный рельеф местности, неоднородные застройки, мощность генерирующих источников. Передвигаясь по улицам города, человек в течение короткого времени попадает в зоны с разной напряженностью поля, а это значит, что каждый раз должны срабатывать механизмы адаптации. Очевидно, что такой режим не естественен для человека, а следовательно, опасен.

Неоднородность распространения уровня ЭВМ имеет место как в городах, так и возле источников ЭМП. Уровень ЭВМ в городах снижается по мере удаления от центра города к его окрестностям, а уровень ЭМП от источника снижается в зависимости от его дальности.

Электромагнитный фон в городских условиях имеет выраженный временной максимум от 10 до 22 часов, причем в суточном распределении наибольший динамический диапазон изменения фона приходится на зимнее время, а наименьший – на лето.

В городах электромагнитный фон существенно меняют линии электропередач, телевизионные и радиопередающие станции, электротранспорт и др.

В связи с этим несомненный научный и практический интерес представляют результаты исследований, проведенных в г. Бирмингеме (Великобритания) группой Х. Долк из Лондонского института гигиены и тропической медицины [14].

Телевизионная башня в Бирмингеме ведет вещание на восьми телевизионных каналах общей мощностью передатчиков 1000 кВт и на трех радиоканалах в диапазоне УКВ(ЕМ) мощностью 250 кВт. Мачта высотой 240 м расположена на расстоянии 200 м от жилого комплекса. Всего в радиусе 10 км от башни проживают 400 тыс. человек.

Британские исследователи разделили километровую зону вокруг башни на 10 concentрических колец и изучили медицинскую статистику по заболеваниям всеми формами рака с 1974 по 1986 г. Результаты обследования свидетельствуют о том, что полукилометровая зона вокруг башни оказалась в буквальном смысле слова смертельной. Здесь болели лейкемией почти в 10 раз чаще, чем за пределами этой зоны. На расстоянии 1–3 км от телевизионной башни жители подвергались риску заболеть в 1,5–2,5 раза чаще, чем население этого района. Лишь на расстоянии более 6 км от башни смертельное влияние ее прекращалось.

Максимальные уровни излучения, зарегистрированные вблизи поверхности земли около телебашни, составили 1,3 МкВт/см<sup>2</sup> для телевизионного сигнала и 5 МкВт/см<sup>2</sup> для радиосигнала FM.

**Электротранспорт** – транспорт на электрической тяге – электропоезда, поезда метрополитена, троллейбусы, трамваи и т. п. – относительно мощный источник магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц.

Уровни магнитных полей (по Д.М. Шевель) в электротранспорте зависят от режима эксплуатации. Значения магнитной индукции в диапазоне 0,01–50 Гц для режимов разгона и торможения составляют: в кабинах водителей троллейбусов – 48–325 мкТл; в кабинах водителей трамваев – 160–220 мкТл [23].

Плотность потока магнитной индукции в пригородных поездах достигает 75 мкТл при среднем значении 20 мкТл. Среднее значение потока магнитной индукции на транспорте с электроприводом постоянного тока зафиксировано на уровне 29 мкТл. Уровни магнитного поля, генерируемого железнодорожным транспортом на удалении 12 м от полотна, изменялись от 0,25 до 2,5 мкТл.

## ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Наибольший вклад в электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне частоты 50 Гц вносит электротехническое оборудование [24].

**Бытовые электроприборы**, т. е. приборы, работающие с использованием электрического поля, являются источниками электромагнитных полей. Наиболее мощным следует признать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «без инея», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа.

Например, средние уровни магнитного поля промышленной частоты бытовых электроприборов на расстоянии 0,3 м составляют: холодильник –  $0,2 \div 2,5$  мкТл, телевизор –  $0,1 \div 2,0$  мкТл, стиральная машина –  $0,1 \div 1,5$  мкТл, микроволновая печь –  $4 \div 8$  мкТл, электрическая плита –  $0,4 \div 4,5$  мкТл.

В качестве примера рассмотрим, как работает микроволновая печь.

В бытовых микроволновых печах используются микроволны, частота которых составляет 2450 МГц. Длина волны микроволнового излучения данной частоты 12,25 см [23].

Источником микроволнового излучения в печи является высоковольтный вакуумный прибор – магнетрон. К нити начала магнетотрона подают высокое напряжение (порядка 3–4 кВ) через специальный высоковольтный трансформатор. Порожденные магнетроном микроволны поступают в полость печи по волноводу – каналу с металлическими стенками, отражающими СВЧ-излучение.

Помещенные в микроволновую печь продукты питания (овощи, мясо, рыба и т. д.) содержат миллионы дипольных молекул. В отсутствие электрического поля молекулы расположены хаотично. В электрическом поле они выстраиваются строго по направлению силовых линий поля, «плюсом» в одну сторону, «минусом» в другую. Стоит полю поменять направление на противоположное, как молекулы тут же поворачиваются на  $180^\circ$ .

При частоте микроволн 2450 МГц молекулы меняют полярность 4900 миллионов раз в секунду. При переворотах молекулы трутся одна о другую, выделяется тепло, что и служит причиной разогрева пищи.

Современные микроволновые печи оборудованы достаточно надежной защитой, которая не дает электромагнитному полю вырваться

ся за пределы рабочего объема. Вместе с тем нельзя утверждать, что поле совершенно не проникает за пределы микроволновой печи. По разным причинам часть электромагнитного поля, предназначенного для приготовления пищи проникает наружу особенно интенсивно, как правило, в районе правого нижнего угла дверцы.

Кроме СВЧ-излучения работу микроволновой печи сопровождает интенсивное магнитное поле, создаваемое током промышленной частоты 50 Гц, протекающим в системе электропитания печи [24]. При этом микроволновая печь является одним из наиболее мощных источников магнитного поля в квартире. В бытовых условиях однократное кратковременное включение (на несколько минут) не окажет существенного влияния на здоровье человека. Однако сейчас часто бытовая микроволновая печь используется для разогрева пищи в кафе и в сходных других производственных условиях. При этом работающий с ней человек попадает в ситуацию хронического облучения магнитным полем промышленной частоты. В таком случае на рабочем месте необходим обязательный контроль магнитного поля промышленной частоты и СВЧ-излучения ПДУ для потребления СВЧ-печи 10 мкВт/см<sup>2</sup>.

В табл. 9.3 представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл, при работе ряда бытовых приборов [21].

Таблица 9.3

**Распространение магнитного поля промышленной частоты от бытовых электрических приборов (выше уровня 0,2 мкТл)**

Источник	Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл
Холодильник, оснащенный системой «No frost» (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы; 1,4 м от задней стенки
Холодильник обычный (во время работы компрессора)	0,1 м от мотора
Утюг (режим нагрева)	0,25 м от ручки
Телевизор 14"	1,1 м от экрана; 1,2 м от боковой стенки
Торшер с двумя лампами по 75 Вт	0,03 м от провода
Электродуховка	0,4 м от передней стенки
Аэрогриль	1,4 м от боковой стенки

**Сотовая радиотелефонная связь** (радиотелефония) является сегодня одной из наиболее интенсивно развивающихся телекоммуникационных систем.

Она состоит из сети базовых станций и ручных персональных радиотелефонов. Базовые станции расположены на расстоянии от 1 до 40 км друг от друга, образуя между собой так называемые соты посредством радиорелейной связи. Базовые станции обеспечивают связь с персональными наручными радиотелефонами на частотах 450, 800, 900, 1800 МГц. Частота и вид модуляции зависят от типа систем сотовой связи.

Некоторые технические характеристики действующих в настоящее время в России стандартов системы сотовой радиосвязи приведены в табл. 9.4 [23].

Таблица 9.4

**Краткие технические характеристики стандартов системы сотовой радиосвязи, действующих в России**

Наименование стандарта	Диапазон рабочих частот БС	Диапазон рабочих частот МРТ	Максимальная излучаемая мощность БС	Максимальная излучаемая мощность МРТ	Радиус «соты», км
NMT-450 аналоговый	463–467,5 МГц	453–457,5 МГц	100 Вт	1 Вт	1–40
AMPS аналоговый	869–894 МГц	824–849 МГц	100 Вт	0,6 Вт	2–20
D-AMPS (IS-136) цифровой	869–894 МГц	824–849 МГц	50 Вт	0,2 Вт	0,5–20
CDMA цифровой	869–894 МГц	824–849 МГц	100 Вт	0,6 Вт	2–40
GSM-900 цифровой	925–965 МГц	890–915 МГц	40 Вт	0,25 Вт	0,5–35
GSM-1800 (DCS) цифровой	1805–1880 МГц	1710–1785 МГц	20 Вт	0,125 Вт	0,5–35

Антенны базовых станций устанавливаются на высоте 15–20 м от поверхности земли. Чаще всего они устанавливаются на крышах зданий.

По существующему в ЕЭС ограничению облучение населения от основного лепестка базовой станции не должно происходить в радиусе 58 м.

В случаях, когда антенна базовой станции установлена на жилом доме, необходим обязательный контроль электромагнитной обстановки.

Индивидуальные мобильные средства связи делятся на ручные телефоны и телефоны, установленные на автомобилях.

Антенны автомобильных средств мобильной связи устанавливаются на разных плоскостях автомобилей. С учетом повышенной мощности передатчиков уровня ЭМП могут быть повышенными. В связи с этим необходим тщательный выбор места установки антенны [24]. Например, установка антенны вблизи заднего стекла автомобиля для передатчика 2,5 Вт может дать двух-трехкратное превышение ПДУ на заднем сидении [4].

Область облучения во время работы радиотелефона – прежде всего головной мозг и периферические рецепторы вестибулярного, зрительного анализаторов. При использовании сотовых телефонов с несущей частотой 450–900 МГц длина волны излучения незначительно превышает линейные размеры головы человека (1–0,1 м). В этом случае излучение поглощается неравномерно и могут образоваться так называемые горячие точки, особенно в центре головы. Расчеты поглощенной энергии электромагнитного поля в мозге человека показывают, что при использовании радиотелефона мощностью 0,6 Вт с рабочей частотой 900 МГц удельная энергия поля в головном мозге составляет от 120 до 230 мкВт/см<sup>2</sup> (ПДУ в России для пользователей сотовых телефонов 100 мкВт/см<sup>2</sup>).

Излучение сотового телефона носит сложномодулированный характер. Одна из составляющих сигнала всех телефонов – низкочастотная (например, у системы GSM/DCS-1800 она равна 2 Гц). Но именно низкие частоты соответствуют ритмам мозга, которые по интенсивности превышают другие ритмы электрической активности здорового человека. Доказано, что модулированные ЭМП могут избирательно подавлять или усиливать эти биоритмы.

Наиболее распространенные недуги, вызываемые мобильными телефонами, – это сильные головные боли, звон в ушах, чувство жара на коже лица.

По мнению ученых Австралии, Канады, Норвегии, пользование мобильным телефоном способствует возникновению злокачественных опухолей головного мозга.

Российский национальный комитет по защите от ионизирующего излучения при использовании населением сотовых телефонов рекомендует:

- не использовать сотовые телефоны детям и подросткам до 16 лет;
- не использовать сотовые телефоны беременным, начиная с момента установления факта беременности и в течение всего периода беременности;
- не использовать сотовый телефон лицам, страдающим заболеваниями неврологического характера, включая неврастению, психопатию, психостению, неврозы и т. д.;
- ограничивать продолжительность разговоров (продолжительность однократного разговора – до 3 минут), максимально увеличить период между двумя разговорами (минимально рекомендованный – 15 минут), преимущественно использовать телефоны с гарнитурами и системами «свободные руки» (hands free), которые защищают головной мозг. Использование этих систем очень важно для водителей автомобилей.

Посторонние беседы по телефону сильно отвлекают водителя, и кроме того, излучение мобильного телефона оказывает мощное негативное воздействие на его мозг и зрение. Ведь металлическая крыша автомобиля является серьезным препятствием для поступления сигнала на сотовый телефон, что автоматически вызывает повышение мощности передатчика в 2–5 раз. При этом значительно превышает предельно безопасного уровня электромагнитного излучения.

### **Персональные электронно-вычислительные машины (ПЭВМ)**

Основные источники неблагоприятного воздействия на здоровье пользователя ПЭВМ:

- *эргономические параметры экрана монитора* (снижение контраста изображения, зеркальные блики, мерцания изображения на экране монитора);
- *излучательные характеристики монитора, процессора и внешних источников ЭМП на рабочем месте пользователя.*

Излучательные характеристики ЭМП на рабочем месте пользования ЭМП ПЭВМ формируются как за счет излучательных характеристик ПЭВМ (табл. 9.5), так и за счет внешних источников (табл. 9.6) [25].



