



Суздалева Антонина Львовна

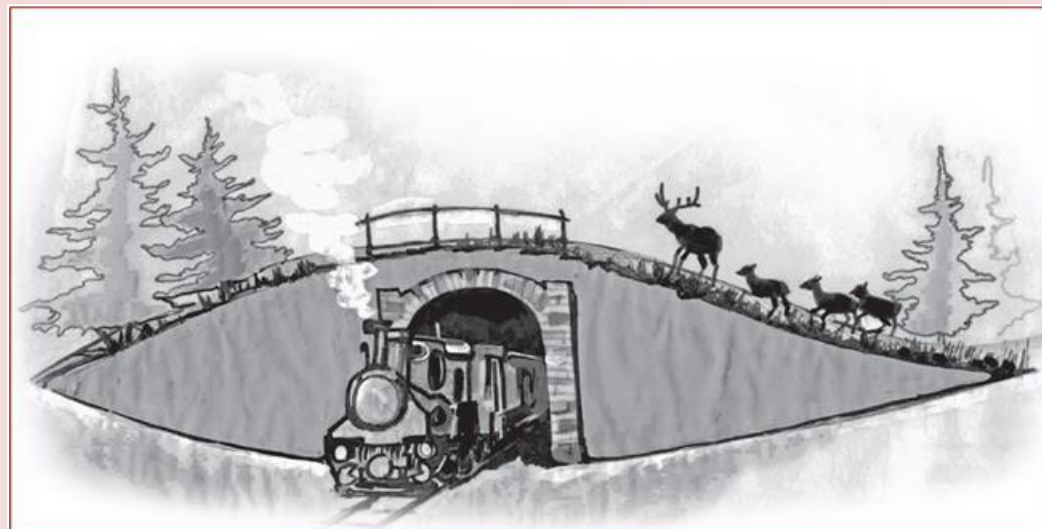
Профессор кафедры инженерной экологии и охраны труда Московского энергетического института, доктор биологических наук, академик МАНЭБ, автор более 150 научных работ. Имеет многолетний опыт работы в экологических подразделениях крупных проектных организаций (Гидропроект, Атомэнергопроект и др.). Область научных интересов: техногенез окружающей среды, изучение и создание управляемых природно-технических систем.



Горюнова Светлана Васильевна

Профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и прикладных технологий Московского городского педагогического университета, доктор биологических наук, академик МАНЭБ, академик РЭА, автор более 160 научных публикаций и научно-методических работ. Область научных интересов: экологическая безопасность и изучение последствий антропогенного воздействия на окружающую среду.

А.Л. Суздалева, С.В. Горюнова БИОТЕХНОСФЕРА: экология и безопасность жизнедеятельности *Монография*



**Москва
2017**

УДК 502/504
БПК 20.1
С – 893

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета ГАОУ ВО МГПУ*

Рецензенты:

профессор кафедры инженерной экологии и охраны труда
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
доктор технических наук, профессор **В.Т. Медведев**.

профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и прикладных технологий МГПУ,
доктор экономических наук, профессор **В.А. Литвинов**

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Биотехносфера: экология и безопасность
жизнедеятельности: монография. – М.: МГПУ, 2017. – 245 с.

Биотехносфера – это биосфера, изменившаяся под воздействием техногенных факторов. В монографии рассматриваются различные явления, обусловленные техногенезом атмосферы, гидросферы, педосферы, литосферы и биологических сообществ, а также негативные явления, сопутствующие техногенной трансформации окружающей среды и наносящие экологический и социально-экономический ущерб. Анализируются меры борьбы с этими явлениями. По мнению авторов монографии, по своей структурно-функциональной организации биотехносфера представляет собой потенциально управляемую природно-техническую систему (ПТС) глобального масштаба, состоящую из иерархии ПТС более низкого ранга и сохранившихся экосистем. Рассматриваются возможные способы управления процессами, происходящими в биотехносфере. Для их разработки необходима смена парадигмы природоохранной деятельности. Ограничительная парадигма должна уступить приоритет креативной парадигме, подразумевающей активное вмешательство в ход экологических процессов с целью предотвращения их техногенной трансформации. Для описания новых подходов к решению экологических проблем разработана специальная терминология, приведенная в словаре специальных терминов в приложении к монографии.

Дополнительная информация по этой тематике размещена на
нашем авторском сайте: **www.ntsyst.ru**

© Суздалева А.Л., Горюнова С.В., 2017
© ГАОУ ВО МГПУ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА I. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОТЕХНОСФЕРЫ	12
1.1. Биотехносфера как особое состояние биосферы.....	12
1.2. Биотехносфера, ноосфера и техносфера	19
1.3. Формирование биотехносферы	25
и мировые социально-экологические кризисы.....	25
ГЛАВА II. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ УПРАВЛЯЕМОЙ БИОТЕХНОСФЕРЫ.....	28
2.1. Природно-технические системы как структурный элемент биотехносферы.....	28
2.2. Основные виды природно-технических систем и пути их формирования	31
2.3. Парадигмы природоохранной деятельности	38
2.4. Историческое развитие процесса техногенеза окружающей среды и востребованность создания управляемых ПТС.....	40
2.5. Структурно-функциональная организация современной биотехносферы и тенденции ее развития.....	43
ГЛАВА III. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АТМОСФЕРЫ.....	49
3.1. Структура и основные свойства атмосферы.....	49
3.2. Парниковый эффект и меры по предотвращению его развития.....	53
3.3. Разрушение озонового слоя.....	70
3.4. Глобализация процесса загрязнения атмосферы.....	81
ГЛАВА IV. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ	98
4.1. Основные части гидросферы и особенности изучения процессов их техногенеза	98
4.2. Истощение водных ресурсов.....	100
4.3. Зарегулирование речного стока	109
4.4. Нарушение стратификации Мирового океана при освоении ресурсов его глубинных слоев.....	122
Глава V. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕДОСФЕРЫ.....	132
5.1. Общая характеристика современного состояния почвенного покрова, его экологические функции и степень деградации	132
5.2. Эрозия почв как одна из форм техногенеза окружающей среды ...	139
5.3. Истощение почв.....	146

5.4. Урбанизация почвенного покрова	152
ГЛАВА VI. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ	163
6.1. Литосфера и ее экологические функции	163
6.2. Нарушения ресурсной экологической функции литосферы и меры по их минимизации в процессе глобального техногенеза.....	168
6.3. Нарушение геодинамической, геохимической, геофизической функций литосферы и возможности управления этими процессами	179
ГЛАВА VII. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА БИОСФЕРЫ.....	186
7.1. Биотехногенез и его основные формы	186
7.2. Биотехногенез и возможные пути сохранения биоразнообразия..	191
7.3. Урбанизационный биотехногенез.....	198
7.4. Инвазионный биотехногенез	204
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	214
СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ	221
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	226

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы монографии возложили на себя нелегкую задачу выявления связей науки о взаимодействии живых организмов со средой обитания и многогранными процессами хозяйственной деятельности. Это попытка оценить современное состояние биосферы, для обозначения которой в научной литературе используется термин «биотехносфера», отражающее использование природных ресурсов в интересах человека. Односторонний взгляд на проблему с позиций природопользования оправдывает применение различных технологий, использующих природные ресурсы без осмысления их ограниченности и чувствительности к внешним воздействиям.

Как справедливо отмечают авторы монографии, современное состояние биосферы является неустойчивым и проявляет все более заметную тенденцию к деградации. Данный факт уже очевиден не только специалистам. Незаметно для себя многие люди, даже не проявляющие интереса к экологическим проблемам, вместо слова «природа» стали все чаще употреблять выражение «окружающая среда».

Никто не сомневается в том, что необходимо остановить разрушение среды обитания, в которой мы живем. Меры, предпринимаемые для этого, сейчас явно недостаточны, хотя и дают определенный эффект. Нужен поиск новых путей решения проблемы. Именно в этом и заключается основное достоинство монографии А.Л. Суздалевой и С.В. Горюновой. Предлагаемая ими смена парадигмы природоохранной деятельности позволяет по-новому взглянуть на способы решения важнейших экологических проблем. Вместе с тем многие из высказываемых ими суждений, несомненно, не могут быть безоговорочно приняты, но практически все заслуживают серьезного и непредвзятого обсуждения.

Материалы монографии включают описание весьма широкого круга процессов, обуславливающих переход биосферы в состояние биотехносферы. Отдельные разделы посвящены анализу экологических и

социальных последствий техногенеза атмосферы, гидросферы, педосферы, литосферы, а также биоты и структуры биологических сообществ. В каждом из этих разделов также рассматриваются и предлагаемые меры по предотвращению и смягчению негативных явлений.

Основная идея, объединяющая в единое целое материалы монографии, – это необходимость научно обоснованного создания управляемых природно-технических систем. Следует отметить, что данному вопросу в последние годы было посвящено немало научных публикаций. Но большинство из них носит описательный характер, рассматривая особенности конкретных природно-технических систем или их отдельных типов. В отличие от этого, авторы монографии рассматривают данные объекты как иерархическую структуру. С их точки зрения, биотехносфера – это трансформированная биосфера, учитывающая обмен веществом, энергией и информацией между объектами природной и техногенной сред.

Биотехносферу, по мнению авторов монографии, как и природно-техническую систему меньшего масштаба, можно сделать управляемой. Но, в отличие от ноосферы В.И. Вернадского, это управление предлагается осуществлять не на основе научных идей, а путем придания природоохранной функции различным инженерно-техническим сооружениям и их системам. Например, ГЭС защищают территории от наводнений или осуществляют «экологические попуски вод» в периоды засух.

Насколько эти идеи окажутся востребованными – покажет будущее. Сейчас же можно лишь утверждать, что материалы монографии представляют интерес для широкого круга специалистов. Кроме того, их следует рекомендовать для использования в учебном процессе различных ВУЗов как экологического, так и чисто технического профиля. Знакомство с монографией будет способствовать повышению эрудиции читателей.

Академик РАН

М.П. Федоров

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время биосфера Земли под влиянием человеческой деятельности из естественной саморегулирующейся системы постепенно превращается в неуправляемо деградирующую систему, для обозначения которой в научной литературе все чаще используется термин «биотехносфера».

Техногенная трансформация окружающей среды, сокращено называемая ее техногенезом, как правило, не приводит к полному уничтожению экосистем, а к формированию на их основе так называемых «природно-технических систем» (ПТС). Соотношение естественных и искусственных элементов в ПТС колеблется в широком диапазоне, но все они являются средой обитания различных живых организмов. Именно в ПТС, а не в естественных экосистемах существует современный человек.

Образование ПТС в той или иной форме сопутствовало развитию человеческой цивилизации практически с момента ее зарождения. Но в предшествующие исторические эпохи процесс техногенеза окружающей среды проявлялся лишь в определенных частях биосферы. Наряду с ее техногенно-трансформированными участками могли существовать природные экосистемы, не испытывавшие значимого воздействия человека. Отличительной чертой современности является глобализация процессов техногенеза. В настоящее время даже удаленные от промышленных зон экосистемы испытывают различные техногенные воздействия, например, в результате спровоцированных развитием промышленного производства глобальных климатических изменений, атмосферного переноса загрязнителей и т.п. По мере усиления значимости этих воздействий происходит превращение этих экосистем в ПТС.

Глобализация техногенеза привела к возникновению биотехносферы. В отличие от ранее существовавшей биосферы условия на любом из ее участков и ее общее состояние определяются совокупным воздействием

природных и техногенных факторов. Таким образом, биотехносфера – это природно-техническая система глобального масштаба.

Различные формы земной биологической жизни, включая человека, вынуждены существовать в среде, все больше отличающейся от той, в которой они сформировались в процессе естественной эволюции. Но круг проблем, порождаемых глобальным техногенезом, значительно более широк. Окружающая среда – это не только совокупность условий, в которых протекают физиологические процессы живых организмов. Это и условия, в которых человек нуждается для осуществления своей деятельности. Исчерпание природных ресурсов, загрязнение водной и воздушной сред, истощение почв и их эрозия – это далеко не полный перечень факторов, имеющих не только экологическое, но и важнейшее экономическое значение. В последние десятилетия проблемы техногенеза окружающей среды начинают играть все большую роль в политике и даже геополитике. Например, происходящие глобальные климатические изменения существенно усугубляют проблему дефицита питьевой воды и продовольственный кризис в ряде регионов. В экономически развитых странах население выражает все большую обеспокоенность глобализацией загрязнения окружающей среды, создающей угрозу для здоровья. По этим причинам практически все современные политические партии уделяют в своих программах внимание решению экологических проблем, а государства усиливают борьбу за контроль над оставшимися природными ресурсами. Декларируемые и реально предпринимаемые ими действия могут оказать существенное влияние на дальнейший сценарий развития биотехносферы.

Таким образом, экологические проблемы биотехносферы нецелесообразно рассматривать в отрыве от других проблем, также обусловленных процессом глобального техногенеза. Этим принципом руководствовались и авторы монографии. В ней рассматриваются не

только сами процессы техногенной трансформации естественной среды, но и проблемы, связанные с грядущими изменениями условий жизни людей.

Опасность дальнейшей деградации биотехносферы уже ни у кого не вызывает сомнений, как и необходимость принятия мер, направленных на ее предотвращение. Однако традиционные формы природоохранной деятельности в существующих условиях непрерывного повышения техногенного прессинга на окружающую среду уже не приносят желаемого результата: сейчас нельзя отграничить участки с благоприятными экологическими условиями от неблагоприятных зон. Непрекращающийся рост народонаселения и объемов мирового производства, необходимого для удовлетворения его потребностей, не дают возможности остановить процесс глобального техногенеза. Но можно и необходимо разработать механизмы, позволяющие управлять этим процессом. Иными словами, вернуть биотехносферу в естественное состояние биосферы нельзя, но ее можно сделать управляемой системой, состояние которой искусственно регулируется. Подобное утверждение в настоящее время звучит фантастично. Но эту задачу необходимо выполнить. Альтернативой является продолжающаяся деградации планетарной экологической системы, ставящая под угрозу не только сохранение биоразнообразия Земли, но и существование самого человечества.

Многие современные экологи не хотят признавать по сути уже свершившегося перехода биосферы в новое состояние. Желание уйти от этой проблемы, разрушающей всю сложившуюся систему представлений, способствует приоритетному решению отдельных аспектов глобального техногенеза (например, разработке мер борьбы с парниковым эффектом). Но успешное решение частных вопросов невозможно без системного видения проблемы в целом. Так, основными источниками парниковых газов в случае жесткого контролирования их промышленных выбросов станут побочные продукты жизнедеятельности стремительно растущего

народонаселения и ряд других неконтролируемых процессов (например, оттаивания зон многолетней мерзлоты). В этой ситуации сохранить благоприятные условия для существования многих видов организмов и жизнедеятельности людей на значительных участках окружающей среды можно лишь задействовав специальные инженерно-технические системы. Их работа может быть направлена как на прямое изъятие из атмосферы избытка парниковых газов, так и на нивелирование последствий гидрометеорологических аномалий (наводнений и засух), также порожденных развитием парникового эффекта.