Таблица 9.5

**Излучательные характеристики частот ПЭВМ**

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
Монитор:	
– сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
– статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20–100 КГц
– блок кадровой развертки и синхронизации	48–160 Гц
– блок строчной развертки и синхронизации	15–110 КГц
ЖК монитор Samsung:	0 Гц (электростатика)
– блок кадровой развертки	56–75 Гц
– блок строчной развертки	30–81 Гц
Системный блок (процессор)	50 Гц – 100 МГц
Устройства ввода, вывода информации	0 Гц, 50 Гц – 200 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20–100 КГц

Таблица 9.6

**Внешние источники ЭМП на рабочем месте пользователя ПЭВМ**

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
ЛЭП	50 Гц
Трансформаторные подстанции	50 Гц
Распределительные щиты	50 Гц
Электропроводка	50 Гц
Бытовые и конторские электроприборы	50 Гц
Телевизоры	0–15,6 КГц
Радиостанции ДВ	30–300 КГц
Соседние ПЭВМ	0–1000 МГц

Дополнительный источник переменного ЭМП на рабочем месте – незаземленный сетевой блок питания. Если к розетке не подведен провод заземления, то входной фильтр подает на корпус компьютера половину сетевого напряжения. Напряжение на корпусе незаземленного системного блока в этом случае может превышать 100 В. При этом вокруг системного блока и связанных с ним дисплея, клавиатуры, принтера и других устройств формируется зона низкочастотного (50 Гц) ЭМП.

Электромагнитное поле, создаваемое ПЭВМ, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 до 1000 МГц. Электромагнитное поле имеет электрическую (Е) и магнитную (Н) составляющие, причем взаимосвязь их достаточно сложна, поэтому оценка Е и Н производится раздельно.

При работе монитора на экране кинескопа накапливается электростатический заряд, создающий электростатическое поле (ЭСтП). При этом люди, работающие с монитором, приобретают электростатический потенциал. Когда ЭСтП субъективно ощущается, потенциал пользователя служит решающим фактором при возникновении неприятных субъективных ощущений.

Заметный вклад в общее электростатическое поле вносят электризующиеся от трения поверхности клавиатуры и мыши.

Воздух в помещениях с вычислительной техникой насыщен положительно заряженными ионами кислорода, что приводит к ухудшению здоровья, гипоксии, повышению вероятности сердечно-сосудистых заболеваний.

Проблема здоровья операторов компьютеров настолько серьезна, что Европейское экономическое сообщество в 1992 г. выпустило директиву № 86/054/ЕЕС, в которой указано, что пользователь ПЭВМ должен быть информирован о возможном вреде здоровью и соблюдать необходимые меры безопасности. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определила исследование биологического действия низкочастотных ЭМП от дисплеев как приоритетное направление. В США проблема защиты пользователя от электромагнитного излучения признана национальной.

В соответствии с СанПиН 2.4.1340-03 [25] женщины со времени установления беременности и в период кормления ребенка грудью к выполнению всех видов работ, связанных с использованием ПЭВМ, не допускаются.

## **БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Живые организмы постоянно находятся в сфере влияния естественных ЭМП, более того, они функционируют на основе действия очень слабых биоэлектрических токов и потенциалов (нано- и пикотесла). Жизнь можно определить как организованную на электромагнитном уровне материю, которая создает, накапливает и распространяет информацию.

Влияние природных ЭМП на живые существа двояко: с одной стороны, они являются синхронизаторами биологических ритмов организма, в том числе и человека, с другой стороны, в периоды беспокойного Солнца, когда его излучение может увеличиваться в 1000 раз и более, у ослабленных людей, например, могут обостряться сердечно-сосудистые заболевания, возрастает число инфарктов.

Влияние искусственных ЭМП на человеческий организм может быть также как полезным (лечебным), так и вредным. Лечебное воздействие ЭМП используется в гипертермии, лазерной хирургии, физиотерапии, диатермии и т. д. Полезное действие ЭМП используется в медицинской диагностике [7].

Взаимодействие ЭМП с биологическим объектом определяется:

- параметрами излучения (частотой или длиной волны, когерентностью колебания, скоростью распространения, поляризацией волны);
- физическими и биохимическими свойствами биологического объекта как среды распространения ЭМП (диэлектрической проницаемостью, электрической проводимостью, глубиной проникновения, коэффициентом отражения от границы между воздухом и тканью).

При взаимодействии ЭМВ с биологическим объектом существенную роль при этом играют резонансные явления, которые могут возникать при совпадении частот облучающего поля с частотами энергетических уровней молекул среды\*.

Проникновение ЭМП в ткань зависит от длины волны. Например, при длине волны ЭМП, равной 10 см (частота колебаний в ГГц), глубина проникновения в мышечную ткань и кожу составляет 15 см. При длине волны 8 мм ( $\nu \approx 37,4$  ГГц) величина проникновения составляет 0,3 мм. Наблюдается резкая зависимость глубины проникновения от частот (или длины волны). Тенденция уменьшения глубины проникновения от увеличения длины волны происходит до тех пор, пока частота колебания в среде существенно превосходит размеры клеток или входящих в них органелл. На очень высоких частотах проницаемость тканей для ЭМП снова начинает увеличиваться. Жесткое рентгеновское и  $\gamma$ -излучения проходят мягкие ткани без ослабления. При анализе взаимодействия ЭМП с биологическим объектом разделяют излучения на ионизирующие и неионизирующие. К ионизирующим излучениям относят УФ-, рентгеновское и  $\gamma$ -излучения. Квант энергии этих излуче-

---

\* Резонанс – это сильное возрастание амплитуды колебания, когда частоты собственных колебаний совпадают с частотами среды.

ний достаточен для разрыва межмолекулярных связей и для ионизации атома. Более длинноволновое излучение (например, СВЧ-, миллиметровые или субмиллиметровые волны) относится к неионизирующим излучениям [7].

Воздействие ЭВМ на биологические объекты можно условно разделить на две группы: энергетическое и информационное.

**Энергетическое воздействие** заключается в переходе поглощенной электромагнитной волны в тепло биоткани. Примером энергетического воздействия ЭМП на биологический объект является гипертермия – полезное использование ЭМП для лечения. В онкологических клиниках используют СВЧ-гипертермию. Сфокусированное излучение на одной частоте локально нагревает опухоль до 42–45 °С, что служит дополнительным лечебным фактором наряду с химиотерапией [7].

К **информационному воздействию** ЭМП на биологический объект относится тот случай, когда падающее излучение низкой интенсивности не вызывает нагрева ткани, но эффект оказывается значительным. При этом говорят об информационном или управляющем действии ЭМП.

При информационном характере действия ЭМП изменяются характер и скорость передачи информации внутри организма, процесс формирования условных рефлексов, количество ключевых ферментов энергетического обмена и т. д.

Этим свойством, в частности, обладают миллиметровые волны малой интенсивности, равной долям или единицам милливатт на 1 см<sup>2</sup> облучаемой ткани.

Интерес к диапазону миллиметровых и субмиллиметровых длин волн объясняется тем, что живые организмы не адаптированы к этим волнам, так как они сильно поглощаются верхними слоями атмосферы. Живые организмы не имеют естественных механизмов приспособления к колебаниям заметной интенсивности этих волн при внешнем воздействии.

Энергетическая оценка показывает, что миллиметровые волны могут оказывать влияние на живую клетку только при многоквантовых процессах, когда несколько когерентных квантов одновременно воздействуют на биологический объект. Однако эти волны оказывают на живую ткань значительное воздействие информационного характера, когда эффект воздействия не связан с существенным нагревом, который в рассматриваемом случае не превышает 0,1 градуса в локальной области. При взаимодействии излучения с биологическими объектами

возникают резонансные эффекты. Эти процессы имеют частотно-зависимый характер и воздействуют на единую информационно-управляющую систему биосистемы.

Аккумуляторами энергии служат полярные молекулы воды – молекулы, имеющие противоположные полюса (дипольный момент 1,84 дебай), играющие важные функции в жизнедеятельности биосистем. С другой стороны, вода является широкополосным поглотителем СВЧ-диапазона и миллиметровых волн. Слой воды толщиной 1 мм ослабляет падающее излучение длиной волны  $\lambda = 8$  мм в  $10^2$  раз, а при  $\lambda = 2$  мм – в  $10^4$  раз. Поэтому при облучении водных растворов миллиметровыми волнами наблюдается избирательный нагрев, который приводит к биологически заметным эффектам даже при малых интенсивностях падающего излучения. Кожа человека на 65 % состоит из воды, поэтому основное поглощение миллиметровых волн происходит в поверхностном слое толщиной в несколько десятых миллиметра. Несмотря на все первичные эффекты, происходящие в приповерхностном слое кожи (рецепторные клетки, нервные окончания, кровеносные сосуды, иммунокомпетентные клетки и т. п.), действие миллиметровых волн распространяется по нервным волокнам на иммунные (регуляторные) процессы всего организма.

Искусственные электромагнитные поля в любом диапазоне частот с плотностью мощности, превышающей десятки милливольт на  $1 \text{ см}^3$  облучаемой площади, вредны для организма [7].

Особенно ЭМП опасны в тех случаях, когда они аналогичны частотам биоэлектрической активности мозга, сердца и других органов человека.

Наиболее опасными для организма человека являются частоты до 1000 Гц, так как они совпадают с частотами его энергетических центров. Определены частоты поля отдельных органов. Например, для сердца это 700–800 Гц с увеличением при стенокардии до 1500 Гц, для почек – 600–700 Гц с увеличением при воспалении до 900 Гц, для печени – 300–400 Гц с увеличением при воспалении до 600 Гц [23]. Установлено, что при онкологических заболеваниях происходит изменение частот в более низкую область. Опасны частоты от 3 Гц до 40 Гц, совпадающие с частотными ритмами головного мозга: дельта-ритм имеет частоту 1–3 Гц; тета-ритм имеет частоту 4–7 Гц; альфа-ритм имеет частоту 8–12 Гц; бета-ритм лежит в пределах 13–22 Гц.

Пulsирующий свет может изменять поведение человека: 6–7 Гц могут вызвать гнев; 10 Гц обычно успокаивают (за исключением тех, кто страдает эпилепсией).

### **Действие статического электрического поля**

Статистическое электрическое поле существенно влияет на живые организмы. Земля, как известно, заряжена отрицательно относительно свободного пространства. Аэрозольные частицы и молекулы газа атмосферы заряжены, как правило, положительно. У поверхности Земли напряженность электрического поля составляет в среднем 100–130 В/м. Встречаются локальные области с повышенным значением электрического поля. На предметах, не имеющих электрического контакта с землей, накапливаются поверхностные заряды, которые при соприкосновении с заземленными предметами вызывают разряд, сопровождающийся искрой и характерным треском. Учитывая, что пробивная электрическая прочность для воздуха составляет 30 кВ/см, можно представить, какие статистические заряды накапливаются на поверхности предметов. В особенности электризуются синтетические ткани.

Разряды, возникающие при стекании статических зарядов, вызывают испуг, раздражение, могут быть причиной пожара, взрыва, травмы, порчи микроэлектронных устройств и т. п. Длительное воздействие статистических электрических полей с напряженностью поля более 1000 В/м вызывает у человека головную боль, утомленность, нарушения обмена веществ, раздражительность [7].

Разряды статического электричества наиболее опасны, если они развиваются в атмосфере горючего газа или пожаровзрывоопасных пылей.

## **ЗАЩИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

В зависимости от частоты источника ЭМП, его мощности и режима выбираются те или иные средства защиты от воздействия электромагнитных колебаний на человеческий организм.

Для оценки воздействия ЭМП на человеческий организм с целью выбора способа защиты проводится сравнение фактических уровней излучателей с нормативными.

**Нормирование ЭМП.** В качестве предельно допустимого уровня (ПДУ) облучения населения принимаются такие значения электромагнитных полей, которые при ежедневном облучении в свойственных для данного источника излучения режимах не вызывают у населения без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в со-

стоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения.

Так, в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [25] приведены временные допустимые уровни (ВДУ) ЭМП, создаваемые ПЭВМ (табл. 9.7), и временно допустимые уровни ЭМП, создаваемые на рабочих местах пользователей ПЭВМ (табл. 9.8).

Таблица 9.7

**Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ**

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Таблица 9.8

**Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах**

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

При покупке электроприборов необходимо проверять наличие у продавца гигиенического заключения (сертификата) о соответствии электроприборов санитарным нормам.

**Защита расстоянием**

Данный способ является эффективным методом защиты окружающей среды от воздействия ЭМП, включающим в себя как технические, так и организационные мероприятия. Следует особо отметить, что эффективность такой защиты определяется степенью удаления от источ-

ника ЭМП. Чем дальше находится человек от источника ЭМП, тем выше степень безопасности.

Рассмотрим несколько примеров. Так, в целях защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи (ВЛ), устанавливаются санитарные разрывы. Санитарный разрыв ВЛ устанавливается на территории вдоль трассы высоковольтной линии, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03) [26].

Для вновь проектируемых ВЛ, а также зданий и сооружений допускается принимать границы санитарных разрывов трассы ВЛ с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности электрического поля по обе стороны от нее на следующих расстояниях от проекции на землю крайних фазных проводов в направлении, перпендикулярном к ВЛ:

- 20 м – для ВЛ напряжением 330 кВ;
- 30 м – для ВЛ напряжением 500 кВ;
- 40 м – для ВЛ напряжением 750 кВ;
- 55 м – для ВЛ напряжением 1150 кВ.

На сегодняшний день многие специалисты принимают за безопасные для постоянно проживающих вблизи ЛЭП людей уровни магнитного поля менее 0,1 мкТл. Человек, возделывающий грядки под линией электропередачи напряжением 500–735 кВ, находится в зоне действия ЭМП с напряженностью электрического поля более 10 кВ/м. Гигиенические нормативы разрешают работнику находиться в зоне действия электрического поля с частотой 50 Гц и напряженностью 10 кВ/м не более 3 часов, а в поле напряженностью 20 кВ/м и выше – не более 10 минут в день. Следовательно, строить дома под высоковольтной линией не рекомендуется.

Учитывая специфику микроволновой печи, целесообразно, включив ее, отойти на расстояние не менее 1,5 метра – в этом случае электромагнитное поле вас не затронет вообще.

### **Защита временем**

Способ защиты времени состоит в том, чтобы находиться вблизи ЭМП как можно меньше времени.

1. Не пользуйтесь сотовым телефоном без необходимости, разговаривайте непрерывно не более 3–4 минут.

2. В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 определена длительность работы студентов с ПЭВМ в учреждениях высшего профессионального обра-



зования в зависимости от курса обучения, характера и сложности выполняемых занятий.

Для студентов-первокурсников оптимальное время учебных занятий при работе с ВДТ или ПЭВМ составляет 1 час, для студентов старших курсов – 2 часа с обязательным соблюдением между двумя академическими часами занятий перерыва длительностью 15–20 минут. Допускается время учебных занятий с ВДТ или ПЭВМ увеличивать для студентов первого курса до 2 часов, а для студентов старших курсов – до 3 академических часов при условии, что длительность учебных занятий в дисплейном классе (аудитории) не превышает 50 % времени непосредственной работы на ВДТ или ПЭВМ, при соблюдении профилактических мероприятий: упражнения для глаз, физкультминутка и физкультпауза.

### **Защита экранированием ЭМП**

Этот способ защиты от электромагнитных излучений использует процессы отражения и поглощения электромагнитных волн [7].

При испытаниях технологического, радиотехнического и СВЧ-оборудования часто используют полностью экранированные помещения, стены и потолок которых покрыт металлическим листом, облицованным поглощающими материалами. Такая экранировка полностью исключает проникновение электромагнитных волн в окружающую среду. Обслуживающий персонал при этом пользуется индивидуальными средствами защиты.

На открытых территориях, расположенных в зонах с повышенными уровнями ЭМП, применяются экранирующие устройства в виде железобетонных заборов, экранирующих сеток, высоких деревьев и т. п.

По принципу действия РПМ делятся на две большие группы: объемные поглотители и резонансные (интерференционные) поглотители.

В объемных поглотителях используется объемное поглощение электромагнитной энергии за счет внесения электрических или магнитных потерь. Поглощающие материалы этого типа состоят из основы и наполнителя. В качестве основы используются различные каучуки, пенопласты и другие органические связующие. В качестве наполнителей используются порошки графита, угольной и ацетиленовой сажи, порошки карбонильного железа, ферриты, тонкие металлические волокна и т. п. Количество наполнителя достигает 40 % (массовых). При дальнейшем увеличении концентрации металлических частиц мощность поглощенной энергии уменьшается из-за увеличения отражения от металлических образований. Для уменьшения эффекта отраже-

ния внешние слои поглотителя имеют незначительные концентрации наполнителя по сравнению с более глубокими слоями. Внешняя поверхность объемных поглотителей часто выполняется в виде шипов, имеющих форму конуса или пирамиды. Для защиты от внешних источников ЭМП стены зданий можно покрывать пористым бетоном с примесью графита; волосяными матами, пропитанными неопреном и угольной сажой; многослойными строительными материалами и т. п.

Разновидностей объемных поглотителей большое многообразие. К числу их достоинств относится высокое поглощение энергии ЭМП с малым коэффициентом отражения в широком диапазоне частот. К числу недостатков можно отнести относительно большие массогабаритные параметры.

Резонансные (интерференционные) поглотители представляют собой композицию из чередующихся слоев диэлектрика и проводящих пленок металла. Толщина диэлектрика составляет четверть длины волны падающего излучения или кратна нечетному числу  $\lambda/4$ . Принцип действия таких систем основан на интерференции падающей волны и образовании в них стоячих волн. Такие поглотители обладают низким коэффициентом отражения, малой массой, компактностью, но недостаточной широкополосностью.

В ряде случаев применяются комбинированные РПМ, представляющие собой сочетание резонансных и объемных поглотителей.

**Радиопоглощающие материалы (РПМ)** используют для поглощения электромагнитных волн и в средствах защиты от воздействия ЭМП, а кроме того, для снижения заметности в радиолокационном диапазоне различных стационарных, двигающихся и летающих объектов.

### **Способы защиты от статического электричества**

- Заземление электрических и электропроводящих неметаллических элементов оборудования, а также обеспечение постоянного электрического контакта тела человека с заземлением.
- Увеличение поверхностной и объемной проводимости диэлектриков.
- Нейтрализация зарядов путем использования радиоизотопных, индукционных и других нейтрализаторов.
- Ионизация воздуха или среды (в частности, внутри аппаратов, сосудов, в помещениях).
- Применение средств индивидуальной защиты (антиэлектростатические халаты и антистатическая обувь).

Наиболее распространенный способ защиты от статического электричества – заземление, которое объединяется с защитными заземляющими устройствами.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите и охарактеризуйте основные естественные источники электрических и магнитных явлений.
2. Назовите источники атмосферного электричества. Какой вклад в электризацию атмосферы вносят облака и осадки?
3. Что такое электромагнитное поле?
4. Какой спектр электромагнитных излучений освоен человеком в настоящее время? Назовите диапазоны частот, относящиеся к промышленному диапазону.
5. Какими значениями оценивается интенсивность электромагнитных излучений в диапазоне крайне низких частот (3–30 Гц) и сверхнизких частот (30–300 Гц)?
6. Назовите источники ЭМП техногенного происхождения? Приведите примеры.
7. Назовите основные источники ЭМП в квартире. Какие уровни магнитного поля они создают?
8. Что такое ПДУ и ВДУ? Какие ВДУ вы знаете для ПЭВМ?
9. Назовите рекомендации, направленные на уменьшение воздействия ЭМП в квартире.
10. Какое влияние оказывает электромагнитное излучение радиотелефона на человека, находящегося с ним в контакте (область облучения, частоты, ПДУ, фактическая энергия поля и т. д.)?
11. В каком диапазоне частот работают ПЭВМ?
12. Какие диапазоны частот наиболее опасны для организма человека? Перечислите эти диапазоны. На какие органы человека они воздействуют?
13. Как действует статическое электричество на человека? Перечислите способы защиты от статического электричества.
14. Расскажите об особенностях воздействия миллиметровых волн на биологические объекты.
15. Какие способы защиты от действия ЭМП вы знаете? Расскажите о каждом из них.

## Глава 10. Инфракрасное излучение

### Области ИК-диапазона

Инфракрасные (ИК) лучи представляют собой электромагнитное излучение с длиной волны ( $\lambda$ ) от 0,76 мкм примерно до 700 мкм. Верхняя граница ИК-диапазона определяется чувствительностью глаза. Нижняя граница условна и простирается до субмиллиметровых и миллиметровых волн. Весь диапазон ИК-излучения часто делят на три поддиапазона (табл. 10.1) [7].

Таблица 10.1

### Области ИК-диапазона

Области	Длина волны, мкм
1. Ближняя	0,76–2,5
2. Средняя	2,5–50
3. Дальняя	50–700 (2000)

ИК-излучение не воспринимается человеческим глазом, но ощущается кожей. Часто ИК-излучение называют тепловым излучением (тепловыми лучами). Инфракрасные лучи открыты английским астрономом В.Г. Гершелем в солнечном спектре.

**Источники ИК-излучения** можно разделить на две группы: естественного и техногенного происхождения. Главным естественным источником ИК излучения в биосфере является Солнце. При температуре внешней поверхности Солнца, примерно равной 6000° К, примерно 50 % энергии излучения приходится на ИК-диапазон. К числу естественных источников ИК-излучения относятся действующие вулканы, термальные воды, процессы теплопереноса в атмосфере, все нагретые тела, лесные пожары и т. п. Поверхность Земли испускает тепловое излучение в диапазоне длин волн примерно от 3 до 80 мкм, т. е. захватывает всю среднюю ИК-область. Интересно отметить, что максимум обратного теплового излучения Земли в мировое пространство расположен на длине волны 10 мкм, как максимум излучения челове-

ческого тела. Не просто ли это совпадение? Мы, дети планеты Земля, имеем общие черты теплового портрета нашей «колыбели», сигнализируя об этом в космос. Исследование теплового излучения человеческого тела с помощью тепловизоров дает значительную информацию при диагностике различных заболеваний и контроле динамики их развития [7].

Чрезмерное увлечение ИК-излучением, особенно ближней зоны, может привести к ожогам кожи, расстройствам нервной системы, общему перегреву тела человека, нарушению солевого баланса, работы сердца, тепловому удару и т. д.

Наиболее распространенным источником ИК-излучения техногенного происхождения является лампа накаливания. При температуре нити лампы накаливания  $2300\text{--}2800^\circ\text{K}$  максимум излучения приходится на волны  $\approx 1,2\text{ мкм}$  и около 95 % энергии излучения приходится на ИК-диапазон. Используемые для сушки и нагрева лампы накаливания с вольфрамовой нитью мощностью 1 кВт излучают в ИК-диапазоне около 80 % всей энергии. При понижении температуры общее содержание ИК-излучения источника уменьшается. При температуре абсолютно черного тела  $1550^\circ\text{K}$  максимум излучения соответствует длине волны  $\lambda = 1,7\text{ мкм}$ . При падении интенсивности в 70 раз максимум интенсивности соответствует  $\lambda = 10\text{ мкм}$ , а при  $\lambda = 18\text{ мкм}$  интенсивность уменьшается в 700 раз. К числу спонтанных источников ИК-излучения техногенного происхождения относятся также газоразрядные лампы, угольная электрическая дуга, электрические спирали из нихромовой проволоки, нагреваемые пропускаемым током, электронагревательные приборы, плазменные установки, печи самого различного назначения с использованием самого различного топлива (газа, угля, нефти, мазута, торфа и т. д.), электропечи, электротехнические устройства с неизбежным превращением доли электрической энергии в тепловую, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, ракетные и авиационные двигатели, МГД-генераторы, реакторы атомных станций и т. д. Человеческая цивилизация, являясь сложной диссипативной структурой, неизбежно связана с тепловым излучением [7].

Тепловое загрязнение тесно связано с тепловым излучением. Реальный тепловой баланс Земли и атмосферы составить очень трудно, потому что количественно очень сложно оценить все составляющие этого теплового баланса, непосредственно влияющие на него. Еще труднее оценить те процессы, которые опосредованно влияют на этот баланс за счет техногенной деятельности. Например, увеличение опре-

деленных газов и аэрозолей в атмосфере, с одной стороны, несколько уменьшают падающую солнечную радиацию, а песчаные пустыни и участки вырубленного леса, с другой стороны, больше отражают падающую солнечную радиацию обратно в космос. Таким образом, одни процессы приводят к перегреву Земли, другие – к охлаждению. Помимо роли атмосферы как теплозащитной оболочки и действия парникового эффекта, усугубляемого хозяйственной деятельностью человека, определенное влияние на тепловой баланс нашей планеты оказывают тепловые загрязнения в виде сбросового тепла в водоемы, реки, в атмосферу, главным образом, топлива – энергетического комплекса и в меньшей степени от промышленности.

Известно, что потребность населения в энергии удовлетворяется за счет электрической энергии. Большая часть электрической энергии получается за счет преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сгорании органического топлива. Доля электрической энергии, получаемой за счет атомных станций и других нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в большинстве стран невелика.

Путем преобразования энергии органического топлива примерно 30 % энергии топлива превращается в электрическую энергию, а 2/3 энергии поступает в окружающую среду в виде теплового загрязнения и загрязнения атмосферы продуктами сгорания.

По существующим оценкам ежегодно в мире сжигается до 5 млрд т угля, 3,2 млрд т нефти, т. е. высвобождается более  $2 \cdot 10^{20}$  Дж тепловой энергии, которая меняет температурный режим воздушной и водной среды, а также динамику происходящих там процессов. Замена теплоэлектростанций на атомные уменьшает до некоторой степени химическое загрязнение среды, одновременно увеличивая тепловое загрязнение. Так, при производстве 3,6 МДж электроэнергии на тепловой электростанции потери теплоты (отходы) в атмосферу и воду, используемую для охлаждения, составляют соответственно 1,67 и 0,565 МДж, а на атомной электростанции – 0,544 и 7,95 МДж.

Помимо влияния на общий биосферный процесс глобального потепления тепловое загрязнение локально воздействует на водные экосистемы. Именно повышение температуры воды способствует:

- превышению критических значений для «стенотермных» стадий жизненных циклов водных организмов (организмов, существующих в специфических, очень ограниченных условиях среды);
- усилению восприимчивости организмов к токсическим веществам (непреренно присутствующим в загрязненной воде);

- замене обычной флоры водорослей менее желательными сине-зелеными водорослями;
- снижению количества кислорода в воде из-за уменьшения его растворимости.

В промышленных районах количество вырабатываемой энергии столь велико, что соизмеримо с интенсивностью излучения Солнца на эту же площадь. Плотность искусственной (техногенной) энергии, например, на территории Японии составляет примерно  $2 \text{ Вт/м}^2$ , а в Рурском районе Германии, известном большим количеством промышленных предприятий, плотность техногенной энергии, вызванной тепловым загрязнением, составляет примерно 20 % от солнечной радиации на поверхности Земли, т. е. примерно  $32 \text{ Вт/м}^2$  оказывается «лишним» тепловым загрязнением. Такие «добавки» к тепловому балансу совершенно не нужны. Источники «сбросового» тепла существенным образом влияют на микроклимат прилегающих районов. Поэтому там образуются «острова тепла» и формируется особый микроклимат. Это явление характерно для городов, крупных населенных пунктов и особенно для мегаполисов. По мнению метеорологов и экологов, дальнейший рост тепловых загрязнений в индустриальных районах может вызвать нарушение в общей циркуляции атмосферы всей планеты, влияя на устойчивость нашей экосистемы. Так, например, тепловой баланс Земли может измениться в результате увеличения парникового эффекта.