Одним из главных препятствий на пути создания управляемой биотехносферы, помимо необходимости больших финансовых затрат, является преодоление в сознании ученых прочно укоренившегося стереотипа непререкаемой парадигмы сохранения естественной биосферы. Концепция управляемой биотехносферы противоречит подобному взгляду, поскольку она подразумевает не ограничение техногенеза окружающей среды, а, напротив, его углубление, сопровождающееся усилением роли техногенных факторов, с приданием им функции экологических регуляторов. Конечной целью в данном случае является создание глобальной системы инженерно-технических объектов, работа которой обеспечивает сохранение благоприятных условий для жизни людей и других живых организмов. В локальных масштабах подобный подход к решению экологических проблем уже практикуется достаточно широко. Даже многие заповедники, которые рассматриваются как уголки сохранившейся природы, в реальности представляют собой природно-технические системы. Их благополучное состояние – это результат мелиоративных, противопожарных и иных инженерно-технических мероприятий.

Разработка методов управления процессом глобального техногенеза предполагает комплексный анализ не только экологических, но и социально-демографических проблем, а также перспектив

технологического развития нашей цивилизации. Только такой междисциплинарный подход к изучению предмета позволит реализовать на практике провозглашенный ООН принцип «устойчивого развития», суть которого заключается в развитии экологически ориентированного технологического прогресса.

Основными целями, которым авторы следовали при написании данной монографии, являлись:

- научное обоснование необходимости объективного исследования процесса формирования биотехносферы и разработки механизмов управления ее состоянием;
- исследование закономерностей процесса техногенеза основных компонентов планетарной экологической системы;
- разработка научных основ создания управляемых природно-технических систем с целью предотвращения негативных тенденций, порождаемых техногенезом окружающей среды;
- анализ возможных путей преодоления сопутствующих развитию биотехносферы различных кризисных явлений (глобального кризиса водопотребления и др.).

Книга предназначена для широкого круга специалистов различных областей. Ее материалы также могут быть использованы при подготовке занятий по таким учебным дисциплинам, как «Безопасность жизнедеятельности», «Экология и безопасность жизнедеятельности», «Инженерная экология», «Техногенная безопасность», «Техногенная безопасность», «Экология техносферы», «Геоэкология», «Экологическая безопасность процессов и производств», «Природообустройство и охрана окружающей среды» и др. Описание затронутых в монографии проблем потребовало введения некоторых новых понятий и уточнения определений многих употребляемых терминов. По этим причинам мы сочли целесообразным включить в монографию в качестве приложения словарь специальных терминов.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОТЕХНОСФЕРЫ

1.1. Биотехносфера как особое состояние биосферы

Несмотря на то, что в научной литературе термин «биотехносфера» уже получил достаточно широкое распространение, его общепринятого определения до сих пор не существует. Отсутствует и единое мнение о том, кто впервые ввел данное понятие. В ряде источников указывается, что оно было предложено академиком А.В. Сидоренко (Сидоренко, 1980), который использовал данный термин для обозначения переходного этапа от биосферы к ноосфере. В качестве характерной особенности этого периода он рассматривал сочетание стихийного и сознательного, отрицательного и положительного влияния деятельности человека на окружающую среду. Однако термин «биотехносфера» в несколько иной интерпретации использовался некоторыми авторами и ранее (Мауришь, 1974; Хильми, 1975).

В монографии *биотехносфера* рассматривается как продукт трансформации биосферы, структурно-функциональная организация которой претерпевает значимые изменения под совокупным воздействием различных видов технической деятельности человека. Процесс, приводящий к образованию биотехносферы, обозначается термином *глобальный техногенез*.

Несмотря на происходящие изменения, биотехносфера сохраняет свою целостность как единая система. Но состав формирующих ее элементов и характер их взаимосвязей все больше отличаются от существовавших в естественной биосфере.

Для описания процесса формирования биотехносферы необходимо уточнить некоторые понятия. Под *структурно-функциональной*

организацией биотехносферы мы подразумеваем комплекс материальных тел (*структурных элементов данной системы*), связанных в единое целое вещественными и энергетическими потоками (*функциональными связями*). В состав структурных элементов биотехносферы входят все ранее существовавшие элементы биосферы, к которым добавляются различные техногенные объекты и техногенные образования.

Техногенные объекты являются продуктом целенаправленной технической деятельности человека, т.е. скоординированных усилий организованных групп людей, использующих для выполнения поставленных задач средства производства, созданные на основе опыта, накопленного в ходе исторического развития процесса производства материальных благ и научных достижений. Они, так же как и элементы биосферы естественного происхождения («тела», по терминологии В.И. Вернадского), представляют собой сложные конгломераты, в пределах которых почти всегда могут быть выделены в той или иной мере обособленные части. Техногенными объектами являются как промышленные зоны или мегаполисы в целом, так и составляющие их различные сооружения, их группы и комплексы.

Техногенные образования являются побочным продуктом технической деятельности. Их примерами могут служить терриконы или хвостохранилища, формирующиеся вблизи горнодобывающих и горнообогатительных предприятий, свалки строительных и иных отходов, окаймляющие крупные города, и т.п. Четкой границы между техногенными объектами и техногенными образованиями (как и между различными категориями естественных тел биосферы) не существует. Например, водохранилища ГЭС можно рассматривать и как техногенные образования (с точки зрения трансформации ландшафтной структуры), и в совокупности с гидротехническими сооружениями, через которые осуществляется сброс их вод, как техногенные объекты. Некоторые возникшие в прошлом техногенные образования со временем стали

представлять интерес как источники ценного сырья. В настоящее время в нормативно-правовую базу РФ уже официально включен термин «техногенные месторождения вторичных ресурсов»¹, т.е. сформировавшиеся в результате хозяйственной деятельности техногенные образования, зарегистрированные как месторождения ценного сырья. На их базе могут быть созданы техногенные объекты по добыче и переработке сырья из подобных техногенных образований.

Включение в систему новых элементов неминуемо приводит к возникновению новых функциональных связей, обеспечивающих их взаимодействие между собой и ранее существовавшими элементами системы. Данный процесс происходит и при переходе биосферы в состояние биотехносферы. В потоках вещества и энергии все большую роль начинают играть техногенные объекты и техногенные образования. Например, если рассматривать происходящие в настоящий момент глобальные климатические изменения как следствие индустриальной деятельности, то современная атмосфера в определенном смысле уже является техногенным образованием, формирующимся под воздействием работы множества различных техногенных объектов. Развитие парникового эффекта сопровождается происходящим в планетарном масштабе перераспределением потоков тепловой энергии и вещества, что проявляется в аномальном изменении водности речных бассейнов, возникновением катастрофических засух и наводнений.

Процесс техногенеза биосферы развивался постепенно в течение длительного времени. Вначале изменению человеком подвергались лишь относительно небольшие (локальные) участки окружающей среды. Затем процессы техногенеза приобрели региональный характер (Суздалева, Горюнова, 2014а). Их масштаб неуклонно возрастал по мере развития

¹ Пункт 3.2.6 ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения».

человеческой цивилизации. Формально можно считать, что переход биосферы в состояние биотехносферы осуществился, когда совокупное значимое воздействие техногенных процессов достигло глобального масштаба. Однако точное установление этого момента затруднительно. Фиксация изменения параметров планетарной экологической системы в силу сложности ее структуры и многообразия элементов возможна только на этапе, когда эти изменения уже достигли значительного развития и их последствия очевидны.

Условно границей перехода биосферы в новое состояние можно считать момент необратимого изменения состава ее наиболее динамичного элемента – атмосферы, то есть момент возникновения устойчивого тренда концентрации так называемых парниковых газов. Вместе с тем следует учитывать, что одновременно в предшествующий исторический период техногенная трансформация происходила в нескольких направлениях под воздействием комплекса разнородных факторов, основные из которых перечислены в таблице 1.

Следует отметить, что биосфера на протяжении своего существования неоднократно переходила из одного состояния в другое, условия в которых существенно отличались. Так, палеоклиматологи, изучающие эволюцию климата Земли, пришли к заключению, что во время ее существования «термоэры», т.е. теплые периоды, характеризующиеся высоким содержанием CO_2 в атмосфере, чередовались «криоэрами» (Чумаков, 1993). В один из таких «холодных» периодов, которые занимали менее четверти от общего времени существования биосферы, и возникла человеческая цивилизация. С этой точки зрения происходящее развитие парникового эффекта можно рассматривать как переход биосферы в состояние «термоэры». Оно также естественно, как предшествующее состояние, человеческая деятельность лишь спровоцировала этот переход. Очевидно, что подобная трактовка представляет значительное упрощение взгляда на происходящие глобальные процессы.

Таблица 1

Основные факторы и показатели техногенной трансформации биосферы Земли на протяжении XX века (Корчагин, Корчагина, 2012)

Фактор/показатель техногенеза	Начало века	Конец века
Валовой мировой продукт, млрд. долларов США/год	60	30000
Энергетическая мощность техносферы, ТВт	1	14
Численность населения, млрд. чел.	1.6	6.1
Добыча всех видов ископаемых, Гт/год	0.6	125
Потребление пресной воды, км ³ /год	360	5000
Потребление первичной продукции биоты, %	1	12
Площадь лесов, млн. км ²	46.5	38.7
Площадь вторичных пустынь, млн. км ²	28	36
Площадь деградированных земель, млн. га	140	19000
Сокращение числа видов организмов, %	--	20
Площадь суши, занимаемая техносферой, млн. км ²	13	38

Данный пример приведен лишь как свидетельство того, что состояние биосферы, существовавшей в доиндустриальный период, не следует рассматривать как единственно возможное ее «нормальное» состояние, а его изменение – как необратимую деградацию данной системы.

Следует отметить, что биосфера на протяжении своего существования неоднократно переходила из одного состояния в другое, условия в которых существенно отличались. Так, палеоклиматологи, изучающие эволюцию климата Земли, пришли к заключению, что во время ее существования «термоэры», т.е. теплые периоды, характеризующиеся высоким содержанием CO_2 в атмосфере, чередовались «криоэрами» (Чумаков, 1993). В один из таких «холодных» периодов, которые занимали менее четверти от общего времени существования биосферы, и возникла человеческая цивилизация. С этой точки зрения происходящее развитие парникового эффекта можно рассматривать как переход биосферы в состояние «термоэры». Оно также естественно, как предшествующее состояние, человеческая деятельность лишь спровоцировала этот переход. Очевидно, что подобная трактовка представляет значительное упрощение взгляда на происходящие глобальные процессы. Данный пример приведен лишь как свидетельство того, что состояние биосферы, существовавшей в доиндустриальный период, не следует рассматривать как единственно возможное ее «нормальное» состояние, а его изменение – как необратимую деградацию данной системы.

Перестройка структурно-функциональной организации биосферы всегда сопровождалась изменением условий, катастрофичным для многих видов организмов, вызывая резкое сокращение биоразнообразия. Подобные события, обозначаемые в палеонтологии как «массовые вымирания» и «глобальные биотические или экологические кризисы», происходили за время существования биосферы несколько десятков раз (Алексеев, 1989). Их причины были различны. Некоторые возникали вследствие катастрофических явлений – падения на Землю крупных метеоритов или резкой активизации вулканической деятельности (Альварес, Азаро, 1990; Алексеев и др., 1990; Куртийо, 1990). Это сопровождалось поступлением в атмосферу громадного количества

аэрозолей, что вызывало явления, подобные «ядерной зиме»². Динамика развития других носила более плавный характер. Ее причинами могли быть постепенные изменения глобального климата (Будыко, 1977), в т.ч. в и результате колебаний содержания в атмосфере углекислого газа. При этом массовые вымирания сопутствовали не только наступлению оледенений, характерных для криозэр. В периоды потепления климата среда обитания многих организмов также становилась непригодной для их существования. Так, характерное для термоэр усиление стратификации водной толщи морей приводило к развитию в их придонных слоях сероводородного заражения. Такая ситуация в современном мире сложилась, например, в Черном море. В его глубоких слоях в результате накопления сероводорода существование каких-либо высокоорганизованных форм жизни невозможно.

Вместе с тем разрушения биосферы как единой системы за всю историю ее существования ни разу не происходило. Наблюдался только переход этой системы из одного состояния в другое. Снизившееся в период массовых вымираний биоразнообразие через несколько миллионов лет вновь значительно повышалось за счет возникновения в процессе эволюции видов, приспособленных к существованию в новых условиях.

Очевидно, что описанный выше сценарий глобального экологического кризиса при переходе биосферы из одного ее состояния в другое для человечества неприемлем. Реакция общества на сообщение специалистов о том, что вскоре закономерно начнется очередное «массовое вымирание», при котором человек будет одним из возможных кандидатов «в вымершие виды», вполне прогнозируема. Предположение о

² Не только широкой общественности, но в среде специалистов-экологов мало известен тот факт, что сценарий «ядерной зимы», как закономерного результата ядерных конфликтов, был смоделирован группой ведущих советских метеорологов именно на основе анализа геологических и палеонтологических материалов, характеризующих последствия падения на Землю в предшествующие эпохи крупных метеоритов (Будыко и др., 1986).

том, что через миллионы лет на Земле расцветут новые, более совершенные, чем мы, формы жизни, никого не утешит.

Поэтому концепция управляемой биотехносферы как контролируемого перехода биосферы в новое состояние подразумевает, что на протяжении всего этого процесса на Земле будут сохраняться приемлемые условия для существования человека и большинства других населяющих ее организмов.

Идея о необходимости поиска механизмов управления процессом глобального техногенеза уже неоднократно ранее высказывалась рядом ведущих специалистов (Будыко, 1977; Израэль, 1984) и формулировалась в виде различных международных договоренностей, например, принятой ООН концепции «устойчивого развития». Но в настоящее время эта насущная задача еще далека от реального решения. Более того, в научном сообществе отсутствует четкое видение общего направления, в котором должна развиваться деятельность, способная дать ощутимые результаты. Дефицит продуктивных идей нередко подменяется выдвиганием различных декларативных заявлений или распылением сил на решение частных задач.

По этим причинам главными задачами монографии являлись обобщение имеющегося опыта эффективного управления процессами техногенеза, а также анализ возможностей этой деятельности и обоснование необходимости ее дальнейшего развития.

1.2. Биотехносфера, ноосфера и техносфера

Чтобы избежать неясностей при последующем изложении материалов монографии, рассмотрим вкратце содержание, предназначение и использование этих терминов. Прежде всего, следует отметить, что смысл, вкладываемый в понятие *«биотехносфера»*, вне зависимости от

использовавших его авторов³, изначально был принципиально отличен от утопической «ноосферы» В.И. Вернадского (2012). С экологической точки зрения возникновение биотехносферы – явление в существующих условиях неизбежное, но вместе с тем нежелательное. Так же как неизбежна и нежелательна урбанизация, охватывающая все новые и новые участки окружающей среды по мере роста народонаселения планеты.