**Парниковый эффект** – свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение, способствуя аккумуляции тепла нашей планеты [17].

Парниковый эффект считают причиной глобального потепления. Так, 1998 г. побил все рекорды: в Нью-Йорке в течение 40 дней температура не падала ниже  $31^\circ\text{C}$ ; суровая засуха привела к тому, что в США сбор урожая зерна впервые упал ниже потребности страны. Жарко было и в Европе. На Ямайке пронесся страшный ураган, лишив крова 500 тыс. человек. Муссонные дожди затопили  $2/3$  территории Бангладеш – 25 млн людей потеряли жилище. В Антарктиде откололся гигантский айсберг длиной 130 км. За последние 100 лет потепление на Земле составило  $0,5\text{--}0,7^\circ\text{C}$ : в 1890 г. средняя температура была приблизительно  $14,5^\circ\text{C}$ , а в 1990 г. –  $15,0\text{--}15,2^\circ\text{C}$ . Большинство ученых считают это следствием парникового эффекта.

Под тепловым загрязнением понимают такие изменения среды, которые приводят к повышению ее температуры. Рассмотрим, из чего

складывается среднеглобальная температура Земли, которая сегодня составляет около +15 °С.

Существует много факторов как природного, так и антропогенного происхождения, которые определяют температуру Земли. Сначала мы рассмотрим природные факторы, а затем увидим, какую роль в этих процессах играет деятельность человека.

## **ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗЕМЛИ**

Средняя температура планеты – результирующее количество тепла, приходящего на поверхность Земли, и тепла, уходящего от Земли в космос. Основной источник энергии, поступающей на планету, – Солнце.

Поверхность Земли поглощает излучение Солнца. Полученная энергия затем перераспределяется атмосферой и океанами и излучается обратно в космическое пространство в виде длинноволнового (теплого, земного или инфракрасного) излучения. Некоторая часть теплового излучения поглощается в атмосфере радиационно-активными (парниковыми) газами, в основном водяным паром, но также и двуокисью углерода, метаном, озоном и другими парниковыми газами. Поглощенная энергия вновь излучается во всех направлениях как вниз, так и вверх, так что излучение, которое в конечном итоге теряется в космическом пространстве, исходит из более высоких и холодных слоев атмосферы. В результате от поверхности в космическое пространство уходит меньше тепла, чем если бы это было при отсутствии парниковых газов, и соответственно поверхность остается более теплой. Действие этого явления можно сравнить с действием одеяла, обернутого вокруг Земли. На рис. 10.1 представлена упрощенная диаграмма, иллюстрирующая парниковый эффект.

Коротковолновая солнечная радиация с длиной волны 0,14–4 мкм может пройти сквозь чистую атмосферу относительно беспрепятственно. А длинноволновая земная радиация с длиной волны 8–80 мкм, излучаемая нагретой поверхностью Земли, частично поглощается и затем вновь излучается рядом газов, находящихся в микроконцентрациях в более охлажденной верхней атмосфере. Поскольку в среднем уходящая длинноволновая радиация балансируется с поступающей солнечной радиацией, то как атмосфера, так и поверхность Земли будут теплее, чем они были бы без парниковых газов.

Основными природными парниковыми газами являются не главные составляющие атмосферы – азот и кислород, а водяной пар



(он играет главнейшую роль), двуокись углерода, метан, закись азота и озон в тропосфере (нижние 10–15 км атмосферы) и в стратосфере.

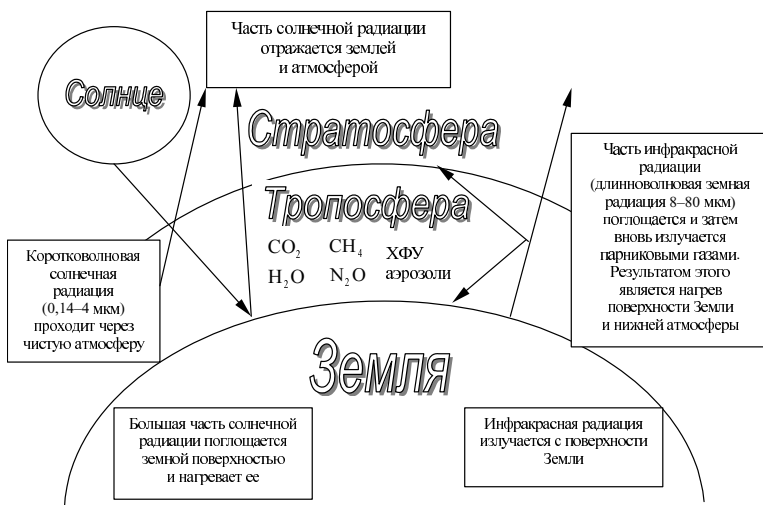


Рис. 10.1. Упрощенная диаграмма, иллюстрирующая парниковый эффект

Природный парниковый эффект реален, и это подтверждается следующими факторами\*.

Во-первых, средняя температура поверхности Земли уже теплее на 33 °С (предполагая одинаковую отражающую поверхность земли), чем та, которая была бы, если бы не существовало природных парниковых газов. Спутниковые наблюдения радиации, излучаемой с поверхности Земли и через атмосферу, демонстрируют эффект парниковых газов.

Во-вторых, мы знаем, что состав атмосфер Венеры, Земли и Марса различен. А температура поверхности этих планет в целом согласуется с теорией парниковых газов.

В-третьих, измерения ледниковых кернов, уходящие в прошлое на 160 000 лет, показывают, что график температуры Земли идет параллельно содержанию двуокиси углерода и метана в атмосфере.

\* Изменение климата: оценки МГЭиК 1990 и 1992 гг. / ВМО-ЮНЕП. – Канада, 1992. – 168 с.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗЕМЛИ

Парниковые газы природного происхождения поддерживают достаточно теплую температуру, чтобы сохранить на Земле жизнь. Повышая их концентрации и добавляя новые парниковые газы, подобные хлорфторуглеродам (ХФУ), человечество может повысить среднегодовую глобальную температуру воздуха у поверхности Земли, хотя нам неизвестно, какими темпами это произойдет.

Имеются другие виды человеческой деятельности, которые могут потенциально воздействовать на температуру Земли. Изменение альбедо (отражающая способность) суши, вызываемое опустыниванием или обезлесиванием, воздействует на величину солнечной радиации, поглощаемой земной поверхностью. Созданные человеком аэрозоли на основе серы, выбрасываемой, главным образом, при сжигании ископаемого топлива, могут воздействовать на облачность и, таким образом, понизить температуру. Наконец, изменение содержания озона в стратосфере под воздействием ХФУ может также повлиять на климат.

### Основные парниковые газы [2]

**Водяной пар ( $H_2O$ )** оказывает сильнейший парниковый эффект, но его концентрация в тропосфере определяется внутри самой климатической системы, в глобальном масштабе он не подвергается воздействию антропогенных источников и стоков. Содержание водяного пара увеличивается в ответ на глобальное потепление и еще более усиливает его.

**Метан ( $CH_4$ )**. В последнее десятилетие стало отмечаться постепенное возрастание в атмосфере содержания метана (в среднем около 1 % в год). Это связано как с природными факторами (болотные испарения), так и с антропогенными причинами (сжигание биомассы, рисовые поля, разведение крупного рогатого скота, добыча угля и природного газа, канализация, отходы животноводства, миллиорация и т. д.). Продолжительность жизни метана в атмосфере 11 лет.

Установлено, что рисовые поля Китая поставляют в земную атмосферу метана в 4–10 раз больше, чем такие же угодья в США и Европе. Наибольшее количество метана выделяют крупный рогатый скот (74 % от всех видов животных) и овцы, козы (13 %). Поэтому в ряде зарубежных стран осуществляются работы по снижению интенсивности выделения домашним скотом метана с помощью применения ингибиторов. Значительное количество метана поставляют горное производство: ежегодно на угольных месторождениях мира в шахтах выбрасывается от 34 до  $46 \cdot 10^6$  т метана.

**Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>).** Основные источники CO<sub>2</sub> антропогенного происхождения – сжигание ископаемого топлива (уголь, нефть, газ и др.), обезлесивание, производство цемента, выделение CO<sub>2</sub> из теплых тропических вод и земной биосферы. Продолжительность жизни в атмосфере 50–200 лет.

**Закись азота (N<sub>2</sub>O).** Увеличение в атмосфере закиси азота (примерно 0,3 % ежегодно) объясняется в основном возрастанием производства и применения азотных удобрений в сельском хозяйстве, производством азотной кислоты и ростом числа автомобилей. Продолжительность жизни в атмосфере закиси азота 150 лет.

**Аэрозоли** (небольшие частицы) в атмосфере могут также влиять на климат, поскольку они могут отражать и поглощать радиацию. Наиболее важные природные возмущения вызываются взрывными вулканическими извержениями, которые влияют на концентрации в нижней стратосфере. Наконец, климат имеет свою собственную природную изменчивость во всех временных масштабах, и такие изменения происходят без внешнего воздействия.

**Хлорфторуглероды**, или ХФУ, – высоколетучие, химически инертные у земной поверхности вещества, широко применяющиеся в производстве и быту в качестве хладореагентов (холодильники, кондиционеры, рефрижераторы), пенообразователей, распылителей в аэрозольных упаковках и т. д. Они были синтезированы в 1930-х гг. и стали широко применяться в промышленном производстве лишь с начала 1960-х гг. Фреоны, поднимаясь в верхние слои атмосферы, подвергаются фотохимическому разложению с образованием окиси хлора, интенсивно разрушающей озон. Продолжительность пребывания фреонов в атмосфере различна. Например, она составляет для ХФУ-11 – 65 лет, для ХФУ-12 – 130 лет.

Чрезмерное применение ХФУ привело к возникновению экологической проблемы глобального масштаба – истощению озонового слоя, в частности, возникновению «озоновых дыр» над Антарктидой и Арктикой. Кроме того, фреоны играют значительную роль в создании парникового эффекта.

По данным Всемирной Метеорологической Организации,\* за период с 1980 по 1990 г. вклад каждого из антропогенных парниковых газов в изменении вынуждающего радиационного воздействия составляет: двуокись углерода – 55 %, ХФУ – 24 %, метан – 15 %, закись азота – 6 %.

---

\* Изменение климата: оценки МГЭИК 1990 и 1992 гг. / ВМО-ЮНЕП. – Канада, 1992. – 168 с.

Однако увеличение концентрации перечисленных газов по-разному влияет на величину парникового эффекта, что определяется особенностями поглощения самой молекулы газа. Например, метан почти в 21 раз более эффективен в молекулярном отношении, чем двуокись углерода, а ХФУ-11 эффективен более чем в 12 000 раз. На килограммовой основе эквивалентные величины по отношению к двуокиси углерода составляют 58 для метана и около 4000 для ХФУ-11.

Широкий круг человеческой деятельности вызывает выбросы парниковых газов в атмосферу: особенно  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и ХФУ. Антропогенные выбросы можно разделить на следующие категории: выработка и использование энергии, неэнергетическая промышленная деятельность (главным образом, производство и использование ХФУ), сельскохозяйственные системы и изменение в характере землепользования (включая обезлесивание и сжигание биомассы). Относительная доля этой деятельности в вынуждающем радиационном воздействии на климат с 1980 по 1990 гг. составляла:

энергетика – 46 %, ХФУ – 24 %, лесное хозяйство – 18 %, сельское хозяйство – 9 %, прочие – 3 %.

Парниковый эффект для биосферы Земли имеет как отрицательные, так и положительные экологические последствия.

**Отрицательные последствия парникового эффекта.** Среди приоритетных глобальных проблем особо выделяется повышение уровня Мирового океана в условиях потепления климата нашей планеты. Основные причины – таяние материковых и горных ледников, морских льдов, тепловое расширение океана и т. п. Поэтому во многих странах проводятся работы по моделированию экологических последствий повышения уровня океана. В настоящее время повышение уровня моря достигает примерно 25 см за 100 лет. При значительном повышении температуры воздуха (более 1,5–2 °С) площадь горного оледенения, площадь и толщина морских льдов начнут интенсивно уменьшаться, что приведет к катастрофическому повышению уровня океана (к концу XXI в. оно составит 0,5–2 м). Все это приведет к возникновению сложных экологических и социально-экономических проблем: затоплению приморских равнин, усилению абразионных процессов, ухудшению водоснабжения приморских городов, деградации растительности и т. п. Подсчитано, что подъем уровня океана на 1 м вызовет затопление 20 % территории Бангладеш и сельскохозяйственных угодий Египта, пострадают многие крупные города Китая, катастрофическим наводнениям подвергнется Венеция и т. д.

К отрицательным последствиям парникового эффекта локального характера, особенно для России, где почти 50 % ее территории занято многолетнемерзлыми породами (вечной мерзлотой), можно отнести увеличение сезонного протаивания грунтов, что создаст угрозу дорогам, строениям и коммуникациям, активизацию процесса термокарста, заболачивание, ухудшение состояния лесных массивов на вечной мерзлоте и др. Несмотря на вышеперечисленные негативные последствия, парниковый эффект может иметь и положительные, в частности на лесные экосистемы и в целом на сельское хозяйство, что особенно важно с учетом демографического роста населения Земли. При глобальном потеплении климата будет отмечаться увеличение испарения с поверхности океана и связанное с ним возрастание увлажнения климата, особенно важное для аридных (сухих) областей. Повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере может увеличить интенсивность фотосинтеза и значит способствовать увеличению продуктивности как естественных лесных формаций (пока исследования проведены по австралийским дождевым и эвкалиптовым лесам), так и культурных растений. Среди последних особенно можно ожидать повышения продуктивности пшеницы, картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника, кукурузы, риса, фасоли, гороха, сои и т. д.

Таким образом, тепловое загрязнение планеты опасно не только из-за повышения уровня Мирового океана, но и из-за возможности нарушения биологического равновесия в природе и вероятности выхода биосферы за пределы устойчивого состояния.

На конференции по охране окружающей среды в Рио-де-Жанейро в 1992 г. была принята Конвенция ООН об изменении климата, в которой записано, что участвующие страны «преисполнены решимости защитить климатическую систему в интересах нынешнего и будущего поколений». Конечная цель Конвенции – добиться стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на уровне, не допускающем опасного воздействия на климатическую систему. При этом 25 развитых стран, а также страны, осуществляющие переход к рыночной экономике, включая Россию, должны взять на себя обязательства: вернуться к уровням выбросов парниковых газов 1990 г., предоставить финансовые ресурсы, передать безопасные технологии другим заинтересованным сторонам и др. [5].

В 1997 г. в японском городе Киото рядом стран был подписан протокол о снижении выбросов парниковых газов\*. Однако в 2001 г. американский президент Дж. Буш отказался ратифицировать этот документ.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое «инфракрасное излучение»?
2. На какие области условно делится ИК-диапазон?
3. На какие группы подразделяют источники ИК-излучения? Приведите примеры источников излучения.
4. Какое влияние оказывает тепловое излучение на биосферу?
5. Какова роль ИК-излучения в тепловом режиме атмосферы?
6. Какие природные факторы влияют на температуру Земли?
7. Какие антропогенные факторы влияют на температуру Земли?

---

\* Правительство России подписало киотский протокол в 2004 г.

## Глава 11. Ультрафиолетовое излучение

К ультрафиолетовому (УФ) излучению относятся электромагнитные волны от 0,38 мкм до 100 Å ( $1\text{Å} = 10^{-4}\text{мкм}$ ). Этот диапазон электромагнитного спектра условно делят на две области: ближнюю (от  $\lambda = 0,38$  мкм до  $\lambda = 0,2$  мкм) и далекую (вакуумную) (от  $\lambda = 0,2$  мкм до  $\lambda = 100$  Å) [7].

В ультрафиолетовом диапазоне увеличивается коэффициент поглощения многих веществ, что приводит к уменьшению их прозрачности по сравнению с аналогичными параметрами в видимом диапазоне. При  $\lambda < 0,3$  мкм большинство сортов стекла становятся непрозрачными, кроме таких материалов, как кварц, сапфир, фториды магния и лития, флюорит и др. Например, фторид лития обладает наиболее далекой границей прозрачности, вплоть до  $\lambda = 0,1$  мкм.

Среди газообразных веществ наибольшей прозрачностью обладают инертные газы. Например, гелий прозрачен до  $\lambda \approx 0,05$  мкм.

При укорочении длины волны в УФ-диапазоне уменьшается также и коэффициент отражения многих материалов, включая металлические напыленные пленки. При взаимодействии УФ-излучения с веществом в основном происходят процессы возбуждения электронных энергетических уровней с последующей ионизацией, диссоциацией и т. д.

Основным источником УФ-излучения естественного происхождения является Солнце. Из всего спектра УФ-излучения Солнца только небольшая длинноволновая часть достигает земной поверхности ( $\lambda > 0,29$  мкм). Остальная часть всего УФ-спектра, в особенности коротковолновая, поглощается атмосферой, что оказывает сильное влияние на атмосферные процессы.

Основными поглотителями УФ-излучения является озон (высота 20–50 км), кислород, азот, водород и другие компоненты атмосферы (высота 30–200 км).

Большая часть энергии УФ-излучения в диапазонах  $\Delta\lambda = 0,14\text{--}0,17$  мкм и  $\Delta\lambda = 0,2\text{--}0,24$  мкм поглощается на высотах 80–100 км с последующей диссоциацией кислорода.

Излучение с  $\lambda < 0,1$  мкм вызывает ионизацию верхних слоев атмосферы, что приводит к ее разогреву.

Этот поток ионизирующего излучения на границе с земной атмосферой равен примерно  $3-10$  эрг/(с·см<sup>2</sup>), составляя  $(0,3-1) \cdot 10^{-5}$  от полного потока солнечного излучения. Эта активная компонента в течение солнечного цикла может изменяться в три раза и оказывать на верхние слои атмосферы активное воздействие.

Источниками УФ-излучения являются звезды и другие космические объекты. В диапазоне  $\Delta\lambda = 0,09-0,02$  мкм излучения этих тел поглощаются межзвездным водородом и частично верхними слоями атмосферы.

Большое количество источников УФ-излучения имеет техногенное происхождение. Любое тело, нагретое до  $3000^\circ$  К и выше, имеет в своем спектре ультрафиолетовую компоненту. Чем выше температура тела, тем в большей степени проявляется ультрафиолетовая составляющая спектра.

Любая высокотемпературная плазма является источником УФ-излучения. С увеличением электронной температуры увеличивается интенсивность УФ-излучения, а в некоторых случаях и рентгеновского излучения.

Выпускаемые для различных целей и, в частности, для оптической накачки лазеров импульсные источники света и газоразрядные лампы тоже являются мощными источниками УФ-излучения. В зависимости от вида газа в электрическом разряде электрическая энергия преобразуется в оптическое излучение. КПД преобразования электрической энергии в оптическое излучение для различных газов имеют следующие значения [7]:

газы	He	Kr	Ar	Ne
КПД, %	60	50	40	25-35

Применяемые в промышленности и в современной технологии электроискровая обработка, плазменные установки, электродуговая сварка, электрический взрыв проводников, лазерный пробой, лазерные методы обработки и т. д. являются техногенными источниками УФ-излучения.

Интенсивным источником УФ-излучения с непрерывным спектром являются электронные потоки синхротронов, линейных ускорителей, мощных СВЧ-приборов.

К техногенным источникам УФ-излучения относятся более 70 различных лазерных систем, работающих в УФ- и вакуумном диапазоне.



К техногенным источникам УФ-излучения относятся некоторые металлургические печи и домы по выплавке высокотемпературных металлов и сплавов с применением кислородного дутья, мощных электронных и плазменных потоков и т. п. Перечисленные процессы не исчерпывают всего многообразия техногенных источников УФ-излучения.

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В основе биологического действия УФ-излучения лежат фотохимические процессы молекул биополимеров, которые возникают в организмах при поглощении падающего излучения верхними слоями тканей растений или кожи животных и человека.

В зависимости от интенсивности и длины волны УФ-излучения действуют двояко на живые организмы. С одной стороны, малые дозы УФ-облучения оказывают благотворное влияние на человека и животных, способствуя образованию витаминов группы Д. С другой стороны, УФ-облучение оказывает вредное (губительное) действие на живые организмы. Установить границу дозволенного и губительного в ряде случаев бывает очень сложно.

**Лечебное действие.** Применение в медицине ИК-, видимых и УФ-излучений осуществляется в специальном ее разделе, называемом физиотерапией (светолечение). При этом используются как искусственные, так и естественные источники излучения. Среди искусственных источников используются тепловые (лампы накаливания, электро-световые ванны и т. д.) и люминесцирующие (ртутно-кварцевые лампы, люминесцентные эритемные и дуговые бактерицидные лампы).

Действие оптических излучений на человеческий организм определяется интенсивностью, временем облучения (дозировкой), глубиной проникновения излучения в зависимости от его длины волны.

Наибольшей глубиной проникновения обладают СВЧ-излучения, затем в сторону уменьшения ИК- и видимый диапазон. Минимальная глубина проникновения наблюдается для УФ-лучей. В случае применения ИК-излучения эффект покраснения кожи – эритема – может появиться через несколько минут после начала облучения и спустя 2–8 часов при действии УФ (скрытый, латентный период). Этот эффект зависит от спектральной чувствительности кожи на разных участках тела, от возраста, состояния организма и т. д. Максимальным эритемным действием обладает УФ-излучение с длиной волны 0,2967 и 0,2537 мкм. По-

краснение кожи – эритема – через три-четыре дня переходит в защитную пигментацию (загар) кожи. Ультрафиолетовое облучение (местное или общее) применяют в широком диапазоне действий:

- для компенсации ультрафиолетовой недостаточности (в районах Севера);
- в качестве болеутоляющего и противовоспалительного средства (при невритах, невралгии, радикулитах, миозитах, бронхитах, плевритах, кожных заболеваниях и нарушениях обмена веществ, профилактике рахита, ОРЗ и т. д.);
- с целью увеличения сопротивляемости к различным инфекциям (например, к гриппу и т. п.).

Применение видимого и ИК-излучений для теплового воздействия целесообразно как рассасывающее и болеутоляющее средство. Однако эти методы противопоказаны при активной форме туберкулеза, новообразованиях, «щитовидной» болезни, заболевании почек и др.

С развитием лазерной терапии возможности этого направления современной медицины широко раздвинулись и обогатились. Появились совершенно уникальные методы лечения с применением традиционной медицины и лазерной техники.

**Вредное действие УФ-излучений.** Учитывая большую энергию квантов УФ-излучения и их способность вызывать деструкцию молекулярных и межмолекулярных связей, а также непосредственно влиять на внутриклеточные ткани с образованием радикалов, УФ-лучи представляют серьезную опасность для клетки живого организма. Большие дозы УФ-излучения могут вызывать ожоги кожи и канцерогенные реакции, повреждения глаз и другие нежелательные процессы. Кванты УФ-диапазона непосредственно влияют на синтез пигментов, активность ферментов и гормонов, интенсивность процессов фотосинтеза и т. п. УФ-излучение в больших дозах оказывает губительное воздействие на микроорганизмы и культивируемые клетки высших животных и растений.

УФ-лучи с длиной волны 0,24–0,28 мкм оказывают наиболее сильное летальное и мутагенное действие, так как этот спектр совпадает со спектром поглощения нуклеиновых кислот (ДНК и РНК). При поглощении квантов УФ-диапазона происходят химические изменения ДНК за счет образования димеров, которые препятствуют нормальному удвоению ДНК в процессе деления клетки. Это приводит к гибели клетки или изменению ее наследственных свойств, т. е. образованию мутаций.

Дополнительно возможен процесс повреждения УФ-излучения биологических мембран и последующего нарушения синтеза различных компонентов мембран и клеточной оболочки.

Большинство живых клеток обладает способностью восстанавливаться от повреждений, вызванных УФ-излучением. Способность к выживанию в условиях сильной солнечной радиации на ранних стадиях эволюции у разных биологических объектов разная. Чувствительность разных клеток к УФ-излучению резко отличается. Например, доза УФ-излучения, которая приводит к гибели 90 % клеток, для некоторых штаммов клеточной палочки составляет 10, 100, 800 эрг/мм<sup>2</sup>, а для некоторых бактерий 7000 эрг/мм<sup>2</sup>.

Мутации некоторых генов существенным образом влияют на чувствительность клеток к УФ-излучению. Некоторые гены увеличивают чувствительность к УФ-излучению, а некоторые мутации генов нарушают синтез белка и строение клеточных мембран.

Механизм воздействия УФ-излучения на живые организмы до конца не изучен, тем более невозможно предсказать последствия выживаемости разных биообъектов при увеличении интенсивности УФ-излучения и смещении его спектра в сторону коротких волн. Этот процесс крайне не желателен. Человечеству нужно позаботиться о том, чтобы атмосфера и озоновый слой оставались надежной защитой от губительного коротковолнового УФ-излучения.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ СЛОЙ ОЗОНА**

Озон и его свойства. Озон представляет собой аллотропное видоизменение молекулы кислорода и состоит из трех атомов кислорода – O<sub>3</sub>. При нормальных условиях озон при небольших концентрациях обладает характерным запахом (свежести) и разлагается медленно. При больших концентрациях озон синего цвета обладает резким запахом и легко взрывается. Окислительные свойства озона значительно выше, чем у кислорода. Озон окисляет все металлы, кроме золота и металлов платиновой группы. В небольших дозах озон применяют для стерилизации от микробов, озонирования воды, воздуха, отбеливания бумаги и т. д. Озон очень ядовит. Это вещество первого класса опасности. Предельно допустимая концентрация озона в атмосферном воздухе составляет: ПДК<sub>м.р</sub> – 0,16 мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>с.с</sub> – 0,03 мг/м<sup>3</sup>.

Озон, содержащийся в атмосфере, играет исключительно важную роль как с точки зрения процессов поглощения коротковолновой со-

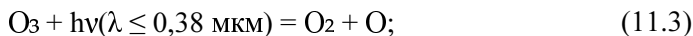
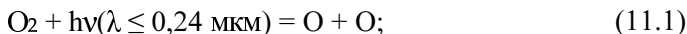
ставляющей солнечной радиации, тем самым выполняя защитную функцию для биосферы, так и с точки зрения регулятора температурного режима атмосферы.