Попытка Н.Ф. Тютюновой (1987) объединить концепции биотехносферы и ноосферы, на наш взгляд, излишне идеализирована и далека от реально наблюдающихся тенденций развития человечества. По ее мнению, биотехносфера является лишь первым этапом перехода от существующей действительности, отражающей социально-экономические реалии, к миру, развитие которого будет управляться научной мыслью. Предложенная ею схема включает следующие, последовательно сменяющие друг друга, стадии развития:

- стадия биотехносферы, для которой характерно сочетание стихийного и сознательного, отрицательного и положительного влияния деятельности человека на окружающую среду; этот этап в конце XX века, по мнению автора, уже был близок к завершению;

- стадия ноотехносферы, которая наступит, когда геологическая деятельность человека будет всецело направляться и контролироваться достижениями научно-технической мысли; «научная мысль станет планетным явлением в полном смысле этого слова»;

- стадия ноокосмосферы – научная мысль становится «космическим явлением».

Однако, как свидетельствует история человечества, «достижения научно-технической мысли» сами по себе никогда не контролировали

³ В научной литературе в настоящее время высказываются различные мнения о том, кто впервые ввел термин «биотехносфера». Мотивацией во всех случаях являлось желание дистанцировать реально наблюдаемую картину техногенеза биосферы от понятия ноосферы, в основе которого лежит сугубо позитивный характер воздействия на нее человеческой деятельности.

развития цивилизации, хотя и являлись важнейшим фактором данного процесса. Освоение ресурсов Нового Света началось не в тот момент, когда это стало технически возможным, а когда появилась острая необходимость освоения новых путей в Индии для вывоза пряностей. Точно также реальное управление биотехносферой станет возможным не тогда, когда необходимость этого шага будет осознана специалистами (это уже произошло), а когда будут разработаны механизмы управления данным процессом, соответствующие потребностям социально-экономического и политического развития общества.

Биотехносфера, в отличие от ноосферы, не является результатом целенаправленной перестройки биосферы «в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого». Определяющая роль в ее развитии принадлежит обширному комплексу экономических и демографических (геополитических) факторов. Их совокупное воздействие и определяет направление и динамику техногенной трансформации биосферы. Но количество субъектов этого воздействия крайне велико, а преследуемые ими интересы могут существенно отличаться.

Потенциально процессы развития мирового производства, урбанизации и демографии управляемы. Следовательно, существует и реальная возможность разработки механизмов управления биотехносферой. Но решение этой задачи путем разработки различных директив даже самого высокого уровня пока не дало желаемых результатов. Примером может служить провозглашенная ООН концепция устойчивого развития (Марфенин, 2006). Ее базовым принципом является развитие производства с учетом не только экономических, но и экологических интересов будущих поколений. Несмотря на то, что серьезных возражений по поводу этой идеи никем не выдвигалось, ее реальное воплощение носит в основном пропагандистский характер и касается частных проблем. Например, снабжение развивающихся стран возобновляемыми источниками электроэнергии пока не способно решить

проблемы их экономического развития. Многие из них, получая практически бесплатно ветровые и солнечные энергоустановки, не отказываются от строительства атомных электростанций.

Авторы монографии придерживаются мнения, что достичь желаемых результатов в этой области можно на основе не спускаемых сверху директив, а путем постепенного построения иерархии управляемых участков биотехносферы – *природно-технических систем (ПТС)*, создание которых может принести ощутимую социально-экономическую выгоду. Данный вопрос более подробно будет рассмотрен во II-ой главе монографии. Сейчас только отметим, что экологические условия в них регулируются инженерно-техническими устройствами и системами. То есть в определенной мере *создание ПТС можно рассматривать как углубление процессов техногенеза*. Но задачей подобного техногенеза окружающей среды является предотвращение деградации и охрана ее уцелевших природных компонентов (Суздалева, Горюнова, 2014а; Суздалева, 2016а). Подобный подход к разработке природоохранных мер принципиально отличен от традиционного, базирующегося на защите окружающей среды от любых форм ее техногенной трансформации. По этой причине для обозначения данной методологии нами был предложен термин *«альтернативная стратегия охраны окружающей среды»* (Федоров, Суздалева, 2014а; Суздалева, Горюнова, 2015). На наш взгляд, это единственная реальная возможность воспрепятствовать дальнейшей экологической деградации биотехносферы, закономерно приводящей ее в коллапсирующее состояние, для обозначения которого Г.А. Заварзиным (2011) было введено понятие «какосфера».

Термин биотехносфера необходимо также четко отграничивать от понятия *«техносфера»*, под которым подразумевается совокупность техногенных объектов и участков, подвергшихся коренному преобразованию в процессе производственной деятельности. Весьма распространено упрощенное представление о техносфере как об

обособленной части биосферы. Но, как и в любой другой системе, в биосфере не может быть элементов, не испытывающих оказываемых на нее воздействий. Поэтому термин «техносфера» отражает не разделение биосферы на два сосуществующих состояния («техносферу» и «собственно биосферу»), а лишь неравномерность техногенеза окружающей среды. Как будет показано в последующих разделах монографии, влияние технической деятельности человека уже приобрело глобальный характер. В биотехносфере могут существовать только участки, претерпевшие в ходе техногенеза значительные изменения, и участки, на которых воздействие этого процесса внешне еще малозаметно. Вместе с тем, употребление термина «техносфера», несомненно, целесообразно для обозначения участков, преимущественно занятых техническими объектами. Характер среды и методы проведения экологических исследований имеют здесь определенную специфику.

Но выделение техносферы как отдельного предмета изучения не следует воспринимать как возможность заключить эту область в определенные границы (например, усиливая контроль за промышленными сбросами и выбросами) и, таким образом, попытаться изолировать ее от остальной биосферы.

Следует обратить внимание еще на одну особенность образований, в совокупности обозначаемых термином «техносфера». На Земле не существует сколько-нибудь крупных инженерно-технических объектов, в которых не присутствовали бы компоненты природной среды. Это и воздух, которым дышат люди, работающие на производстве, и который образуется за пределами этих объектов в ходе биологических процессов. Это и вода, забираемая в техносферу из водных объектов, лежащих за ее пределами, и используемая, как и атмосферный воздух, во многих технологических процессах. Кроме того, техносфера активно заселяется отдельными видами организмов, которые находят в ней лучшие условия для своего развития, чем в природной среде (отсутствие хищников, обилие

подходящей пищи). Развиваясь в массовом количестве, эти виды создают серьезные затруднения в работе различных инженерно-технических объектов и в совокупности обозначаются термином «*биопомехи*» (Суздалева и др., 2004). Некоторые организмы обладают способностью разрушать и изменять свойства искусственно создаваемых материалов. Для описания этих процессов используется понятие «*биоповреждения*».

Инженерно-технические объекты и живущие в них организмы, которые в совокупности можно обозначить термином «*техноценоз*», вместе образуют динамичную систему. Изменение режима работы, конструкции или физико-химических условий ее техногенного элемента неизменно влечет ответную реакцию ее же биологического элемента. В ряде случаев изменение параметров этой системы (развитие биологического элемента) создает угрозу возникновения техногенной катастрофы (Горюнова и др., 2002). Примером может служить зарастание различными организмами водоводов систем технического водоснабжения АЭС. Возникающее в результате развития «*биообрастания*» сокращение подачи воды может привести к перегреву атомного реактора и его разрушению. Таким образом, в реальности техносфера состоит не из техногенных объектов, как это трактуется в определениях данного понятия (Реймерс, 1990; Данилов-Данильян и др., 2002), а представляет собой совокупность *природно-технических систем*. Их особенностью является превалирование техногенного элемента над биологическим. При этом необходимо отметить, что это скорее субъективная точка зрения, с которой рассматривается система, не отражающая функциональной значимости составляющих ее элементов. В приведенном выше примере возникновение мощных биообрастаний в водоводах АЭС – не менее важный фактор, чем сбой в работе, обусловленный чисто технической неисправностью.

С нашей точки зрения, *техносфера представляет собой часть биотехносферы, в которой процессы техногенеза окружающей среды и вызванная ими ее деградация достигли своего наивысшего развития*. Но

слагающие ее природно-технические системы существуют не изолированно от окружающей среды, а являются одним из ее компонентов. Они функционально связаны с другими природно-техническими системами, лежащими за пределами техносферы, в качестве границ которой нередко рассматривают границы урбанизированных территорий или промышленных зон. Например, водоток, истоки которого расположены на таком участке, может в дальнейшем, протекая через территорию, покрытую растительностью, входить в состав природно-технической системы, используемой в качестве места массового отдыха – «резорта» (Суздалева и др., 2012). Проведенные исследования показали, что подобные резорты могут формироваться даже на берегах открытых участков ливневой канализации.

Таким образом, граница между техносферой и биотехносферой носит весьма условный характер, а к изучению слагающих их природно-технических систем применимы одни и те же методологические принципы.

1.3. Формирование биотехносферы и мировые социально-экологические кризисы

В обобщенной форме *кризис* можно определить как период или состояние, при котором факторы, ранее обеспечивавшие относительную стабильность ситуации, уже неспособны выполнять свою задачи. ***Социально-экологический кризис – это возникновение в обществе кризисной ситуации, порожденной негативными изменениями окружающей среды или истощением ее ресурсов.***

Формирование биотехносферы сопровождается развитием нескольких подобных кризисов, способных дестабилизировать социальную обстановку в обширных регионах нашей планеты. В поисках

выхода из кризисных ситуаций в обществе назревают острые конфликты, в ряде случаев способные перейти в вооруженные столкновения.

При этом следует подчеркнуть, что сама по себе техногенная трансформация биосферы, хотя и оказывает весьма существенное влияние на их развитие, но не является их причиной. Главный фактор возникновения мировых социально-экологических кризисов – дисбаланс между ростом народонаселения и количеством ресурсов окружающей среды, необходимых для обеспечения нормальной жизнедеятельности людей. Перечислим основные из них:

Мировой кризис перенаселения обуславливается избытком населения по отношению к средствам существования. На современном этапе его решение невозможно без расширения пространства, пригодного для существования человека, т.е. *урбанизации* все новых участков окружающей среды, ранее занятых природными экосистемами.

Мировой продовольственный кризис заключается в нехватке пищевых продуктов. Уже сейчас значительная часть населения планеты испытывает недостаток необходимых продуктов питания. Данный кризис порождает *агфляцию* (аграрную инфляцию), заключающуюся в опережающем росте цен на сельскохозяйственную продукцию по сравнению с общим ростом цен и доходами населения (Никонов, 2009). Агфляция усиливает социальную напряженность и в регионах, население которых не испытывает голода. Для решения мирового продовольственного кризиса необходимы принципиальные изменения в характере мирового землепользования. В частности, это сельскохозяйственное освоение новых районов (пустынь и др.), ранее не пригодных для этой деятельности, на основе создания крупномасштабных инженерно-технических систем (ирригационных и др.). Это ни что иное, как усиление процесса трансформации биосферы в форме так называемого *«аграрного техногенеза»* (Суздалева, Горюнова, 2014а) обширных участков окружающей среды.

Мировой кризис водопотребления – постоянно возрастающая нехватка ресурсов пригодной для употребления пресной воды. Согласно статистическим данным ООН, в настоящее время в условиях острого водного дефицита существует около 1,1 млрд человек, и, кроме того, еще приблизительно 1 млрд человек находится в состоянии так называемого «водного стресса», т.е. испытывает дефицит воды время от времени (Данилов-Данильян, 2009). Данные явления имеют хорошо выраженную тенденцию к росту и к середине XXI века в условиях водного дефицита будет жить 40% населения Земли, т.е. 4 – 5 млрд человек. Решение мирового кризиса водопотребления также невозможно без дальнейшей техногенной трансформации биосферы, прежде всего, без строительства инженерно-технических систем по перераспределению ресурсов пресных вод (Суздалева, Горюнова, 2014б; Суздалева, 2015а).

Таким образом, с одной стороны, развитие всех мировых социально-экологических кризисов является мощным фактором техногенной трансформации биосферы, с другой стороны, их приемлемое решение может быть найдено только на основе разработки механизмов управления формирования биотехносферы. Неуправляемое усиление и глобализация техногенеза, даже в случае достижения локальных кратковременных успехов при попытках разрешения кризисов иными путями, в долгосрочной перспективе приведут лишь к углублению социально-экологических кризисов в результате неконтролируемой деградации планетарной экосистемы⁴. По этой причине *создание управляемой биотехносферы – это неременное условие дальнейшего развития нашей цивилизации.*

⁴ Эти вопросы рассматриваются в III–VII главах монографии.

ГЛАВА II. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ УПРАВЛЯЕМОЙ БИОТЕХНОСФЕРЫ

2.1. Природно-технические системы как структурный элемент биотехносферы

Природно-техническая система (ПТС) – это любая совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, состояние и функционирование которых взаимосвязаны и/или взаимозависимы (Суздалева, Горюнова, 2014а; Суздалева, 2016). Такие системы возникают везде, состояние окружающей среды начинает зависеть от технической деятельности человека. Но это не просто вторжение чужеродных объектов в природную среду, приводящее к ее деградации. Возникают и обратные связи, обусловленные тем, что работа инженерно-технического объекта зависит от свойств внешней среды⁵, в которой он эксплуатируется. Важнейшую роль играют формирующиеся вокруг него экологические условия. Так, наносимый промышленным объектом экологический ущерб и затраты по его компенсации в современном мире являются одними из важнейших факторов, определяющими его экономические показатели и инвестиционную привлекательность. Спрос на многие виды продукции, произведенные в экологически неблагополучных районах, катастрофически снижается. Кроме того, персонал объектов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду, как правило, сам в наибольшей степени испытывает отрицательные последствия данного воздействия. Люди, работающие на производстве, заинтересованы в сохранении

⁵ Так, согласно п. 2.5. ГОСТ Р ИСО 14015-2007, «окружающая среда предприятия – это внешняя среда, в которой функционирует организация, включая воздух, воду, землю, природные ресурсы, флору, фауну, человека и их взаимоотношения».

природных объектов в районах их проживания. Таким образом, современная техническая деятельность человека приводит не к одностороннему воздействию на природу в процессе производства необходимой ему продукции, а к возникновению ПТС. При этом системное единство технических объектов и окружающей их среды усиливается по мере роста объемов мирового производства и народонаселения, закономерно влекущего за собой возникновение *дефицита благоприятных экологических условий*. Под этим понятием мы подразумеваем сокращение участков Земли, где человек не подвергался бы негативному воздействию своей же деятельности, способному вызвать ухудшение его здоровья и здоровье его потомства. Сейчас в неблагоприятных экологических условиях живет уже значительная часть человечества. Устойчиво снижать темпы роста производства, как и роста численности человечества, в настоящее время нереально. Следовательно, предотвратить дальнейшее увеличение дефицита благоприятных экологических условий можно только контролируя процесс образования и функционирования ПТС, для чего необходимо его тщательное изучение. Именно эта идея, заключающаяся в необходимости сопряженного взаимоучета экономических и экологических последствий развития производства, заложена в принятой ООН концепции «устойчивого развития» (Федоров, Суздалева, 2014б).