Основное содержание озона находится в стратосфере на высоте примерно от 15 до 50 км (этот участок иногда называют озоносферой). Максимальная концентрация озона наблюдается на высоте 20–25 км. Считают, что нижняя граница озоносферы лежит над полюсами на высоте 7–8 км, а над экватором – на высоте 17–18 км.

Толщина озонового слоя, приведенного к нормальным условиям ( $p = 760$  мм рт. ст.,  $T = 0$  °С), в среднем для всей Земли составляет 2,5–3 мм. Причем на высоких широтах толщина этого слоя доходит до 4 мм, а в экваториальных широтах до 2 мм. В определенных местах атмосферы содержание озона уменьшается на 40–50 %. Эти места озоносферы называют «озоновыми дырами».

## ОБРАЗОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ СЛОЯ ОЗОНА

Образование молекул озона и их взаимодействие с атомами и молекулами кислорода и «посредника» описывается циклом Чепмена [7]:

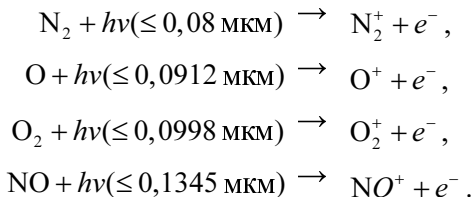


где М – «третье» тело (еще одна молекула  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , аэрозоли и др.), стабилизирующее синтезирующийся  $\text{O}_3$ , снимая с него избыточную энергию;  $h\nu$  – квант света с определенной длиной волны.

Одним из важнейших процессов, протекающих в верхних слоях атмосферы, является реакция (11.1) диссоциации  $\text{O}_2$  с образованием атомарного кислорода. Такая реакция требует много энергии. Ибо энергия связи «кислород–кислород» в молекуле составляет 498 кДж/моль. Получение необходимого количества энергии возможно либо за счет ультрафиолетового излучения, либо в дуге электрического разряда. Вследствие этой реакции в атмосфере, начиная с высоты 100 км, кислород находится как в молекулярной, так и в атомарной формах. На высоте около 130 км содержание  $\text{O}_2$  и  $\text{O}$  одинаково, а на высоте

тах более 200 км присутствует практически только атомарный кислород.

Поступающая из космоса радиация проходит через верхние слои атмосферы, встречает присутствующие там газы, и наиболее коротковолновая часть излучения вызывает их ионизацию, описываемую уравнениями [2]:



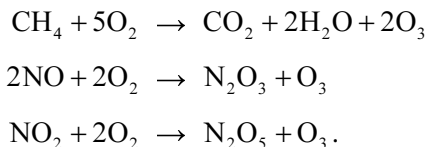
Таким образом, в процессе приближения к поверхности Земли до расстояния 90 км большая часть коротковолнового излучения оказывается поглощенной, однако излучение, способное вызвать диссоциацию молекулярного кислорода  $\text{O}_2$ , остается еще достаточно интенсивным. На высотах 30–50 км взаимодействие атомарного кислорода с молекулярным приводит к образованию озона по уравнению (11.2).

На меньших высотах скорость образования озона  $\text{O}_3$  увеличивается пропорционально соотношению концентраций газов и уменьшается из-за поглощения света с  $\lambda < 0,24$  мкм, что определяет наличие максимума содержания озона на высотах около 25 км. В стратосфере озон наряду с прочими процессами поглощает солнечное излучение с  $\lambda < 0,13$  мкм, а излучение с  $\lambda < 0,38$  мкм разлагает его наиболее интенсивно по уравнению (11.3).

Иными атмосферными газами излучение этого диапазона поглощается менее интенсивно.

Одновременно в атмосфере существуют факторы, влияющие на образование или разрушение озонового слоя.

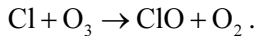
Метан ( $\text{CH}_4$ ) и оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) в тропосфере способствуют образованию озона [5].



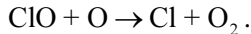
Разрушение озона обусловлено поступлением в стратосферу метилхлороформа ( $\text{CH}_3\text{Cl}_3$ ), метилбромид ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), четыреххлористого

углерода (CCl<sub>4</sub>), хлора и фторзамещенных углеводородов (ХФУ), закиси азота (N<sub>2</sub>O).

Особенно сильное разрушающее действие на него оказывают галогено-углеродные соединения, в частности хлорфторуглеродные вещества, используемые в холодильной технике. Под действием коротковолновой солнечной радиации, присутствующей за озоновым слоем, относительно стабильные фреоны в этом случае высвобождают атомы свободного агрессивного хлора, вступающего впоследствии с озоном в каталитическую цепную реакцию:



Образовавшийся монооксид хлора (ClO) взаимодействует с атомами кислорода и восстанавливает хлор:



Затем возникает цепная реакция разрушения озона. Один атом хлора может превратить до 100 тыс. молекул O<sub>3</sub> в молекулы O<sub>2</sub>. Атомы брома (Br), выделяемые из холонов, также превращают озон в кислород [5].

Отрицательное воздействие на состояние озонового слоя также оказывают полеты космических кораблей, ракетные двигатели которых выбрасывают в больших количествах в тропосферу и стратосферу такие «загрязнители», как HCl, Cl, NO, CO, аэрозоли и т. п. Безусловно, нельзя отказаться от развития аэрокосмического комплекса, поэтому в настоящее время ведутся исследования по созданию оптимальных рецептов ракетных топлив, новых типов двигателей, принципиально новых способов выведения спутников на околоземные орбиты.

Отрицательное влияние на состояние озонового слоя оказывают выбросы в атмосферу химической и электронной промышленности.

В настоящее время международным сообществом принимаются меры по ограничению выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, разрушающих озоновый слой.

В США, на долю которых приходилась половина всего мирового выброса хлор- и фторуглеродов, в 1979 г. использование их в аэрозолях было запрещено законом.

Международная конференция по этой проблеме (Монреаль, 1987) приняла резолюцию сократить выпуск хлорфторуглеродов к концу XX в. на 50 %. В материалах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро

(1992) отмечено, что есть основания для беспокойства по поводу разрушения стратосферного озонового слоя Земли. Несмотря на Монреальский протокол, общее содержание разрушающих озоновый слой веществ в атмосфере продолжает увеличиваться.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое ультрафиолетовое излучение?
2. Приведите примеры техногенных источников УФ-излучения.
3. Биологическое действие УФ-излучения: когда оно полезно и при каких условиях вредно?
4. Объясните летальное и мутагенное действие УФ-излучений. Какие длины волн УФ-диапазона особенно при этом опасны ?
5. Каковы свойства озона?
6. На каких высотах концентрация озона максимальна?
7. Объясните механизм образования атмосферного озона. Напишите уравнения цикла Чепмена.
8. Назовите возможные механизмы разрушения озона в атмосфере.
9. Как запуски космических кораблей влияют на состояние слоя озона?
10. Что такое «озоновая дыра»?
11. Какие факторы влияют на образование и разрушение озонового слоя?

## **Глава 12. Адаптация биологических систем при антропогенном изменении окружающей среды**

Живой организм – это открытая система, связанная с окружающей средой обменом веществ, энергии и информации. Однако среда обитания не остается постоянной. Потоки веществ, энергии и информации, связывающие организм со средой, могут изменяться. При этом в организме возникают такие процессы, которые нейтрализуют эти изменения. Так обеспечивается постоянство внутренней среды живого существа в условиях меняющегося окружения.

Например, стабильное увеличение в воздухе содержания угарного газа приводит к возрастанию в плазме крови человека железосодержащего белка, необратимо связывающего CO. Тем самым гемоглобин крови защищается от токсиканта и не теряет свою активность.

Способность организма обеспечивать постоянство своей внутренней среды в условиях меняющегося окружения получила название адаптации. Адаптация – процесс приспособления организма к меняющимся условиям среды; международный термин, означающий приспособление организма к общеприродным, производственным и социальным условиям [4]. Адаптация присуща не только индивидуальным организмам, но и их сообществам.

При поступлении в водную экосистему отходов от предприятия запускается механизм самоочистки вод. Попадающие в водоем фенолы, например от ЦБК, окисляются кислородом и ультрафиолетовыми лучами солнца, поглощаются прибрежной и водной растительностью и полностью разлагаются ею до CO<sub>2</sub> и воды.

Таким образом, адаптация – фундаментальное свойство живой материи, которое обеспечивает устойчивость биологических систем в условиях непостоянства среды обитания.

Большинство химических веществ и физических факторов, вызывающих сегодня загрязнение планетарной среды, существовало на Земле задолго до появления не только производства, но и самого человека. Природными источниками загрязнения были и остаются лесные пожары, вулканическая деятельность, выделения микроорганизмов, растений, животных, селевые потоки, выход на поверхность земли полиметаллических руд и др. Это значит, что эволюция шла не в сте-



рильных, идеальных условиях, и все ныне живущие организмы содержат генетическую информацию о способах адаптации к различным неблагоприятным факторам, включая тяжелые металлы, бенз(а)пирен, диоксины, радиацию.

Основная причина кризиса адаптации современных нам биосистем – слишком быстрая скорость антропогенного изменения среды. Только за последние 100–150 лет многие ее химические и физические показатели изменились в два и более раз. Биологическая эволюция происходит очень медленно, адаптация к среде отшлифовывается тысячами лет.

В ходе индивидуального развития процесс адаптации осуществляется на основе реализации наследственной информации об адаптации, накопленной в течение миллионов лет эволюции, и зависит от условий существования особи. Адаптация в процессе индивидуального развития осуществляется по двум направлениям: путем «подстройки» под «требования» среды, т. е. с помощью регуляторных механизмов, и путем противостояния внешним воздействиям, т. е. с помощью защитных механизмов.

Приспособление биологического объекта происходит одновременно по отношению к многочисленным и разнообразным экологическим факторам среды.

## **АДАПТАЦИЯ ОРГАНИЗМА С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛЯТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Адаптация организма к окружающей среде с помощью регуляторных механизмов обеспечивается регуляцией внутриклеточной среды, регуляторной функцией мембран, использованием антиоксидантов, адаптацией на уровне тканей и органов, биологическими ритмами.

### **Регуляция внутриклеточной среды**

В процессе жизнедеятельности организм сталкивается с изменением условий обитания (температуры, влажности, загрязняющих веществ, отношений с другими особями), но при этом внутренняя среда его остается постоянной. Сохранение показателей внутриклеточной среды организма обеспечивается регуляцией концентрации метаболитов, витаминов, гормонов; активностью генома и ферментов, ядерно-цитоплазматических отношений; проницаемостью клеточных мембран и др.

Важная роль в поддержании постоянства внутренней среды принадлежит системам, регулирующим кислотно-щелочной и окислительно-восстановительный баланс клетки.

Даже незначительное отклонение рН клеточной среды от оптимальной приводит к заболеванию. Между тем ряд внешних и внутренних химических факторов способны подкислять или подщелачивать цитоплазму. К ним относятся сернистый газ, галогеноводороды, оксиды азота, аммиак, поступающие в организм из атмосферы, с водой или пищей, а также продукты промежуточного обмена самой клетки – сероводород, аммиак и т. д. Регуляция рН клеточной среды осуществляется с помощью буферных систем – карбонат-бикарбонатной, гидрофосфат-дигидрофосфатной, а также благодаря буферным свойствам белков.

В процессе жизнедеятельности любого организма одновременно происходят процессы окисления и восстановления, синтеза и распада, ассимиляции и диссимиляции. Преобладание процессов синтеза, восстановления и ассимиляции характерно для молодых, растущих организмов. После смерти эти процессы полностью прекращаются, уступая место окислению, деструкции органического вещества.

Многие факторы окружающей среды усиливают процесс окисления в организме. К ним относятся токсины многих возбудителей заболеваний, ионизирующее излучение, некоторые химические вещества (озон, нитраты, анилин), холод, психоэмоциональные стрессы. Результат усиления процессов окисления в клетке – мутагенез, канцерогенез, атеросклероз, воспалительные процессы, старение организма. В чем причина такого действия окислителей? Рассмотрим пример.

Окислители взаимодействуют с ненасыщенными жирными кислотами, составляющими основу жирового слоя мембраны. Происходит окисление по двойной связи с образованием перекисей и последующим разрывом молекулы жирной кислоты. Образующиеся альдегиды обладают канцерогенной активностью. Возникает опасность ракового перерождения клетки. Разрушение жирового слоя мембран компенсируется накоплением холестерина, который «цементирует» бреши в мембране. Следствием этого становится нарушение проницаемости мембран, ее хрупкость, развитие атеросклероза. Таким образом, окислители повышают вероятность рака, инфарктов и инсультов.

Непредельные жирные кислоты, входящие в состав растительных масел, использующихся в кулинарии, тоже могут стать источником канцерогенов. Вот почему растительное масло нужно хранить в плотно закрытых емкостях и в темноте, чтобы исключить возможность его окисления кислородом воздуха. По этим же причинам нельзя допускать неоднократное использование растительного масла для поджари-

вания продуктов: с каждой новой жаркой в нем накапливается все больше канцерогенов. Подгоревшие части продуктов следует срезать и выбрасывать.