Как уже указывалось в ГЛАВЕ I, процесс превращения биосферы в биотехносферу сопровождается внедрением в нее новых структурных элементов (техногенных объектов и техногенных образований), объединенных функциональными связями. Эти связи представляют собой сформировавшиеся под воздействием технической деятельности человека потоки вещества и энергии, распространяющиеся по всей системе. Благодаря этому воздействие техногенеза в той или иной мере испытывают все элементы, входившие в ранее существовавшую биосферу. Однако степень их техногенной трансформации различна. Наряду с

природно-техническими системами, которые можно рассматривать как возникшие в ходе техногенеза новые системы, существуют естественные экосистемы, структурно-функциональная организация которых еще не претерпела принципиальных изменений. Вместе с тем, они также постепенно трансформируются в процессе глобального техногенеза и по этой причине для их обозначения целесообразно использовать термин *«сохранившиеся экосистемы»*.

Основной структурной единицей ранее существовавшей биосферы на всех этапах ее естественной эволюции являлась экосистема, т.е. система, состоящая из взаимосвязанных биотических и абиотических элементов, объединенных потоками вещества и энергии. Возникшая на современном этапе биотехносфера состоит из *«сохранившихся экосистем»* и различного вида ПТС. При этом в глобальном масштабе наблюдается устойчивый тренд усиления техногенной трансформации сохранившихся экосистем. Можно прогнозировать, что в будущем термин *«сохранившиеся экосистемы»* приобретет имиджевый характер. Под ними будут пониматься специализированные ПТС, в которых совокупность природных компонентов используется в рекреационных целях или как резерват биологических объектов. Условия в них будут формироваться не в ходе естественных процессов, а в результате работы экологических регуляторов. И прообразом уже сейчас стали многие национальные парки и заповедники в развитых странах, которые представляют собой подобные ПТС. Благоприятные экологические условия в них поддерживаются благодаря функционированию инженерно-технических систем и постоянным проведением разного рода мероприятий с использованием различных технических средств.

Рассматривая общую тенденцию формирования биотехносферы, следует подчеркнуть, что глобальные масштабы происходящих процессов отнюдь не подразумевают снижения значимости природных компонентов ПТС. Напротив, по мере углубления техногенеза окружающей среды их

роль неуклонно возрастает. Все более актуальной становится и задача сохранения в ПТС благоприятных условий не только для жизни человека, но и других организмов. Иной, техногенно не трансформированной среды обитания просто не останется. Уже в обозримом будущем биоразнообразие нашей планеты будет биоразнообразием ПТС. Авторы монографии сознают, что такое суждение неминуемо вызовет протест у большинства экологов. Еще более эмоциональную реакцию можно ожидать от неспециалистов, в т.ч. занимающихся политической деятельностью, связанной с решением экологических проблем. Но уже сейчас настал тот момент, когда необходимо, преодолев сложившиеся стереотипы мышления, непредвзято подойти к оценке складывающейся ситуации. Только это позволит принять действенные меры по сохранению биоразнообразия, нацеленные на длительную перспективу, а не на сиюминутный эффект.

2.2. Основные виды природно-технических систем и пути их формирования

Существует несколько различных видов природно-технических систем, отличающихся по своим масштабам, механизму функционирования и генезису. Рассматривая *классификацию ПТС по их масштабам*, необходимо определить критерий, исходя из которого и определяются их пространственные границы. В качестве его целесообразно использовать дальность распространения значимого воздействия включаемых в данную ПТС инженерно-технических объектов. В этом случае пространство, занимаемое конкретной ПТС, – это участок окружающей среды, условия в котором складываются под влиянием определенного объекта технической деятельности или совокупности таких

объектов, влияние которых в целом можно рассматривать как единый фактор.

В соответствии с масштабами воздействия можно выделить *локальные ПТС*, образующиеся вокруг отдельного производственного объекта, и *региональные ПТС*, техногенными элементами которых являются все промышленные предприятия данного региона. Обусловленное ими совокупное воздействие нередко необходимо исследовать как самостоятельный феномен. Например, это уровень загрязненности атмосферы или крупного водного объекта, формирующийся из многих различных источников.

В некоторых случаях можно также выделить *межрегиональные ПТС*, охватывающие несколько регионов, отличающихся по своим ландшафтно-климатическим и иным особенностям. К их числу в настоящее время можно отнести многие крупные речные бассейны, например, бассейн р. Волга.

Наконец, классифицируя ПТС по их масштабности, в качестве их отдельного вида следует рассматривать *глобальную ПТС* – биотехносферу, в которой совокупные последствия технической деятельности (например, парниковый эффект) необходимо рассматривать на общепланетарном уровне. Необходимо отметить, что каждый из выделенных по своим масштабам видов ПТС, хотя и может входить в состав ПТС более высокого ранга, является отдельной системой. Исследование крупномасштабных ПТС не подменяет изучения входящих в их границы локальных ПТС. Так, системное изучение процесса формирования качества окружающей среды на региональном уровне не дает исчерпывающего представления об экологической ситуации на участках локальных ПТС. Точно так же результаты изучения совокупности ПТС небольшого масштаба не в полной мере отражают структурно-функциональную организацию крупной ПТС, в состав которой они входят. Это отдельный предмет исследования.

Классификация ПТС по механизму функционирования

подразумевает их разделение на неуправляемые, управляемые и потенциально управляемые.

Состояние среды в ***неуправляемых ПТС*** целенаправленно не регулируется. Вместе с тем на входящие в них объекты распространяются все нормы действующего законодательства. Органы исполнительной власти, в компетенцию которых входят контроль и надзор в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, отслеживают воздействие, оказываемое входящими в неуправляемые ПТС различными субъектами хозяйственной деятельности. Контролируется также состояние природных и природно-антропогенных объектов. Но организация контроля отдельных элементов ПТС не обеспечивает контроля за системой в целом и тем более управления ее состоянием.

Под ***управлением состоянием ПТС*** мы понимаем наличие механизмов, способных при внешних воздействиях возвращать экологическую ситуацию в прежнее благополучное состояние или предотвращать внешние воздействия, способные его ухудшить. В природных экосистемах эту функцию выполняли естественные процессы самоочищения и самовосстановления. Уровень антропогенной нагрузки в ПТС во многих случаях значительно превышает возможности данных процессов у сохранившихся в них природных элементов. Поэтому неуправляемые ПТС подвержены закономерной экологической деградации. Меры по контролю за деятельностью входящих в них субъектов хозяйственной деятельности способны лишь замедлить этот процесс. Так, без создания систем водоочистки (которые можно рассматривать как элемент управления ПТС) реки, протекающие через зоны интенсивного хозяйственного освоения, превращаются в сточные канавы. Это происходит и в тех случаях, когда органы исполнительной власти осуществляют контроль за сбросами предприятий, устанавливая

для них предельно допустимые уровни, так называемые «предельно допустимые сбросы» (ПДС).

Состояние управляемых ПТС постоянно регулируется с целью поддержания в них безопасных условий для жизнедеятельности человека и благоприятной экологической ситуации. Управление параметрами этих систем осуществляется благодаря работе специального инженерно-технического объекта или согласованной работе группы таких объектов, в совокупности выполняющих функцию «*экологического регулятора*». Простейшим примером таких ПТС могут служить некоторые городские водные объекты, качество воды в которых, необходимое для существования обитающих в них организмов, и их эстетическая привлекательность обеспечиваются работой систем принудительной циркуляции и очистки вод (Безносков и др., 2006). Но функции экологического регулятора могут выполнять не только инженерно-технические объекты или системы. Эту же роль играют и систематически проводимые мероприятия. Так, сохранение в современных условиях лесных массивов во многом зависит от периодически проводимых противопожарных мероприятий (например, прокладка и расчистка просек). Но поддерживаемые благодаря технической деятельности человека леса (а лесотехнические мероприятия являются одним из ее видов) представляют собой не естественные экосистемы, а управляемые ПТС. Очевидно, что доля естественных элементов в их структурно функциональной организации превалирует, но технические факторы также играют значимую роль.

В зависимости от способа создания их регулятора управляемые ПТС можно условно разделить на две категории:

- *специализированные управляемые ПТС*, регулятор которых изначально создается с основной целью регулирования условий окружающей среды и сохранения благоприятной экологической ситуации;

- *оптимизационные управляемые ПТС*, в качестве регуляторов которых используются подвергшиеся экологической оптимизации инженерно-технические системы, сооружения и объекты, первоначально создававшиеся с иными целями (примером являются ПТС, формирующиеся в зоне значимого влияния крупных ГЭС).

Потенциально управляемые ПТС имеют в своем составе инженерно-технический объект или систему, манипулируя режим работы которых или внося в конструкцию определенные изменения, можно превратить их в экологические регуляторы. Эти меры, обозначаемые термином «*экологическая оптимизация*» (Суздалева, Горюнова, 2014а) могут осуществляться как при проектировании инженерно-технических систем, так и в ходе их эксплуатации.

ПТС можно *классифицировать по их генезису*, т.е. происхождению и механизму формирования. Можно выделить модификационные и конструкционные ПТС. *Модификационные ПТС* возникают в результате техногенеза природной среды. Примером могут служить лесопарковые зоны, которые являются остатками лесных массивов, существующих в районах городской застройки. В ряде случаев в них способна сохраниться значительная часть флоры и фауны. Но это происходит лишь в том случае, если в лесопарковых зонах систематически осуществляются специальные инженерно-технические мероприятия (вывоз мусора и др.) и создаются объекты экологически ориентированной инфраструктуры (шумозащитные экраны, системы отвода загрязненного поверхностного стока с прилегающей городской территории и т.п.). Лесопарк в данном случае становится элементом благоустроенной урбосистемы, которую мы рассматриваем как один из видов управляемых ПТС (Суздалева, 2014). Если подобная деятельность не осуществляется или проводится бессистемно, остатки лесного массива закономерно превращаются в неорганизованную свалку, его биоразнообразие и рекреационный потенциал снижаются.

К категории модификационных ПТС можно условно отнести и природные экосистемы, изменения которых обусловлены лишь глобальными факторами. Так, нетронутые (точнее – не испытывающие на себе влияния от непосредственного контакта с какими-либо видами технической деятельности) экосистемы тропических лесов или арктических озер трансформируются в результате развития парникового эффекта и иных техногенных факторов, способных оказывать дистанционное воздействие (например, кислотных дождей). Строго говоря, в биотехносфере, где воздействие технической деятельности человека распространяется на все без исключения участки, естественных экосистем уже существовать не может. Все входящие в ее состав природные объекты являются элементами ПТС. Вместе с тем, с методологической точки зрения, участки окружающей среды, еще не претерпевшие существенных изменений, можно условно рассматривать как «естественные экосистемы, в целом сохранившие свою структурно-функциональную организацию в условиях глобального техногенеза». Для краткости в дальнейшем мы будем обозначать их как «сохранившиеся экосистемы». Если процесс глобального техногенеза будет и в дальнейшем бесконтрольно усиливаться и расширяться, то «сохранившиеся экосистемы» начнут деградировать, проходя через ряд фаз, каждая из которых характеризуется упрощением их структуры, снижением биоразнообразия и природно-ресурсного потенциала (Суздалева, Горюнова, 2014а; Горюнова, Суздалева, 2015). Избежать этого можно только превратив их в управляемые ПТС. Степень управления экологической ситуацией может колебаться в широких пределах. Так, в настоящее время человечество пытается контролировать развитие парникового эффекта. В контексте изучаемых проблем это можно рассматривать и как попытку установления контроля над сохранившимися экосистемами, удаленными от техносферы на значительное расстояние. Если в результате этой деятельности станет, например, возможным контролирование состава и количества атмосферных осадков, выпадающих

в «девственных тропических лесах», то экосистемы этих лесов в определенной мере превратятся в модификационные управляемые ПТС. Их состояние начинает зависеть от функционирования экологического регулятора, которым в данном случае является совокупность мер по сохранению благоприятной макроклиматической ситуации.

Конструкционные природно-технические системы образуются в результате целенаправленной деятельности по созданию благоприятных условий на участках, где естественные экосистемы были ранее уничтожены. Например, подобные ПТС создаются в настоящее время при расширении городской застройки. Практически все крупные города, возникшие не позже конца XX века, в течение длительного исторического периода были окружены обширными свалками, которые обычно представляют собой неуправляемые ПТС, находящиеся на финальных стадиях экологической деградации (Суздалева, 2014). Возведению на этих участках жилых массивов обычно предшествует комплекс работ по рекультивации почвенного покрова и инженерно-экологическому обустройству территории в форме озеленения этих участков, создания искусственных водных объектов. В данном случае биотические элементы не сохраняются как остатки ранее существовавшей здесь природной среды, а целенаправленно встраиваются в искусственно создаваемую ПТС. Дальнейшее существование этих объектов также возможно только при систематическом проведении инженерно-технических мероприятий. В их отсутствии заброшенные озелененные участки превращаются либо в замусоренные заросли рудеральной растительности⁶, либо практически исчезают по причине отсутствия полива и других мер, необходимых для поддержания их существования в техногенной среде.

Создание конструкционных ПТС на месте уничтоженных природных экосистем можно рассматривать как особый случай техногенеза окружающей среды – **креативный техногенез** (Суздалева, Горюнова,

⁶ Растительность, формирующаяся на мусоре и свалках (Реймерс, 1990).

2014а). Этим термином можно обозначить вид техногенеза, при котором в ходе человеческой деятельности возникает новый природно-техногенный объект с целенаправленно формируемыми благоприятными экологическими условиями.

2.3. Парадигмы природоохранной деятельности

Парадигма в сфере научной деятельности – это совокупность убеждений, мировоззренческих позиций и методологических основ решения проблем, принятых в рамках устоявшейся научной традиции в той или иной области в определенный период времени. Та или иная парадигма определяет стереотипы мышления специалистов, ограничивает область поиска решения изучаемых ими проблем и заставляет безоговорочно отвергать способы, не вписывающиеся в господствующую в данный момент парадигму. Подобные явления сопутствуют не только развитию всех наук, но и видов практической деятельности. Однако окружающий нас мир подвержен постоянным изменениям. Меняется по мере накопления фактов и наше осмысление наблюдающихся явлений. Поэтому, рано или поздно, всегда происходит смена устоявшихся парадигм новыми, открывающими принципиально иные пути решения проблем (Кун, 2015). Трансформация естественной биосферы в биотехносферу создает ситуацию, требующую если не пересмотра, то хотя бы расширения существующей парадигмы природоохранной деятельности, переосмысления ранее казавшихся незыблемыми мировоззренческих позиций (Суздалева, Горюнова, 2015).

Господствующую в настоящее время парадигму природоохранной деятельности можно назвать «ограничительной». В соответствии с ней, охрана окружающей среды заключается в мерах, целью которых является изоляция окружающей среды от неблагоприятных техногенных

воздействий или хотя бы ограничение их влияния. Основная задача – сохранить окружающую среду в ее естественном состоянии, по возможности воспрепятствовать ее техногенезу и деградации. В контексте рассматриваемой в монографии проблемы – это попытки остановить процесс превращения естественной биосферы в биотехносферу. Подобные устремления, несомненно, заслуживали бы безоговорочной поддержки, если бы не существующие реалии (непрекращающийся рост народонаселения, расширяющаяся урбанизация и т.п.), которые не позволяют такими методами обеспечить устойчивое сохранение благоприятной экологической ситуации. Высказанное суждение не следует воспринимать как предложение отказаться от мер по ограничению негативного воздействия на окружающую среду. Их значимость в современном мире неоспорима.

Смена парадигмы в данном случае заключается в пересмотре роли традиционных форм охраны окружающей среды и в перемещении приоритета к мерам по активному формированию экологических условий. Эту новую парадигму можно обозначить как **«креативную парадигму природоохранной деятельности»**. Ее воплощением на практике является разработка методов **«альтернативной стратегии охраны окружающей среды»**, упоминавшейся в разделе 1.2.

Различие ограничительной и креативной парадигмы можно показать на следующем примере. В настоящее время при разработке мер, направленных на предотвращение негативных экологических последствий глобальных климатических изменений **«парникового эффекта»** господствует ограничительная парадигма. Поэтому усилия, направленные на решение данной проблемы, заключаются, главным образом, в попытках ограничить промышленную и аграрную эмиссию парниковых газов. По ряду причин подобный подход в современных условиях уже не сможет в длительной перспективе стабилизировать состав атмосферы (Суздалева, Горюнова, 2015). Например, все более значимую роль начинает играть

эмиссия парниковых газов при деградации зон многолетней мерзлоты, которая в свою очередь обусловлена происходящими климатическими изменениями.

Креативная концепция подразумевает концентрирование усилий на системном *инженерно-экологическом обустройстве окружающей среды*. Иными словами, это создание управляемых ПТС, нивелирующих негативные последствия парникового эффекта и позволяющих осуществить плавный переход в новое состояние земной климатической системы, с наименьшими потерями адаптироваться к новым условиям. Например, технически невозможно воспрепятствовать изменению количества выпадающих осадков, приводящих к возникновению наводнений в одних регионах и хронических засух в других. Но реально осуществимо строительство сети гидротехнических систем, осуществляющих межбассейновую переброску вод, и на их основе организовать межрегиональные управляемые ПТС (Суздалева, Горюнова, 2014б; Суздалева 2015а).

2.4. Историческое развитие процесса техногенеза окружающей среды и востребованность создания управляемых ПТС

Для всесторонней и непредвзятой оценки последствий техногенеза окружающей среды и их прогноза на ближайшее будущее необходимо кратко рассмотреть данный процесс в историческом плане. Человеческая деятельность обуславливала уничтожение значительных участков природной среды и их трансформацию в природно-технические системы, начиная с первых этапов развития цивилизации. С ростом народонаселения Земли и уровня технологического развития процесс техногенеза окружающей среды углублялся и охватывал все большее

пространство. Но еще в период промышленной революции VIII – XIX вв. человечество могло сосуществовать с почти безжизненными и бесконтрольно загрязняемыми промышленными зонами. Эти зачатки техносферы носили локальный характер и даже на территориях стран Западной Европы были окружены естественными экосистемами, в значительной мере способными нейтрализовать распространяющиеся из них негативные воздействия. Более того, эти экосистемы оказывали позитивное воздействие на среду внутри промзон. Относительно небольшие по современным меркам промышленные центры того времени периодически «продувались» чистым воздухом извне. Живущие в них люди могли отдыхать в их окрестностях с достаточно благоприятными экологическими условиями. Таким образом, негативные экологические воздействия, обусловленные техногенезом, могли проявляться лишь на отдельных участках биосферы, не затрагивая ее остального пространства.

Следует также отметить, что существование промзон периода промышленной революции и тем более центров производственной деятельности предшествующих эпох не вызывало полного исчезновения каких-либо видов. Основную угрозу биоразнообразию представлял в то время перепромысел хозяйственно-ценных животных и растений.

Ситуация начала принципиально изменяться в конце XIX – начале XX века, когда процессы техногенеза окружающей среды сначала приобрели межрегиональный, а затем и глобальный характер. Это время начала формирования биотехносферы. Благоприятное влияние на промзоны окружающих их природных экосистем резко снизилось. Напротив, интенсивность воздействия на природную среду со стороны участков техносферы значительно возросла. Естественные гомеостатические механизмы природных экосистем уже стали неспособны его нейтрализовать. В качестве одного из первых проявлений глобального техногенеза можно рассматривать развитие парникового эффекта. Оно началось с того момента, когда промышленные выбросы углекислого газа

уже не могли в полном объеме изыматься из атмосферы фотосинтезирующими организмами. Обусловленные парниковым эффектом климатические изменения стали оказывать воздействие практически на все земные экосистемы, вне зависимости от их удаленности от промышленных зон.

Интенсивное хозяйственное освоение все новых территорий и их природных ресурсов, сопровождающееся урбанизацией значительных участков, лишило многие виды организмов значительной части среды их обитания. Причиной этого явилось, например, зарегулирование стока речных бассейнов и загрязнение их вод. Основной угрозой утраты биоразнообразия постепенно становится не хищнический промысел организмов, а утрата местообитаний и формирование экологических условий, неприемлемых для их существования.

В условиях неконтролируемого глобального техногенеза благоприятных условий для жизни лишилась и значительная часть человечества. И это не только загрязнение воды и воздуха, создающее прямую угрозу для здоровья. Люди продолжают оставаться биологическими организмами, для жизни которых необходимо сохранение природных ресурсов: лесных массивов, обеспечивающих необходимое качество атмосферного воздуха, водоемов, используемых в качестве источников водоснабжения. Кроме того, важное значение для человека имеет зрительный контакт с элементами природной среды, получение эстетического удовлетворения от среды, в которой он живет (Суздалева, 2015б). Недостаточность позитива в ее восприятии вызывает расстройства психики и комплекс иных заболеваний (Филин, 1997). Но сохранить необходимые для выживания человека компоненты окружающей среды в настоящее время на многих участках планеты можно только искусственно, используя для этого различные инженерно-технические системы. По этим причинам на современном этапе и возникла необходимость создания управляемых или хотя бы частично управляемых природно-технических

систем, позволяющих поддерживать и регулировать состояние окружающей среды, не допуская ее ухудшения до уровня, оказывающего негативное воздействие на человека и другие организмы.

2.5. Структурно-функциональная организация современной биотехносферы и тенденции ее развития

Несмотря на различие природы и происхождения слагающих ее элементов, биотехносфера представляет собой целостную систему. Все ее структурные элементы функционально связаны. Вещественные и энергетические потоки в биотехносфере претерпевают под влиянием техногенеза существенные изменения, но продолжают носить закономерный характер.

Биотехносфера, как и естественная биосфера, представляет собой иерархию системных образований. Отличие заключается в том, что биосфера состояла из естественных экосистем различного масштаба – от микроэкосистемы временного водоема до мегаэкосистемы Мирового океана. Системы же, слагающие биотехносферу, как уже указывалось ранее, по своему генезису разнородны. Они образуют своеобразную мозаику из сохранившихся экосистем и различного рода локальных природно-технических систем. Все эти природные и природно-техногенные объекты на основе функциональных взаимосвязей формируют ПТС регионального масштаба. Их примером может служить речной бассейн с зарегулированным стоком. В целом он является потенциально управляемой ПТС. На многих ГЭС систематически осуществляются так называемые «санитарные» и «экологические попуски вод», регулирующие санитарно-гигиеническую и экологическую ситуацию на участках, расположенных ниже по течению реки и на прилегающих к ним территориях (Суздаева, Горюнова, 2014а). Таким образом, на базе

ГЭС формируются в той или иной мере управляемые локальные оптимизационные ПТС. Вместе с тем, значительная часть водосборной площади того же речного бассейна может быть занята сохранившимися экосистемами, например, экосистемами озерно-болотных ландшафтов. На отдельных их участках функционируют гидромелиоративные системы, которые можно рассматривать как управляемые специализированные ПТС локального масштаба. Одновременно в зарегулированном речном бассейне могут существовать локальные неуправляемые ПТС, находящиеся на той или иной фазе экологической деградации (Горюнова, 2006). Например, это застойные зоны, образовавшиеся после возведения гидротехнических сооружений, в которых аккумулируются различные загрязнители. Все эти экосистемы и локальные природно-технические системы являются элементами (подсистемами) природно-технической системы, охватывающей весь участок зарегулированного речного бассейна. Некоторые экологические процессы целесообразно рассматривать именно на этом иерархическом уровне. К ним, например, относится процесс формирования качества вод в среднем и нижнем течении основного водотока данного бассейна.

В развитии структурно-функциональной организации современной биотехносферы наблюдаются две основные тенденции. Первая из них очевидна и на данный момент имеет преобладающее значение. Это превращение все большего количества сохранившихся экосистем в природно-технические системы, которые в подавляющем большинстве случаев можно отнести к категории неуправляемых. Данный процесс сопровождается экологической деградацией значительных участков окружающей среды. Происходит неконтролируемое изменение основных функциональных связей – биогеохимических циклов. Из них значительное внимание по причине заметности внешних проявлений в настоящее время привлечено к себе только цикл углерода. В результате развития парникового эффекта происходят не только глобальные климатические изменения, но и

нарушение сложившихся систем атмосферной и океанической циркуляции. Это, в свою очередь, влечет за собой учащение различных катастрофических явлений гидрометеорологического характера (наводнений и др.). Их сила и частота в последние десятилетия возросли в несколько раз (Осипов, 1995). В обозримом будущем ожидается их дальнейший рост не менее, чем в пятикратном масштабе (Осипов, 2009). Изменение количества атмосферных осадков, обусловленное развитием парникового эффекта, может иметь крайне нежелательные последствия и в тех случаях, когда этот процесс носит относительно плавный характер. Обширные, некогда достаточно плодородные области постепенно превращаются в пустыни. Причем это происходит по большей части именно в тех районах, где плотность народонаселения особенно велика.

Не меньшие по своей катастрофичности эффекты могут принести неконтролируемые изменения биогеохимических циклов других элементов, например, фосфора. Прогнозируемое в недалеком будущем истощение запасов минерального сырья для производства фосфорных удобрений грозит резким снижением урожайности сельскохозяйственных культур и заметным усилением продовольственного кризиса. Значительная часть вносимых в почву фосфатов смывается в водотоки и теряется, вызывая цветение (эвтрофирование) различных водных объектов. Естественный же процесс образования фосфорсодержащих осадочных пород занимает не менее нескольких десятков миллионов лет.

Таким образом, *первая тенденция развития биотехносферы – это ее неуправляемая деградация, создающая не только угрозу утраты биоразнообразия, но и способная в ближайшей перспективе нарушить нормальные условия жизнедеятельности значительной части населения планеты.*

Вторая тенденция – это создание иерархии управляемых природно-технических систем, обеспечивающих сохранение благоприятных экологических условий сначала на отдельных участках окружающей среды,

а затем постепенно *охватывающих все пространство биотехносферы, превращая ее в управляемую систему планетарного масштаба.* Реализация этой тенденции способна обеспечить устойчивое развитие человечества и сохранение биоразнообразия других форм жизни.

Подавляющее большинство существующих в настоящее время управляемых ПТС по их масштабам можно отнести к категории локальных. Очевидно, что даже большое количество подобных систем неспособно остановить деградацию биотехносферы. Основную роль в этом процессе должны сыграть начинающие формироваться в настоящее время региональные управляемые ПТС. Прежде всего, это ПТС, создаваемые на основе экологически оптимизированных гидроэлектростанций (Федоров, Суздалева, 2014а). Вероятно, эта тенденция получит и дальнейшее развитие в более крупных масштабах. В ближайшее годы, по прогнозам специалистов (Данилов-Данильян, 2009), резко обострится «мировой кризис водопотребления», т.е. будет наблюдаться острый дефицит пресной воды в ряде густонаселенных регионов. Решение этой проблемы обуславливает настоятельную необходимость в формировании управляемых ПТС межрегионального масштаба на основе строительства систем межбассейновой переброски вод (Суздалева, Горюнова, 2014б; Суздалева, 2015а). Это создает реальную основу для объединения в единую систему региональных ПТС и развития иерархической структуры управляемой биотехносферы (Суздалева, Смирнова, 2016).

Несмотря на теоретическую перспективность замещения ранее существовавшей иерархии экосистем иерархией управляемых природно-технических систем, к решению этого вопроса на практике следует относиться крайне осторожно. Процесс внедрения любой системы управления подразумевает предварительные испытания и возможность внесения корректив. Если подобные проекты сразу осуществляются в крупных масштабах, велика вероятность катастрофических явлений. Данное противоречие, где конечной целью является построение

глобальной системы управления окружающей средой, но сопровождаться этот процесс может высоким риском крупномасштабного ухудшения состояния среды, можно разрешить, если разработка механизмов экологического управления будет осуществляться на основе так называемой методологии «*восходящего проектирования*» (bottom-up approach) (Суздалева, Горюнова, 2015). Она заключается в создании отдельных объектов, изначально предназначенных для последующего объединения в единую систему. В данном случае такими объектами являются природно-технические системы локального и регионального масштабов. Результаты функционирования таких первичных систем анализируются и лишь после этого они постепенно включаются в качестве элементов в ПТС более высокого уровня.

Так, создание управляемых региональных природно-технических систем на базе ГЭС позволяет отработать механизмы управления ими, которые можно использовать уже на уровне гидроэнергетического каскада, в который они входят. Создание систем межбассейновой переброски вод станет экологически оправданным только в том случае, когда объем транспортируемых вод будет рассчитываться с учетом экологических интересов региональной природно-технической системы – донора этой системы. Например, когда переброске в другой регион будет подлежать избыток воды, создающий в речном бассейне, из которого он изымается, угрозу нежелательного наводнения. Однако в этом случае цель подобного проекта будет заключаться не в строительстве гидротехнической системы, способной оказать негативное воздействие на окружающую среду, а в создании межрегиональную управляемой природно-технической системы, поддерживающей благоприятную экологическую ситуацию одновременно в нескольких регионах.

Таким образом, не следует пытаться в рамках единого проекта создать управляемую биотехносферу. Даже в том маловероятном случае, когда такая деятельность будет профинансирована, следует иметь в виду,

что ее конечные результаты нельзя спрогнозировать в той степени, чтобы исключить риск крупномасштабных катастрофических последствий. *Построение управляемой биотехносферы может осуществляться только в форме постепенной замены иерархии экосистем аналогичной иерархией регулируемых природно-технических систем.* Все этапы этой деятельности должны сопровождаться тщательным анализом возможных экологических последствий. Их прогноз должен основываться на альтернативной основе, подразумевающей сравнение прогнозируемых результатов осуществления проекта с так называемым «нулевым вариантом», т.е. с результатами анализа перспектив развития экологической ситуации в случае отказа от его реализации. Подобный подход, использующийся в российской и международной практике экологической экспертизы, очень важен. Любая деятельность, обуславливающая крупномасштабный техногенез окружающей среды, всегда сопряжена с какими-то негативными воздействиями. Но их оценка должна строиться не на определении возможного экологического ущерба, а на его сравнении с тем ущербом, который будет нанесен окружающей среде в обозримом будущем при отказе от создания управляемых природно-технических систем.

Процессы техногенеза в атмосфере, гидросфере, педосфере и литосфере имеют свою специфику (Трифонов, Девисилов, 2010). Еще более специфичен процесс техногенеза «живого вещества» планетарной экосистемы – биотехногенез. Различны и возможные подходы к управлению данными процессами. Поэтому каждому из этих вопросов посвящена отдельная глава монографии.