Процессам клеточного окисления противодействуют специальные вещества – антиокислители, или антиоксиданты, которые присутствуют во всех известных организмах и их клетках. Антиокислители либо синтезируются с самим организмом, либо поступают в него с пищей. Антиоксидантной активностью обладают аскорбиновая кислота (витамин С), витамин Е, каротиноиды (желтые пигменты фотосинтеза, провитамин А), фенольные вещества растений (флавоноиды, или витамин Р), пектоцеллюлоза (растительные волокна, состоящие из пектина и целлюлозы оболочек растительных клеток), а также соединения с большим количеством SH- и аминогрупп.

Большинство антиокислителей не может синтезироваться в организме человека и должно поступать в него с пищей. В условиях окислительного стресса потребность организма в таких веществах возрастает. Антиоксиданты предотвращают «болезни века» – инфаркты, инсульты, рак, аллергии, служат для профилактики и лечения инфекционных болезней.

Аскорбиновой кислотой богата черная смородина, плоды шиповника, цитрусовые. Витамин Е содержится в больших количествах в орехах, икре, салате, шпинате, дрожжах. Каротиноидов много в моркови, облепихе, шиповнике. Витамин Р в большом количестве находится в темно-окрашенных плодах и ягодах – бруснике, чернике, темных сортах винограда и слив, в свекле, а также в цитрусовых. Пектина много в черной смородине, яблоках, крыжовнике, в таких пищевых продуктах, как джемы, мармелад, повидло. Целлюлозой богат ржаной хлеб, мука грубого помола, отрубный хлеб. SH-групп много в крестоцветных: капусте, редьке, редисе. Полиамины содержатся во всех живых клетках, но особенно их много в зародышах – орехах, икре, семечках, а также в дрожжах.

Методом проб и ошибок тысячелетиями формировался рацион питания человека, специфический для каждой местности. И хотя рацион питания очень много, но все они содержат необходимое количество антиокислителей, которое обеспечивает адаптацию организма к месту проживания.

Окислители представляют опасность не только для биологических систем. Они ускоряют процессы старения пластмасс, резиновых изделий, вызывают осмоление топлива, окисление технических масел,

уменьшают срок службы промышленного оборудования, одежды, покрышек. Вот почему во многие материалы добавляются антиокислители, увеличивающие срок службы предметов.

### **Регуляторная функция мембран**

Биологические мембраны не только отделяют содержимое клетки от наружной среды, формируют органоиды клетки, но и дробят внутриклеточное пространство на многочисленные отсеки. Благодаря этому появляется возможность регулировать обмен веществ через изменение проницаемости мембран. В этих случаях применяют противовоспалительные средства, которые способны уплотнить стенки капилляров и биологические мембраны. Это снижает их проницаемость и снимает болевой эффект.

Противоспалительные вещества содержатся в коре дуба, цветках аптечной ромашки и календулы лекарственной, листьях алоэ. Отвары и настои из этих и других лекарственных трав используются для полоскания горла при ОРЗ, для примочек.

### **Антиокислители как регуляторы окислительно-восстановительного баланса клетки**

Почему обыкновенный кислород так опасен для живого? Кислород при нормальных условиях является довольно инертным окислителем с высоким энергетическим порогом реакции. Но этот порог может быть легко преодолен, если кислород получит дополнительную энергию. Для этого в организмах существуют идеальные условия. В клетке, как правило, всегда есть вещества, способные поглощать свет: витамин В<sub>12</sub>, В<sub>2</sub>, у растений – хлорофилл. При поглощении кванта света такая молекула приобретает дополнительную энергию, которая может быть передана кислороду. Образующийся возбужденный кислород очень опасен для клетки. Он вызывает окислительные процессы, несовместимые с жизнью.

Среди других опасных окислителей, образующихся в самой клетке, – свободные радикалы. Они возникают в результате обмена веществ либо под действием внешних факторов (например, ионизирующей радиации). Таким образом, окислители присутствуют как в среде обитания, так и во внутренней среде организма.

К основным представителям антиоксидантов в природе и технике относятся каротиноиды, растительные фенолы, витамины С и Е, пектоцеллюлоза.

Технические антиоксиданты представлены природными и синтетическими соединениями: ароматическими аминами, фенолами, производными фосфитов и сульфидов. Используется введение антиокси-

дантных химических групп непосредственно в структуру полимера. Обычно добавки антиокислителей применяются в материалах, содержащих двойные связи.

Таким образом, антиокислители обеспечивают адаптацию организма к ионизирующему облучению, веществам-окислителям, психоэмоциональным стрессам, холоду, инфекционным болезням, а также защищают техногенные материалы от преждевременного разрушения.

### **Адаптация организма на уровне тканей, органов, организма**

У растений регуляция на уровне организма и отдельных органов обеспечивается гормонами и электрофизиологической активностью, а у животных – эндокринной и нервной системами. Процесс адаптации сопровождается изменением структуры и функции органов, их систем и организма в целом.

Особенно четко это прослеживается при сравнении особей одного и того же вида, выросших в разных климатических условиях. Так, «человек разумный» разделяется на четыре адаптивных типа: полярный (арктический), тропический (в жарком влажном климате), аридный (в жарком сухом климате), высокогорный. Эти типы различаются как внешними, так и физиологическими показателями. Установлены некоторые закономерности формирования адаптивных типов растений и животных. Географические расы животных, обитающие в жарких и влажных регионах, пигментированы сильнее, чем в холодных и сухих (правило Глогера). У теплокровных животных размеры тела в среднем больше в популяциях, обитающих в более холодных районах (правило Бергмана). Выступающие части тела теплокровных животных и высших растений, как правило, короче в условиях холодного климата (правило Аллена) [5].

На работу сердечно-сосудистой системы оказывает влияние даже характер питания. Например, повышение калорийности пищи приводит к накоплению подкожного жирового слоя. Прорастающие в него кровеносные капилляры увеличивают протяженность кровеносной системы в организме. Нагрузка на сердце возрастает. Адаптация организма к этим условиям проявляется в увеличении объема сердца: у полных людей оно может быть в два раза больше, чем у худых. Другой пример: увлечение соленой пищей приводит к накоплению в организме жидкости и увеличению количества крови. В этом случае адаптивная реакция со стороны сердечно-сосудистой системы проявляется в повышении кровяного давления.

У высших позвоночных животных адаптация к внешним условиям контролируется специальным участком мозга. Он получил название центра природной адаптации. У человека этот центр находится в правом полушарии мозга, тогда как центр социальной адаптации – в левом полушарии. Если левое полушарие мозга отвечает за речевое общение, абстрактное мышление, память, то в правом полушарии находится центр адаптации к климатическим, геофизическим, химическим факторам среды, звуковому фону и т. д.

Установлено, что высокая активность центра природной адаптации обеспечивает быструю и эффективную акклиматизацию организма к суровым климатическим условиям. Например, при длительном воздействии холода на организм центр адаптации переключает энергетический обмен с использования углеводов на использование жиров. Чем выше активность правого полушария, тем легче люди переносят геомагнитные бури, «критические» дни. У долгожителей отмечена наследственная предрасположенность к высокой активности правого полушария.

Активность центра природной адаптации повышается под действием непосредственного контакта с природой, под влиянием ее зрительных образов и звуков, а также художественного творчества и музыки.

Установлена прямая зависимость активности центра природной адаптации от хорошего настроения человека, здорового образа жизни (отказ от курения, алкоголя), физической активности и закаливания.

Снижение активности центра природной адаптации нарушает приспособленность организма к среде, приводит к его дезадаптации.

## **ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ НА АДАПТАЦИЮ ОРГАНИЗМА К СРЕДЕ**

Один из способов адаптации организма к среде – регуляция его биологических ритмов. Все известные процессы, происходящие в материальном мире, подвержены ритмам – периодическим изменениям активности. Причина возникновения биологических ритмов – ритмичность космических процессов и связанные с ними ритмы Земли: смена дня и ночи, сезонов, периодические потепления и похолодания. Одиннадцатилетний цикл активности Солнца приводит к цикличности эпидемий инфекционных заболеваний. Основатель науки гелибиологии А.Л. Чижевский в 1930-х гг. предсказал очередную вспышку холеры в 1960-е годы только на основании изучения космических ритмов. Прогноз полностью оправдался: в 1960 г. в Юго-Восточной Азии разрази-

лась седьмая эпидемия холеры. Из 9 эпидемий гриппа, предсказанных ученым, подтвердилось 8.

Биоритмы – фундаментальное свойство живой материи. Однако нарушить биоритмы можно. При этом происходит рассогласование внутренних и внешних колебательных процессов, т. е. дезадаптация организма. Особенно часто это происходит в период экологического кризиса, когда велика нагрузка на механизмы адаптации организма. Дезадаптации способствует снижение активности правого полушария, нарушение ритмов труда и отдыха, рост загрязнения среды, курение, употребление алкоголя, малая физическая активность, несбалансированное питание. Нарушение биоритмов проявляется в усилении окислительных процессов в организме, в болезненном реагировании на «критические» дни (метеопатия), эмоциональной неустойчивости, психическом напряжении, головной боли, изменении артериального давления, плохом самочувствии, снижении скорости моторных реакций на стресс.

В соответствии с периодичностью биологических процессов различают высокочастотные, среднечастотные, низкочастотные ритмы и сверхмедленные [4].

Высокочастотные ритмы наблюдаются на молекулярном, клеточном и органном уровнях. Это ритмы электромагнитных импульсов сердца (700–800 Гц), мозга (1–3 Гц  $\rho$  ритм, 8–12 Гц J ритм, 4–7 Гц –  $\Theta$  ритм, 13–31 –  $\gamma$  ритм), ритмы дыхания, перистальтики кишечника.

Среднечастотные ритмы наблюдаются на молекулярном, клеточном, органном и организменном уровнях. К ним относятся процессы с периодичностью около 24 часов – так называемые суточные, или циркадные ритмы. Им подчинены изменения активности всех внутренних органов [4].

Низкочастотные ритмы проявляются на всех уровнях жизнедеятельности живого вещества, включая экологические системы. Они объединяют месячные, сезонные многолетние циклы.

Организм чутко реагирует на суточные ритмы, связанные с вращением Земли вокруг своей оси. Установлено, что за 6–8 минут до восхода Солнца в данном географическом месте некоторые белки крови человека изменяют свою третичную структуру и физико-химические свойства. После захода Солнца все показатели приходят к исходному значению. Работа этих биологических часов не зависит от атмосферного давления, грозы, тумана, от того, где находится человек – на улице или в помещении.

При перемещении в другой часовой пояс синхронизация показателей крови с новыми суточными ритмами происходит за 20–25 суток. Вот почему большой адаптационной нагрузкой на организм является переход на летнее время (в меньшей степени на зимнее). Физиологические показатели приходят в норму только через 14 дней, а у пожилых людей, детей, больных и ослабленных – через месяц. По данным исследователей перемещение на восток вызывает более длительное нарушение биоритмов, чем передвижение на запад.

Древняя восточная медицина содержит сведения о том, что все внутренние органы человека в течение суток проходят через максимум и минимум своей активности. Зная пики активности большого органа, можно регулировать время приема лекарств, повышая тем самым их эффективность. Наука хронобиология подтверждает эти сведения.

Более ста лет назад В.Н. Бехтеревым были открыты суточные колебания умственной и физической активности человека. В соответствии с ними предложено деление людей на утренний («жаворонки») и вечерний («совы») типы. «Жаворонки» и «совы» отличаются между собой не только разной работоспособностью в утренние и вечерние часы, но и суточным ритмом температуры тела, частотой сердечных сокращений, иммунитетом. Однако существуют и люди смешанного типа. Обычно тип суточной ритмики формируется к 17–18 годам.

Существенное влияние на организм оказывают годовые ритмы. У жителей Сибири зимой выше артериальное давление и частота сердечных сокращений, ниже обеспеченность витаминами, ниже активность фагоцитов, но больше их количество. Отмечается сезонный характер заболеваний. Весной возрастает количество кожных болезней, инфарктов миокарда и т. д. Периодичностью характеризуются эпидемии гриппа, желудочно-кишечных заболеваний.

Современный кризис адаптации живых систем повышает интерес к изучению механизмов формирования биоритмов и путей управления ими. Рассогласование внутренних и внешних ритмов в системе «организм–среда» является одним из проявлений дезадаптации организма.

#### **Адаптация организма с помощью защитных механизмов**

Сопrotивляемость организма к неблагоприятным воздействиям обеспечивается с помощью регуляторных и защитных механизмов: биологических барьеров, химической защиты, иммунитета.

Эволюционно более древними являются способы защиты, не распознающие чужеродность действующего вещества или фактора. Им



«безразлично», откуда взялось вредное воздействие – в результате собственного обмена веществ или извне. Такую защиту осуществляют биологические барьеры и система обезвреживания низкомолекулярных ядов (токсинов) – система детоксикации.

Биологические барьеры и система детоксикации универсальны, они имеются у всех живых существ на Земле. Эти защитные системы формируются на ранних стадиях онтогенеза и сохраняются в течение всей жизни особи.

**Биологические барьеры.** Биологические барьеры бывают наружными и внутренними. Первая биологическая мембрана, окружившая протобионт, уже служила для него защитой. Современные животные и растения имеют, как правило, развитые наружные покровы, предохраняющие от попадания внутрь микробов, неживых предметов (пыли, частиц почвы), разнообразных химических веществ, в том числе ядовитых. С другой стороны, покровы препятствуют выходу из организма его содержимого, потере влаги.