ГЛАВА III. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АТМОСФЕРЫ

3.1. Структура и основные свойства атмосферы

Прежде чем перейти к анализу воздействия технической деятельности человека на атмосферу, кратко рассмотрим особенности ее структуры и динамики.

Основными свойствами атмосферы являются:

1. Стратификация, то есть постоянное разделение на несколько слоев, физико-химические свойства которых отличны. Нижний, прилегающий к земной поверхности слой, называется *тропосферой*. Он простирается на высоту до 16 – 18 км на экваторе, до 10 – 12 км над умеренными широтами и до 8 – 10 км над полюсами (Реймерс, 1990). В тропосфере содержится 4/5 всей массы атмосферного воздуха и обитают все представители наземно-воздушной биоты. Поэтому в экологии используется также термин *тропобиосфера*, под которым понимают постоянно населенную живыми организмами часть атмосферы. Однако эти зоны не совпадают. Верхней границей тропобиосферы считают высоту 6 – 6,2 км. Зона, в которой может постоянно существовать человек, еще более узка – не более 4 км от уровня моря.

В лежащей выше *стратосфере*, как и в более высоких слоях атмосферы, живые организмы временно присутствуют только в виде спор, заносимых сюда восходящими воздушными потоками. Верхнюю границу этой зоны различные специалисты проводят на высотах от 44 до 55 км. В пределах стратосферы в 20 – 25 км от уровня моря находится слой с высоким содержанием озона, так называемый «*озоновый экран*», защищающий обитающие на поверхности Земли живые организмы от

губительного воздействия ультрафиолетового излучения (точнее, части его спектра, обозначаемой как ультрафиолет В).

Еще выше располагаются *мезосфера* (50 – 80 км) и *термосфера* (80 – 800 км). Внешняя, обращенная в космическое пространство оболочка Земли называется *экзосферой*.

2. Большой диапазон колебания условий. Прежде всего это касается таких важных как для жизни организмов, так и жизнедеятельности людей параметров, как температура и влажность приземного воздуха. Согласно наблюдениям, сделанным со спутников, рекордно низкая температура – 93,2 °С была отмечена в Антарктиде 10 августа 2010 г.⁷, а абсолютный рекорд экстремально высокой температуры воздуха +70,7 °С был зафиксирован в 2005 году в солончаковой пустыне Деште-Лут на юго-западе Ирана. Но на большинстве участков земной поверхности диапазон изменений температуры воздуха на прилегающих к ним нижних слоях атмосферы значительно более узок.

В атмосфере постоянно в среднем находится около 13 тыс. км³ воды, главным образом в форме пара (Данилов-Данильян и др., 2002). Основная масса водяного пара сосредоточена в тропосфере. Среднее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы «в умеренных широтах составляет около 1,6 – 1,7 см «слоя осажденной воды» (Будыко, 1977). Однако этот параметр весьма изменчив и определяется процессами испарения, конденсации (выпадения атмосферных осадков) и горизонтального переноса. Данная система отличается высокой динамичностью. Водяной пар в атмосфере в среднем обновляется⁸ 43 раза в год или каждые 8,5 суток. Общее количество влаги в атмосфере огромно

⁷ По расчетам ученых, здесь возможны температуры воздуха ниже –100 °С (Дроздов и др., 1989).

⁸ Под обновлением в данном случае понимается циклический процесс, включающий конденсацию пара, выпадение влаги из атмосферы и ее испарение с поверхности Земли.

– среднее количество ежегодно выпадающих осадков превышает 500 Тт⁹, что эквивалентно слою воды высотой более 1 м.

3. Детерминированная высокоскоростная динамичность¹⁰.

Атмосфера состоит из отдельных воздушных масс, находящихся в постоянном движении. Но характер этого движения, хотя и подвержен значительным флуктуациям, в целом достаточно постоянен, образуя систему атмосферной циркуляции. В биосфере, пребывающей в устойчивом состоянии, пути движения воздушных масс в достаточной степени детерминированы. Примером может служить западно-восточный перенос воздушных масс над Евразией.

Даже относительно небольшие изменения характера атмосферной циркуляции могут оказать весьма значимое изменение экологических условий на значительных участках планеты. Временные флуктуации вызывают погодные аномалии, а устойчивые изменения в характере атмосферной циркуляции способны вызвать изменения климата, что может стать, например, причиной опустынивания обширных территорий.

4. Высокая степень взаимодействия с водной оболочкой планеты.

Между этими макроэлементами биосферы происходит постоянной интенсивный обмен веществом и энергией (Будыко, 1977). Примером может служить «эффект Эль-Ниньо», когда локальное изменение температуры поверхности океана в течение нескольких дней посредством атмосферной циркуляции оказывает значимое влияние на регионы, удаленные от него на тысячи километров (Дроздов и др., 1989; Бышев и др., 2014).

5. Высокая степень чувствительности и масштабность реакции на катастрофические явления как природного, так и техногенного

⁹ 1Тт – 1 тератонна составляет 1 тыс. млрд тонн.

¹⁰ Детерминированной динамичностью обладает гидросфера и, в определенном смысле, даже верхние слои литосферы. Говоря о высокоскоростной динамичности атмосферы, мы хотим подчеркнуть, что здесь эти процессы происходят с многократно более высокой скоростью.

характера. Под этим понимается свойство атмосферы стремительно изменять свой состав во время подобных событий и благодаря высокой динамичности быстро распространять их негативные воздействия на большие расстояния. Реакция воздушной оболочки Земли несравнима по масштабам и скорости, например, с реакцией гидросферы. Так, при сильных вулканических извержениях или падениях крупных метеоритов химический и механический состав¹¹ значительной части атмосферы может измениться за несколько часов. При достижении определенного уровня эти процессы, благодаря системе атмосферной циркуляции, быстро (в течение нескольких месяцев и даже нескольких суток) способны принять глобальный масштаб. Об этом свидетельствует тот факт, что слои с повышенным содержанием метеоритного материала (иридия и микроглобул), образовавшихся при падении на Землю крупных метеоритов в прошедшие геологические эпохи, отмечаются не вокруг образовавшихся кратеров (астроблем), а прослеживаются практически по всей планете (Alvarez et al., 1980). Это произошло в результате выпадения аэрозолей, образовавшихся при ударах метеоритов о Землю, унесенных атмосферными потоками от места катастрофы. Аналогичным образом проявляется и воздействие техногенных факторов. Например, проведенные в середине XX века испытания ядерного оружия практически необратимо изменили изотопный состав всей атмосферы, а не регионов, где они проводились.

Благодаря перечисленным выше свойствам атмосферы проявления техногенных воздействий глобального характера в ней наиболее очевидны. Некоторые из происходящих в современной атмосфере процессов, как например, парниковый эффект и истощение озонового слоя, в настоящий момент представляют реальную опасность экологической деградации окружающей среды в планетарном масштабе.

¹¹ Механический состав атмосферы – присутствие в ней химически инертных твердых аэрозолей.

К аспектам глобального техногенеза атмосферы можно также отнести глобальный перенос загрязнителей, насыщение аэрозолями и явления вторичного загрязнения, обусловленные фотохимическими процессами. Остановимся на этих вопросах более подробно.

3.2. Парниковый эффект и меры по предотвращению его развития

Термин «*парниковый эффект*» используется для обозначения процесса повышения температуры приземных слоев атмосферы в результате поглощения в них длинноволнового (инфракрасного) излучения, исходящего от нагреваемой Солнцем земной поверхности. Это происходит благодаря наличию в воздушной среде ряда веществ, которые называют *парниковыми газами*. Основными из них считаются: диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), тропосферный озон (O_3) и водяной пар (H_2O). Существуют и другие вещества, имеющие чисто техногенное происхождение, например, галогеноуглероды, которые в соответствии с Монреальским протоколом также относят к парниковым газам (МП, 1988; Кокорин и др., 2004).

Впервые теоретическую возможность развития парникового эффекта обосновал в 1827 году французский ученый Жан-Батист Жозеф Фурье (Семенов, 2015). Непосредственно сценарий развития этого процесса как результата технической деятельности человека описал в конце XIX века известный шведский ученый Сванте Август Аррениус. Однако серьезное внимание ученых парниковый эффект привлек лишь во второй половине XX века, когда были исследованы многолетние тренды температурного режима. Было установлено, что по сравнению с доиндустриальной эпохой (начиная с 1750 г.г.) концентрация CO_2 в атмосфере выросла на треть (Всемирная..., 2003), причем основной рост пришелся на последние

десятилетия XX века. Точность измерения концентрации CO_2 достаточно велика $\pm 4\%$. Концентрация метана растет еще быстрее: к 2000 году рост составил $151 \pm 25\%$. Тренд еще одного парникового газа – закиси азота – равен $17 \pm 5\%$.

В настоящее время в атмосфере наблюдается дальнейшее накопление парниковых газов. Во многом это обусловлено непрекращающимся ростом населения и его потребностей и, следовательно, расширением производственной сферы. В период 2000 – 2010 годов ежегодные выбросы парниковых газов возросли на $2,2\%$ в год (Кокорин, 2015). Это больше, чем в три предшествующих десятилетия (1970 – 2000 г.г.), в течение которых данный показатель составлял $1,3\%$ в год. В настоящее время основную долю техногенных парниковых составляет CO_2 (доля в 2010 г. – 76%). На метан приходится 16% , на закись азота – 6% , а на прочие парниковые газы – 2% .

Явление парникового эффекта нельзя однозначно рассматривать как результат техногенного воздействия. На протяжении всей истории биосферы он представлял собой естественный процесс, в результате которого амплитуда колебаний температуры в приземном слое атмосферы была значительно ниже, а ее средняя температура существенно выше, оставаясь на большей части планеты в пределах, благоприятных для развития жизни.

Так, даже в настоящее время, когда парниковый эффект трактуется как сугубо негативное явление, снижение его воздействия сделало бы существование многих видов организмов невозможным, привело бы к катастрофическому нарушению условий жизнедеятельности значительной части населения Земли. Если сейчас средняя температура у поверхности Земли составляет $+14\text{ }^\circ\text{C}$, то в отсутствие парникового эффекта этот показатель равнялся бы $-19\text{ }^\circ\text{C}$, то есть на $33\text{ }^\circ\text{C}$ ниже (Кокорин, 2005). Таким образом, негативным проявлением техногенеза является не парниковый эффект как таковой, а его интенсивное развитие, ведущее к

значительно более быстрому, чем в предшествующие эпохи, изменению глобального климата.

Следует отметить, что далеко не все ученые рассматривают происходящие процессы как результат человеческой деятельности (Израэль и др., 2001). Некоторые из них полагают, что это одна из фаз естественного циклического процесса изменения содержания углерода в атмосфере (Кузнецов, Троцюк, 1995; Сорохтин, Ушаков, 2002; Семенов, 2012). Но в научном сообществе в целом все больше преобладает мнение о техногенном характере данных явлений.

Содержание парниковых газов в атмосфере всегда определялось не только процессами их поступления в нее, называемыми *эмиссией*, но и процессами их изъятия в результате перехода в другие элементы биосферы – *стоком парниковых газов*. Таким образом, парниковый эффект – это результат баланса двух разнонаправленных процессов. В упрощенном виде формирование парникового эффекта можно уподобить известной школьной задаче о вычислении скорости наполнения водой бассейна с трубами, по одной из которых вода в него втекает, а по другой – вытекает.

Основными *источниками парниковых газов*¹² считаются различные виды добываемого ископаемого топлива, сжигание которого обуславливает эмиссию CO₂ и отходы сельского хозяйства, хранение которых сопровождается эмиссией метана. Ими могут являться и объекты, выделение парниковых газов в атмосферу из которых носит сугубо естественный характер. Например, это разлагающееся органическое вещество почв, гниющая древесина лесов и др. Но многие из этих естественных процессов провоцируются техногенезом окружающей среды. Например, эмиссией парниковых газов, обусловленной естественными

¹² Согласно международному и российскому экологическому законодательству, в качестве источников парниковых газов рассматриваются не только процессы, приводящие к выбросу их в атмосферу, но материальные объекты, существование которых сопряжено с их эмиссией (ГОСТ Р ИСО 14050-2009, пункт 9.2.1; ГОСТ Р ИСО 14064-1-2007 и др.).

процессами разложения, сопровождается затопление земель при организации водохранилищ.

Время жизни в атмосфере химически устойчивых парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O) составляет от нескольких десятилетий до 100 лет и более. Так, из попадающего в атмосферу CO_2 , лишь 30% его количества может быть выведено из нее в результате естественных процессов через 30 лет, сток еще 30% может произойти только за несколько столетий и, наконец, 20% может остаться на многие тысячи лет (Кароль и др., 2008). Время жизни метана в атмосфере составляет в среднем 9 – 10 лет (Voulgarakis et al., 2013; Киселев, Решетников, 2013).

В отличие от процессов эмиссии парниковых газов, в основном обусловленной человеческой деятельностью, процессы их стока продолжают носить естественный характер. Основными резервуарами, в которых накапливается изъятый из атмосферы углерод, являются растительность, Мировой океан и болота (Карнаухов, 1994). Все эти естественные *поглотители парниковых газов* представляют собой динамические системы, в которых процессы связывания парниковых газов происходят одновременно с процессами, ведущими к их высвобождению в атмосферу. Баланс этих процессов и длительность пребывания углерода в связанном состоянии зависят от многих факторов. Например, значительные количества CO_2 поглощаются растениями в процессе фотосинтеза. Но значительная часть создаваемого ими органического вещества вновь окисляется в процессе жизнедеятельности растений до CO_2 , который поступает в атмосферу. После гибели растения и его разложения подавляющая часть содержавшегося в нем углерода превращается в парниковые газы. По этой причине поглотителем атмосферного CO_2 является только молодой лес, в котором процессы продукции органического вещества преобладают над его деструкцией. В зрелом лесу поддерживается в той или иной мере равновесный баланс этих процессов, а стареющий лес является естественным источником

парниковых газов. Значительно на больший срок удаляется из атмосферы углерод, который, находясь в форме органических соединений, захоранивается в болотных отложениях (торфе и др.). Углерод, связанный в форме карбонатов в морской воде, может достаточно быстро вернуться в атмосферу при их разложении, а может быть погребен на миллионы лет в толще осадочных пород, формирующихся на дне океана (Кузнецов, Троцюк, 1995).

Как показывает анализ палеонтологических материалов, значимые изменения содержания в земной атмосфере парниковых газов в истории Земли происходили уже неоднократно, и это не приводило к необратимой деградации биосферы. Так чем же опасно развитие парникового эффекта? Главным образом – неизбежностью некоего переходного периода между двумя состояниями биосферы (точнее, ее неуправляемого перехода в состояние биотехносферы), когда изменение глобального климата вызывает обширный комплекс нежелательных, нередко катастрофических явлений, наносящих огромный экологический и экономический ущерб. Основные из них, наиболее характерные для различных регионов, приведены в таблице 2. Как следует из результатов наблюдений и прогнозов на ближайшее будущее, эти процессы приобретают глобальный и в подавляющем большинстве случаев негативный, с экологической точки зрения, характер. Согласно палеонтологическим материалам, и в предшествующие эпохи значительные флуктуации содержания парниковых газов в атмосфере сопровождались исчезновением многих экосистем и резким снижением биоразнообразия. И лишь по прошествии миллионов лет происходило становление новых экосистем, уровень биоразнообразия которых не уступал прежним.

Уже несколько десятилетий попытки предотвратить развитие парникового эффекта или хотя бы снизить скорость этого процесса осуществляются на самом высоком международном уровне (Киотские соглашения и др.).

Таблица 2

Воздействия, обусловленные развитием парникового эффекта, их возможные последствия и меры по смягчению негативных эффектов потерь (по: Кокорин, 2015)

Регион	Наблюдаемые эффекты (сочетание изменений климата и неправильной хозяйственной деятельности)	Ожидаемые проблемы	Примечания
<i>Африка</i>	Рост засух и дефицита воды, деградация лесов в зоне Сахеля. Изменение температурного режима Великих озер Восточной Африки. Рост пожаров в горных лесах Килиманджаро.	Обширные засухи и драматический дефицит воды на больших территориях. Необратимые изменения в горных и водных экосистемах.	Вероятен дефицит продовольствия и массовая миграция населения (при его росте). Адаптация будет крайне дорога для Африки.
<i>Европа</i>	Сильные наводнения, аномальные осадки, волны жары. Рост лесных пожаров. Изменения миграции птиц, цветения растений и т.п. Проникновение новых видов растений и животных. Сокращение ледников.	Дефицит воды и сильные волны жары, лесные пожары в Средиземноморье. Резкие изменения погоды, сильные осадки и наводнения. Сильное сокращение ледников и снежников.	Успешная адаптация вероятна, но дорога. Возможны негативные изменения морских, речных и наземных экосистем. В XXII веке не исключен коллапс «Гольфстрима» и сильное похолодание в Северной Европе и на Британских островах.
<i>Азия</i>	В Центральной и Западной Азии деградация земель и речных систем. Сели, наводнения, сокращение ледников, деградация вечной мерзлоты, в том числе в горных районах. Смещение ареалов видов растений и животных на север и вверх в горах. Изменение фенологии. Сильные паводки на реках.	Дефицит воды на обширных территориях. Рост проблем горных районов Центральной Азии. Усиление муссонных осадков, сильные наводнения. Сильная деградация коралловых рифов. Через 50 – 150 лет вероятно затопление крупных приморских городов и низин. Береговая эрозия в Арктике.	Вероятно, снижение урожайности зерновых в Южной Азии. Адаптация может быть успешной, но потребует больших затрат. Вероятны массовые негативные изменения морских, речных и наземных экосистем.

Окончание таблицы 2

Регион	Наблюдаемые эффекты (сочетание изменений климата и неправильной хозяйственной деятельности)	Ожидаемые проблемы	Примечания
<i>Австралия</i>	Волны жары. Изменения наземных, пресноводных и морских экосистем, стока рек. Сильное сокращение ледников и снегового покрова.	Драматические волны жары. Усиление дефицита воды. Негативные изменения в экосистемах. Сильная деградация коралловых рифов.	Большой риск проникновения новых видов, негативно влияющих на местные.
<i>Северная Америка (включая Мексику)</i>	Аномальные осадки, волны жары, наводнения. Рост ущерба от тропических циклонов. В различных частях континента: сокращение ледников, лесные пожары, изменения в экосистемах, проникновение новых видов.	Усиление негативных тенденций. В средней части континента дефицит воды; рост лесных пожаров, проблем горных районов.	Не исключено увеличение частоты и силы тропических циклонов.
<i>Центральная и Южная Америка</i>	Аномальные осадки и температуры. Проблемы стока рек, лесов и экосистем Амазонии и Ла Платы. Сокращение ледников.	Усиление негативных тенденций. Обострение проблем Амазонии. В отдельных районах континента дефицит воды. Сильная деградация коралловых рифов.	Есть угроза исчезновения лесов Амазонии. Вероятны проблемы сохранения традиционного образа жизни коренного населения.
<i>Арктика и Антарктика</i>	Сокращение ледового и снежного покрова Арктики и Гренландии. Рост береговой эрозии, деградация вечной мерзлоты. Потепление, изменения растительного покрова, миграции животных. Разрушение шельфовых ледников Западной Антарктики.	Усиление наблюдающихся тенденций. Резкий рост береговой эрозии и деградации вечной мерзлоты. Проблемы для морских млекопитающих и птиц Южного океана.	В будущем возможна массовая деградация вечной мерзлоты с большими эмиссиями CO ₂ и CH ₄ . Угроза проникновения новых видов, негативно влияющих на местные.
<i>Малые острова</i>	Изменение в экосистемах отдельных островов. Деградация коралловых рифов.	Через 50 – 150 лет полное или частичное затопление. Сильная деградация коралловых рифов.	Потребуется переселение людей. Вероятно негативное влияние роста кислотности океана на рыбу и морские экосистемы.

Для комплексного изучения проблем, обусловленных глобальным потеплением, по инициативе Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Организацией ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП) в 1988 году была создана Межправительственная группа экспертов по проблеме изменения климата (МГЭИК) (Кокорин, 2015).

Условно негативные явления, спровоцированные развитием парникового эффекта, можно разделить на две группы:

✓ ***Процессы, непосредственно связанные с повышением температуры окружающей среды.*** Примером может служить наблюдающееся сейчас опустынивание и остепнение ряда регионов. Из-за резких климатических изменений на этих обширных территориях происходит уничтожение большинства ранее существовавших экосистем. Существенные изменения произойдут также в составе биоты и структуре водных биологических сообществ (Безносов, Суздалева, 2004).

✓ ***Косвенные последствия глобального потепления.*** Их основными проявлениями являются:

- перераспределение ресурсов питьевой воды, связанное с изменениями в характере атмосферной и океанической циркуляции, спровоцированными потеплением;

- увеличение по той же причине частоты и силы чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера (засух, наводнений и ураганов) и иного характера (например, лесных пожаров).

Изменение климата влечет за собой необходимость коренного преобразования форм хозяйствования и инфраструктуры (Безносов, 1998а; Суздалева, Горюнова, 2014; Суздалева, 2015). Развитие деятельности в новых, принципиально изменившихся условиях потребует огромных затрат. Например, можно представить себе сценарий превращения южной части таежной зоны в степь. Да, потепление климата, возможно, позволит со временем создать в этом регионе прибыльные зерновые хозяйства (при условии огромных финансовых инвестиций). Но на первом этапе резкое

изменение климатических характеристик обернется массовой гибелью древесной растительности, составляющих основу таежной экосистемы. Образующиеся массивы сухостоя и валежника в совокупности с высохшими заторфованными участками бывших болот создадут базу для мощных лесных пожаров.

Еще большую опасность представляет усугубляемый развитием парникового эффекта мировой кризис водопотребления (Данилов-Данильян, 2009), то есть возникновение острой нехватки воды, необходимой в т.ч. для бытового употребления и выращивания сельскохозяйственной продукции. Поэтому неминуемым следствием кризиса водопотребления станет продовольственный кризис тех же масштабов.

Данные проблемы и возможные способы их решения будут рассмотрены в IV главе. Сейчас же обратим внимание на цель и вытекающую стратегию мер, направленных против дальнейшего развития парникового эффекта. Очевидно, что полностью предотвратить происходящие глобальные климатические флуктуации нереально, поскольку в их развитие уже включились факторы, не поддающиеся контролю (например, деградация зон многолетней мерзлоты). Но можно избежать значительной части описанных выше катастрофических событий, сделав изменение климата более плавным. Кроме того, основываясь на прогнозах, можно заранее спланировать и начать осуществлять меры, позволяющие адаптировать условия жизнедеятельности человека и существования природных объектов к новым условиям.

Если рассматривать развитие парникового эффекта как процесс, протекающий в неуправляемой природно-технической системе глобального масштаба, то всю совокупность разнородных явлений, обуславливающих его развитие, можно свести в единую систему, классифицировав их следующим образом:

✓ *Техногенная эмиссия парниковых газов*, сопровождающая различные виды человеческой деятельности, включая сельское хозяйство (Кондратьев, Донченко, 1999).

- ✓ **Техногенный сток парниковых газов**, т.е. целенаправленная человеческая деятельность по изъятию из атмосферы парниковых газов.
- ✓ **Природная эмиссия парниковых газов** – совокупность естественных процессов, приводящих к поступлению парниковых газов в атмосферу. Примером могут служить извержения вулканов, естественные лесные пожары.
- ✓ **Природный сток парниковых газов** из атмосферы в ходе фотосинтеза растительности, в процессе их поглощения водами Мирового океана и т.п.
- ✓ **Природно-техногенные процессы эмиссии и стока парниковых газов**. К ним можно отнести всю совокупность природных явлений, сопровождающихся поступлением в атмосферу парниковых газов и изъятием их из нее, интенсивность развития которых провоцируется техногенезом окружающей среды. Так, все большее значение в качестве источника парниковых газов приобретает процесс оттаивания (деградации) многолетней мерзлоты (Анисимов и др., 2005; Елдышев, 2009; Anisimov et al., 2012; Киселев, Решетников, 2013). Причиной этого явления являются глобальные климатические изменения, происходящие, как полагает большинство современных ученых, под воздействием техногенных факторов. Благодаря потеплению климата площадь зон многолетней мерзлоты постепенно сокращается. Оттаивающие почво-грунты содержат громадные количества органических веществ, которые являются агентами развития парникового эффекта. В результате микробиологического разложения и химического окисления они частично разлагаются, выделяя в атмосферу углекислый газ и метан. Повышение температуры также способствует увеличению испарения, а следовательно, повышению содержания в атмосфере еще одного агента парникового эффекта – паров воды. Чем теплее становится климат, тем интенсивнее идет разложение замороженных почвогрунтов. Таким образом, на современном этапе происходит самоусиление данного процесса.

Примером природно-техногенных процессов, вызывающих сток парниковых газов, является контролируемое функционирование

естественных биопродукционных процессов, в ходе которых поглощается CO₂, а также связывание атмосферного углерода в болотных массивах, сохранить многие из которых в современных условиях возможно только создав поддерживающие их инженерно-технические системы.

В соответствии с приведенной выше классификацией *в качестве основных путей борьбы с парниковым эффектом* (точнее – мер по снижению скорости его развития) *следует рассматривать*:

- ограничение техногенной эмиссии парниковых газов с объектов промышленного и сельскохозяйственного производства;
- изъятие парниковых газов из атмосферы с помощью инженерно-технических систем и создание объектов для длительного хранения, т.е. организацию техногенного стока парниковых газов;
- создание специализированных управляемых природно-технических систем, функционирование которых создает условия для природно-техногенного стока парниковых газов.

Кратко рассмотрим способы, предлагаемые в пределах каждого из перечисленных направлений.

❖ *Ограничение техногенной эмиссии парниковых газов с объектов промышленного и сельскохозяйственного производства.* В настоящее время это направление является приоритетным, поскольку в наибольшей степени соответствует господствующей ограничительной парадигме (табл. 3). На его мероприятия затрачиваются весьма значительные финансовые средства. Так, на данный момент общая сумма только прямых ежегодных затрат на снижение выбросов парниковых газов в мире в среднем составляет свыше 300 млрд долларов за год (Кокорин, 2015). До 2030 года для того чтобы удержать, согласно достигнутым международным договоренностям, уровень глобального потепления в пределах 2 °С, предполагается снизить инвестиции в наращивание производства органического топлива на 116 млрд долларов относительно базового сценария, а в топливные электростанции – на 30 млрд долларов.

Таблица 3

Основные формы глобального техногенеза воздушной среды, обуславливающие переход естественной биосферы в состояние биотехносферы, возможные способы контролирования и управления данными процессами

Глобальные техногенные процессы	Основные направления решения проблемы в рамках ограничительной парадигмы		Основные направления решения проблемы в рамках креативной парадигмы	
	Действия	Результат	Действия	Результат
<i>Парниковый эффект</i>	Ограничение техногенной эмиссии парниковых газов	Незначим на фоне эмиссии из неконтролируемых источников	Создание управляемых ПТС, регулирующих сток избытка парниковых газов	Управление балансом процессов эмиссии и стока парниковых газов
<i>Разрушение озонового слоя</i>	Частичный контроль за эмиссией агентов разрушения озонового слоя	Незначим на фоне эмиссии из неконтролируемых источников	Разработка мер, регулирующих процессы разрушения озона в стратосфере	Управление балансом процессов синтеза и распада озона в стратосфере
<i>Глобальное загрязнение атмосферы</i>	Контроль крупных организованных источников загрязнения	Замедление роста глобального загрязнения атмосферы	Создание управляемых ПТС, регулирующих уровень дисперсного загрязнения воздуха	Устойчивое сохранение качества воздушной среды

Напротив, ежегодные инвестиции в возобновляемые источники энергии и строительство АЭС планируется увеличить на 147 млрд долларов, а финансирование работ в области повышения энергоэффективности производственных и иных сооружений – на 336 млрд долларов.

Однако непредвзятый анализ ситуации приводит к заключению, что приоритет данного направления объясняется не результативностью предпринимаемых действий (содержание парниковых газов в атмосфере неуклонно возрастает), а относительной простотой организации предпринимаемых мер. Очевидно, что наложение дополнительных ограничений на промышленные выбросы, разработка их квот и взимание платы за их превышение представляет собой более легкое выполнение задачи, чем реальное контролирование количества парниковых газов в атмосфере. Данная деятельность позволяет быстро и обоснованно отчитаться о достигнутых успехах в борьбе с промышленными выбросами, но не способна самостоятельно решить проблему парникового эффекта. Однако это суждение не следует рассматривать как отрицание авторами монографии целесообразности контроля производственных выбросов – нашей целью является обоснование необходимости комплексного подхода к решению проблемы, в т.ч. включающего данное направление как одно из основных.

❖ *Изъятие парниковых газов из атмосферы с помощью инженерно-технических систем и создание объектов для длительного хранения.* Эта группа методов борьбы с развитием парникового эффекта обозначается аббревиатурой CCS (Carbon Capture and Storage – захват и хранение углерода). В ряде проектов предлагается внедрять эти технологии в сферу использования биотоплива (биоэнергетику), например для получения так называемого биоугля (Елдышев, 2009). В этом случае для их обозначения также используется аббревиатура BECCS (Кокорин, 2014). Поскольку основным веществом, искусственно изымаемым из атмосферы, является CO₂, используемые для этого технологии также обозначаются термином «технологии секвестрации углекислого газа» (Череповицын и др., 2013). Уже

предложено несколько способов захват CO_2 , в т.ч. и непосредственно в процессе сжигания топлива. После этого следует процесс компрессии и транспортирование CO_2 под высоким давлением по трубопроводам к местам его захоронения. В качестве последних предлагается использовать различные пустоты, образовавшиеся в недрах Земли в результате добычи полезных ископаемых.