К внутренним механическим барьерам, выполняющим защитные функции, относятся клеточные мембраны, стенки капилляров, соединительная ткань, у растений – механическая и проводящая ткани. У позвоночных животных имеется особый внутренний барьер, защищающий мозг от проникновения возбудителей инфекций и ядовитых веществ – это гематоэнцефалический барьер (греч. *гема* – кровь, *гефалос* – мозг). Аналогичные барьеры есть около глаз и внутреннего уха.

**Химическая защита**, или система детоксикации, направлена на обезвреживание ядов, поступающих в организм извне, либо образующихся в нем самом в результате жизнедеятельности (аммиак, сероводород, индол и другие).

У животных процесс детоксикации происходит не только в каждой клетке организма, но и в специализированном органе – печени, в ее клетках с развитой эндоплазматической сетью (под электронным микроскопом в них выявляется большое количество пузырьков – микросом). Печень фильтрует кровь, поступающую в нее по воротной вене. Кровь насыщена продуктами распада пищи и жизнедеятельности микробов кишечника, в том числе и ядовитыми.

У микроорганизмов, растений и животных процесс детоксикации протекает сходно. Первая его стадия связана с окислением ядов. Она проходит с участием железосодержащих белков – цитохромов.

Вторая стадия детоксикации заключается в присоединении окисленного яда к веществу, выполняющему роль ловушки, капкана. В та-

ком виде яд выводится из организма. Вторая стадия детоксикации проходит с участием антиокислителей.

Биологический смысл этих двух этапов обезвреживания ядов заключается в том, чтобы сделать токсин менее жирорастворимым, ограничив тем самым его способность проникать через липидный слой мембраны внутрь клетки, и более водорастворимым, облегчив выведение из организма с мочой, потом, вместе с водой, испаряющейся через устьяца.

**Иммунитет** – способ адаптации организма к среде, в основе которого лежит защита «своего» вещества от «чужого», «Я» от «не Я». То есть иммунитет – способ защиты организма от носителей генетически чужеродной информации: от мутаций, рака и микробов.

**Защита от мутаций и рака.** Генетически чужеродные для организма вещества могут проникнуть в него не только извне, но и образовываться в самом организме: это мутантные ДНК и раковые клетки.

Мутагенез – процесс возникновения наследственных изменений. Большинство мутаций, регистрируемых в популяции, наблюдается, как правило, у потомства второго поколения. Как правило, показатель заболеваемости раком отражает мутационный процесс 15–20-летней давности. Наследственные же заболевания могут иметь еще более длительный скрытый период и проявиться через несколько поколений.

Мутагены (канцерогены) бывают физической и химической природы, антропогенного и природного происхождения.

Система защиты клетки от мутагенов-канцерогенов имеет несколько ступеней. Полиамины, обнаруженные в ядрах всех живых существ, защищают ДНК. В цитоплазме такую же роль выполняют каротиноиды, витамин С и соединения, богатые SH-группами.

Во многих продуктах питания найдены соединения с высокой антимутагенной активностью. Самый широкий спектр такой активности – у листьев мяты, лопуха, у баклажан, мидий, высокое содержание антимутагенов – в сырых овощах семейства крестоцветных (капуста, редька, репа, редис), сладком перце, моркови, винограде, коре калины. Антимутагенной (антиканцерогенной) активностью обладают витамины А, С, Е, группы В, особенно при их совместном применении в составе поливитаминов.

**Защита от микробов** осуществляется с помощью фагоцитоза и антимикробных веществ.

Фагоцитоз – защитное приспособление организмов, выражающееся в захватывании и переваривании фагоцитами посторонних частиц, в

том числе бактерий и остатков разрушенных клеток. У одноклеточных организмов фагоцитоз сочетался с процессом захвата и переваривания пищи в пищеварительных вакуолях. У многоклеточных форм появляются специализированные клетки, выполняющие роль пожирателей микробов. Благодаря работам И.И. Мечникова было установлено, что такие клетки присутствуют у животных на всех уровнях организации.

Антимикробные вещества вырабатываются всеми живыми организмами: растениями (фитонциды), бактериями и микроскопическими грибами, обладающими способностью убивать микробы (антибиотики). Антимикробные вещества имеют широкий спектр действия. Часть их присутствует в организме, часть синтезируется в ответ на инфекцию.

У позвоночных и человека антимикробные вещества – это белки. Интерферон – противовирусный белок. Он синтезируется всеми клетками человека.

Антимикробные вещества растений бывают белковыми и небелковыми. В растительном мире, в отличие от животного, разнообразие антимикробных веществ огромно. Их насчитывается более 50 000. Это позволяет считать, что эти соединения – основной фактор иммунитета у растений. Растительные белки антимикробной направленности – это ферменты, которые растворяют микробную клетку. Небелковые антимикробные вещества – это фенольные соединения (в том числе флавоноиды, дубильные вещества и хиноны), алкалоиды, эфирные масла и смолы. Это сильнодействующие вещества.

В процессе эволюции у позвоночных животных появляется еще более совершенная система иммунного ответа – так называемый специфический иммунитет. Он характеризуется распознаванием химической природы чужеродного объекта и сохранением памяти о его вторжении. Это делает ответ организма на повторный контакт с «чужаком» более интенсивным и эффективным.

Специфический иммунитет обеспечивается специализированной тканью – лимфоидной. У человека к ней относится система лимфатических сосудов и лимфоузлов, а также селезенка и вилочковая железа. Вилочковая железа (тимус) «учит» лимфоциты распознавать «свое» и «чужое». Возрастание опасности рака с увеличением возраста особи связано с тем, что к старости вилочковая железа деградирует и специфический иммунитет ослабляется.

Система иммунитета всех живых организмов базируется на отсеивании «не своего». Однако у некоторых возбудителей заболеваний в

результате эволюции возникло генетическое сходство с тканью хозяина. «Подделка» своих молекул под молекулы заражаемого организма наблюдается у возбудителей фитофторы картофеля, чумы и оспы. Так, белок, определяющий I группу крови человека, очень сходен с белком чумной бактерии. Возбудитель чумы, попавший в организм с первой группой крови, не воспринимается как чужеродный объект и не вызывает защитную реакцию. В результате, как правило – летальный исход. Следовательно, средства защиты и нападения эволюционируют параллельно, достигая все большего совершенства.

Для укрепления иммунитета человек часто использует антимикробные вещества, синтезируемые представителями растительного мира. Рассмотрим некоторые из них.

**Чеснок.** Даже антибиотики с широким спектром действия не обладают такой универсальностью, как антимикробные вещества чеснока. Чеснок успешно применяют в хирургической практике как антисептическое начало. Чесночные ингаляции эффективны для лечения болезней дыхательных путей, конъюнктивитов, кератитов. Действующее начало чеснока – аллицин. Он вошел в состав многих лекарственных препаратов. Опрыскивание чесночным настоем растений помогает в борьбе с бактериальными заболеваниями и вредителями сельского хозяйства.

**Лук.** Найден даже в пирамиде Хеопса. Наряду с чесноком он применялся для предотвращения массовых инфекций среди строителей пирамиды. В Первую мировую войну лук использовался как антисептическое средство для лечения нагноения ран. Применяется при ангинах, воспалительных процессах в ушах, насморке. Следует помнить, что для ингаляций нужно применять свежеприготовленную кашу лука, так как через 10–15 мин она теряет свои целебные качества. 3–4 сеанса луковых ингаляций излечивает ангину.

**Яблоки.** Пектины яблок уничтожают бактерии при их 15 %-й концентрации. Менее зрелые плоды обладают большей антимикробной активностью, чем спелые. В яблоках найдено и антивирусное начало. Наибольшей фитонцидной активностью обладают сорта Антоновка и Джонатан.

**Кедр.** Кедровая живица во время Второй мировой войны излечивала гангрену. Известно, что в шкафах из кедра не заводится моль. Горячий экстракт кедровых орешков – кедровое молоко – издревле использовался как напиток, поднимающий тонус после тяжелой физической

работы, укрепляющий иммунитет и повышающий устойчивость к холоду.

**Черная смородина.** В листьях содержатся антимикробные вещества, в ягодах – антимикробные и противовирусные соединения. Поэтому ягоды используют даже при лечении гриппа.

**Картофель.** Антивирусные вещества картофеля содержатся в кожце. Поэтому для горячей ингаляции дыхательных путей нужно использовать картофель, сваренный в мундире.

Укреплению иммунитета способствует высокая активность правого полушария, положительные эмоции, экологический образ жизни, включение в рацион питания адаптогенов, т. е. веществ, порождающих адаптацию. К адаптогенам относят экстрактивные вещества женьшеня, левзеи, элеутерококка. Иммунитет укрепляют орехи, брусника, черника, икра рыб, мед, полноценные белки мяса, рыбы и яиц. Антимикробными веществами богаты черемша, жимолость, черная смородина, пряные культуры – укроп, хрен, перец, кориандр, гвоздика, тмин и др.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое адаптация? Какие антропогенные факторы влияют на процесс адаптации живых организмов?
2. Какова основная причина кризиса адаптации биосистем в настоящее время?
3. Какие регуляторные механизмы обеспечивают адаптацию организма к окружающей среде?
4. Какие вещества обладают антиоксидантной активностью? Приведите примеры.
5. Какое влияние оказывает питание на работу сердечно-сосудистой системы организма?
6. Как влияют биологические ритмы на адаптацию организма к окружающей среде? Приведите примеры.
7. Что такое иммунитет? Как происходит адаптация организма к среде с помощью иммунитета и специфического иммунитета?
8. Какова роль питания в адаптации человека к среде?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон РФ от 10.01.2002. № 7-ФЗ (Ред. от 14.03.2209) «Об охране окружающей среды». – М.: ИНФРА-М. – 51 с.
2. *Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелихова О.П.* Экология: учебник для технических вузов / 2-е изд., переработанное и доп. – М.: Дрофа, 2003 г. – 624 с.
3. *Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология. Природа – Человек – Техника: учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 343 с.
4. *Гора Е.П.* Экология человека: учеб. пособие для вузов / 2-е изд., переработанное и доп. – М.: Дрофа, 2007. – 540 с.
5. *Цветкова Л.И., Алексеев М.И., Кармазинов Ф.В.* Экология.: учебник для технических вузов. – М.: АСВ; СПб.: Химиздат, 2001. – 552 с.
6. *Макаренко В.К., Быков А.П., Дьяченко Г.И.* Основы экологии и экозащитных технологий: учеб. пособие. – Ч. 2. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 63 с.
7. *Куклев Ю.И.* Физическая экология: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 357 с.
8. *Исидоров В.А.* Органическая химия атмосферы. – СПб.: Промиздат, 2001. – 552 с.
9. *Иванов О.П., Коган Б.И., Быков А.П.* Инженерная экология: учеб. пособие / под ред. Б.И. Когана. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1994. – Книга 1. – 184 с.
10. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
11. *Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология. Природа – Человек – Техника: учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 1998. – 455 с.
12. *Вронский В.А.* Прикладная экология: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 1996. – 512 с.
13. *Войткевич Г.В., Вронский В.А.* Основы учения о биосфере: учеб. пособие для студентов вузов. – Ростов н/Д: Феникс, 1996. – 480 с.
14. *Протасов В.Ф.* Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 672 с.
15. *Иванов О.П.* Природопользование: курс лекций. – Новосибирск: СибАГС, 2003. – 436 с.
16. *Предельский Л.В., Коробкин В.И., Приходченко О.Е.* Экология: учебник. – М.: Велби, Проспект, 2006. – 512 с.

17. *Снакин В.В.* Экология и охрана природы: словарь-справочник / под ред. акад. А.Л. Яншина. – М.: Academia, 2000. – 384 с.

18. Инженерная экология: учебник / под ред. проф. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.

19. *Макаренко В.К., Быков А.П., Дьяченко Г.И.* Основы экологии и экозащитных технологий: учеб. пособие. – Ч. 1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 72 с.

20. *Дзятковская Е.Н.* Экология и здоровье: учеб. пособие. – Ч. 2. – Иркутск.: Изд-во ИЧП «Арком», 1994. – 73 с.

21. *Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С.* Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России. – М.: Российская Ассоциация общественного здоровья, 1997. – 145 с.

22. *Карташев А.Г.* Введение в экологию: учеб. пособие. – Томск: Водолей. – 1998. – 384 с.

23. *Шевель Д.М.* Электромагнитная безопасность. – Киев: ВЕК+, НТИ, 2002. – 432 с.

24. *Блейк Б., Левит Т.Т.* Защита от электромагнитных полей. О влиянии на организм человека бытовых электроприборов, мобильных телефонов...: полный справочник / пер. с английского Ю. Сулова. – М.: АСТ, Астрель, 2007. – 447 с.

25. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, утвержденные Главным санитарным врачом Российской Федерации 30 мая 2003 г. – М.: Информационно издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 23 с.

26. СанПиН 2.2.2/2.1.1.1200-03 (Новая редакция) «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» с изменениями 1, 2, 3.

**Быков Анатолий Павлович**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**ЧАСТЬ 1**

**Учебное пособие**

Редактор *А.Ю. Кроних*  
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Корректор *Л.Н. Кинит*  
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*  
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

---

Подписано в печать 12.04.2011. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 200 экз.  
Уч.-изд. л. 12,09. Печ. л. 13,0. Изд. № 304/10. Заказ № Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20