❖ *Создание специализированных управляемых ПТС, функционирование которых приводит к аналогичным результатам.*

Концепция управляемой биотехносферы подразумевает организацию мер по предотвращению развития парникового эффекта на основе комплексного регулирования как процессов эмиссии, так и стока его агентов (Суздалева, Горюнова, 2015). *Примерами этой деятельности*, которые вписываются в креативно-ограничительную парадигму (табл. 3), *являются:*

✓ *Сохранение в составе управляемых ПТС болотных массивов, поглощающих на длительный срок значительное количество парниковых газов.* Болота являются большими резервуарами органического углерода (Gorham, 1991; Заварзин, 1994). Количество накопленного в них углерода, по разным оценкам, составляет от 300 до 600 Гт. Согласно существующим данным, площадь болот всего мира оценивается в $6,41 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, из них больше половины расположены в пределах территории Российской Федерации. Общая площадь в ней оторфованных заболоченных земель составляет $3,69 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ (21,6% территории страны) с содержанием углерода $113,5 \cdot 10^9 \text{ т}$, в том числе площадь торфяных болот – $1,39 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, содержащих $100,9 \cdot 10^9 \text{ т}$ углерода.

Связывание болотами атмосферного CO_2 в процессе фотосинтеза произрастающих на них растений и последующая длительная консервация его в болотных отложениях частично компенсируются выделением другого парникового газа – метана (Gorham, 1995). Однако существование болот, как правило, является препятствием на пути хозяйственного освоения новых

регионов и урбанизации территорий. По этой причине их площадь закономерно сокращается. Разрешить данную проблему можно лишь создавая управляемые природно-технические системы, позволяющие сосуществовать техногенным объектам и болотным массивам (например, превращая их в экологические резерваты). Подчеркнем, что болота являются местообитанием многих охраняемых видов животных и растений. Меры, направленные на их сохранение в зонах интенсивного хозяйственного освоения, – это меры по сохранению биоразнообразия. При создании управляемых ПТС, включающих болотные массивы, существует несколько возможностей усилить накопление в них углерода за счет регулирования процессов стока CO_2 и эмиссии CH_4 , планируя дренаж болот с учетом данных факторов и регулируя обеспечение их подпиткой водой (Zoltai, Martikainen, 1996).

✓ ***Создание управляемых ПТС в форме специализированных лесных хозяйств, а также хозяйств агрокультуры и аквакультуры, функционирование которых обеспечивает сток из атмосферы значительного количества CO_2 .*** В данном случае консервация углерода на определенный срок осуществляется в результате его включения в состав древесины, а также в тела живых организмов и продукты их жизнедеятельности. В дальнейшем все это может быть использовано как сырье для биотоплива в описанной выше технологии BECCS (Семенов, 2012; Кокорин, 2014). Кроме того, полученный путем пиролиза растительной массы биоуголь может вноситься в землю в качестве удобрения (Елдышев, 2009).

Данное направление хотя и упоминается в программных документах, но лишь как нечто второстепенное (Кокорин, 2014). Так, если на снижение выбросов парниковых газов ежегодно выделяется свыше 300 млрд долларов, то в лесное хозяйство, в плане решения проблемы парникового эффекта, предполагается дополнительно инвестировать лишь 21 – 35 млрд долларов. Еще меньшее внимание уделяется проектам создания хозяйств агрокультуры

и аквакультуры, способных обеспечить природно-техногенный сток и консервацию значительных количеств парниковых газов. Ограниченный объем монографии не позволяет рассмотреть все предлагаемые способы. В качестве примера рассмотрим только один из них – проект организации контролируемого природно-техногенного стока атмосферного CO_2 при освоении ресурсов глубинных слоев океана (Суздалева и др., 1999). Эти ресурсы весьма разнообразны и их добыча становится все более перспективной. Многие виды этой деятельности, например разработка морских месторождений железо-марганцевых конкреций, предполагают подъем к поверхности моря с глубины огромных объемов вод. Используемым природным ресурсом является и сама вода из глубинных слоев (Безносков, 2003). Так, КПД систем охлаждения, возводимых на берегах морей АЭС, существенно возрастает при использовании в них вод, поднимаемых из глубинных слоев, которые имеют постоянно низкую температуру. Эти глубинные воды также содержат большие количества биогенных элементов (фосфора, азота и др.). Их поступление в поверхностные слои моря интенсифицирует процессы фотосинтеза водорослей и соответственно связывание значительного количества CO_2 . Если сброс отработанных вод происходит бесконтрольно, то велика вероятность возникновения таких нежелательных явлений, как обширные «красные приливы», обусловленные вспышками развития фитопланктона. В течение непродолжительного времени большая часть массы водорослей разлагается, и связанный в них углерод вновь попадает в атмосферу. Иная картина будет наблюдаться, если на участках отработанных глубинных вод будут создаваться хозяйства аквакультуры. Их прибыльность за счет удобрения воды фосфором и азотом глубинных вод может быть существенно выше, чем в других аналогичных хозяйствах (Пшеничный, Шевченко, 1989). Углерод, связанный в их продукции, покидает атмосферу на значительно более длительный и потенциально контролируемый срок.

В таблице 4 приведены расчеты, основанные на данных экспериментов, характеризующих объем углерода, который может быть изъят из атмосферы при организации глубинных водозаборов на АЭС, расположенных в трех различных участках морского побережья. Полученная водорослевая масса может служить кормом при выращивании различных морских организмов, так и использоваться для производства биотоплива по технологии BECCS.

Следует отметить, что морские водоросли хорошо растут и на глубинных водах, загрязненных сероводородом (Поликаров и др., 1986) или содержащих значительные количества металлов, поступающих в воду при добыче со дна моря железомарганцевых конкреций (Buck, Taguchi, 1983).

Таблица 4

Масса фитопланктона, которая может вырасти на отработанных глубинных водах, используемых для охлаждения блока АЭС мощностью 1000 МВт, и масса связанного в ней атмосферного углерода (по: Суздаева и др., 1998/1999).

Район	Масса водорослей, тонн/мес.	Масса углерода, тонн С/год
<i>Индийский океан</i> (Бенгальский залив)	324,0	233,3
<i>Атлантический океан</i> (Западно-экваториальный район)	155,5	112,0
<i>Тихий океан</i> (Восточная часть южной тропической зоны)	479,5	345,2

Комплекс проблем, порожденных парниковым эффектом, **и пути снижения негативного воздействия** сопутствующих ему процессов **можно** в краткой форме **обобщить в виде** следующих **выводов**:

1. Парниковый эффект представляет собой флуктуацию биогеохимического цикла (круговорота) углерода, по диапазону изменения содержания CO₂ в атмосфере не превышающую аналогичные естественные флуктуации, неоднократно происходившие в истории биосферы.

2. В отличие от ранее происходивших естественных флуктуаций углеродного цикла развитие парникового эффекта происходит со

значительно более высокой скоростью, которая определяется техногенными и природно-техногенными процессами.

3. В целом воздействие парникового эффекта следует рассматривать как техногенный фактор, вызвавший изменения окружающей среды в планетарном масштабе, т.е. как фактор ее глобального техногенеза, результатом которого стал переход биосферы в состояние биотехносферы.

4. На современном этапе развитие парникового эффекта приобрело необратимый характер. Ни ограничительные меры, направленные на снижение техногенной эмиссии парниковых газов, ни повышение результативности методов интенсификации техногенного стока при продолжающемся росте народонаселения и объемов мирового производства не смогут вернуть биосферу в предшествующее естественное состояние даже в длительной перспективе¹³.

5. Единственным реальным путем предотвращения негативных последствий парникового эффекта является целенаправленное создание управляемых природно-технических систем, позволяющих обеспечить благоприятные условия жизни человека и существования других организмов. Для этого при решении проблем, спровоцированных парниковым эффектом, необходим переход от ограничительной парадигмы мышления к креативной.

3.3. Разрушение озонового слоя

Озоновый слой, т.е. слой атмосферы с повышенным содержанием озона (O_3), расположен в верхних слоях атмосферы – в стратосфере. В нем задерживается значительная часть ультрафиолетового излучения, идущего от Солнца, что обеспечивает саму возможность существования жизни на

¹³ Данный вывод не следует воспринимать как утверждение о бессмысленности осуществления ограничительных мер. Они, вне всякого сомнения, важны, поскольку способны снизить скорость развития комплекса негативных процессов, обусловленных парниковым эффектом, и дать время, необходимое для создания управляемых ПТС. Но сами по себе эти меры не могут решить экологические и социально-экологические проблемы, порождаемые парниковым эффектом.

поверхности планеты. Это обусловлено тем, что спектр поглощения озона в области ультрафиолетового излучения перекрывается со спектром поглощения нуклеиновых кислот и белков (Самойлова, 1982; Ravanat et al., 2001; Потапенко, 2004), составляющих основу всех форм земной жизни, начиная от вирусов. В упрощенном виде процесс воздействия ультрафиолетового излучения на эти вещества можно описать следующим образом. Способность каких-либо веществ поглощать излучения определенного диапазона означает переход в них энергии, содержащейся в излучениях. Это может вызвать изменение структуры молекул данных веществ. В рассматриваемом случае подобный эффект проявляется в том, что электромагнитные волны определенной длины волны в ультрафиолетовой области солнечного излучения избирательно разрушают структуру нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), а также белков. Кроме того, под воздействием ультрафиолетового излучения в организмах происходит образование свободных радикалов и ионов, также оказывающих разрушительное воздействие на протекающие в них биохимические и физиологические процессы. Поэтому, если бы в высоких слоях атмосферы не возник так называемый «озоновый слой» или «озоновый экран», задерживающий значительную часть ультрафиолетового излучения, жизнь на поверхности Земли была бы невозможна.

В спектре ультрафиолетового излучения выделяют три диапазона, в которых процесс прохождения лучей через атмосферу и воздействие на живые организмы существенно отличаются:

- ближний ультрафиолет или УФ-А (UVA), длина волны 315 – 400 нм;
- УФ-В (UVB), длина волны 280 – 315 нм;
- дальний ультрафиолет или УФ-С (UVC), длина волны 100 – 280 нм.

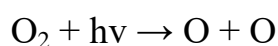
Наибольшую опасность представляет УФ-В. Именно в этом диапазоне длина волн солнечного излучения совпадает со спектром поглощения нуклеиновых кислот. По этой причине облучение организмов УФ-В оказывает сильнейшее мутагенное воздействие – так называемый

«ультрафиолетовый мутагенез» (Ауэрбах, 1978). Происходит нарушение процессов естественной репродукции растений и животных, а также развитие онкологических заболеваний (Urbach, 1989) в результате мутагенного воздействия на соматические клетки.

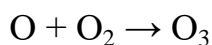
При прохождении через атмосферу с развитым озоновым слоем практически весь УФ-С и приблизительно 90% УФ-В поглощаются озоном, а также парами воды, кислородом и углекислым газом. В результате ультрафиолетовое излучение, достигавшее земной поверхности, обычно состоит из УФ-А и небольшой части УФ-В излучения.

Над разными участками земной поверхности озоновый слой развит неодинаково и расположен на различной высоте. Наиболее мощный озоновый слой формируется над тропической областью на высоте 25 – 30 км. В полярных широтах он наиболее тонок и расположен несколько ближе к земной поверхности (15 – 20 км). В зоне умеренных широт он находится на высоте 20 – 25 км.

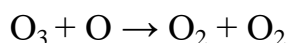
Образование озонового слоя происходит в результате воздействия ультрафиолетового излучения Солнца на молекулярный кислород, который распадается на атомы:



Последующее взаимодействие этих атомов с молекулами кислорода приводит к образованию озона:



Но молекулы озона достаточно быстро разрушаются. Среднее время их жизни в атмосфере составляет 50 суток (Израэль, 1984). Основным естественным путем разрушения озона является так называемый кислородный цикл или цикл Чепмена (Александров и др., 1992) – озон реагирует с атомом кислорода, в результате чего образуются две молекулы кислорода:



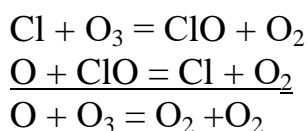
Таким образом, в стратосфере постоянно идут два противоположно направленных процесса: образование и распад молекул озона. Содержание озона определяется складывающимся балансом этих процессов. В том случае, если скорость распада молекул озона превышает скорость их синтеза, количество озона в атмосфере закономерно снижается. В результате образуются так называемые «**озоновые дыры**» – локальные участки атмосферы, в пределах которых наблюдается существенное снижение концентрации стратосферного озона.

Нарушение баланса между процессами образования и распада молекул озона в стратосфере может происходить на всех ее участках. Но, как правило, озоновые дыры образуются над полярными областями. Это объясняется тем, что над ними озоновый слой развит относительно слабее.

Под воздействием поступающих в стратосферу различных веществ скорость распада молекул озона существенно возрастает. В результате возникает угроза возникновения озоновых дыр над областью умеренных широт, что неминуемо будет сопровождаться деградацией расположенных в их пределах наземных экосистем, снижением урожайности и ухудшением здоровья населения.

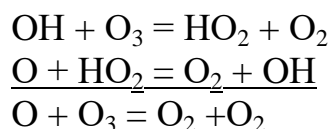
В качестве основных агентов разрушения озонового слоя рассматриваются хлор (и другие галогены), пары воды и окислы азота. В соответствии с этим различают хлорный, водородный и азотный циклы:

Хлорный цикл



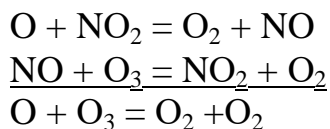
- 1) хлор реагирует с озоном, образуя окись хлора и молекулу кислорода;
- 2) окись хлора реагирует с атомом кислорода, в результате чего хлор восстанавливается.

Водородный цикл



- 1) продукт диссоциации окиси водорода (радикал гидроксила) реагирует с озоном, образуя перекисный радикал водорода (НО₂) и молекулу кислорода;
- 2) в результате реакции перекисного радикала водорода с атомарным кислородом вновь образуется радикал гидроксила.

Азотный цикл



- 1) в результате реакции атома кислорода с двуокисью азота образуется окись азота;
- 2) окись азота реагирует с озоном, в результате чего образуется двуокись азота и кислород.

В рассмотренных выше реакциях галогены, гидроксил и окись азота играют роль катализаторов. Эти соединения не изменяются в ходе реакции с озоном. Одна их молекула может вызвать разрушение весьма большого количества молекул озона (от 10^2 до 10^7). Поэтому поступление в верхние слои атмосферы даже относительно малого, в планетарных масштабах, количества подобных агентов может привести к разрушению озонового слоя и катастрофическим экологическим последствиям.

Основными *источниками разрушения озонового слоя считаются* следующие виды деятельности:

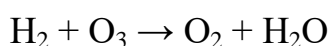
- ❖ Использование бытовых и промышленных холодильников, работающих с использованием фреонов и галонов (фторсодержащих фреонов), которые представляют собой летучие жидкости, состоящие из галогенуглеводородов. При ремонте и утилизации такого оборудования значительные количества этих веществ, оказавшись в атмосфере, обогащают ее хлором и другими галогенами.
- ❖ Производство галогенсодержащих синтетических материалов, прежде всего упаковочных (пластиковых пакетов и др.). Попадая после использования в окружающую среду, например на открытые свалки твердых бытовых отходов (ТБО), эти материалы, распадаясь, также становятся значимым источником поступления галогенов в атмосферу.

- ❖ Использование азотных удобрений, часть которых преобразуется в окислы азота, поступающие в атмосферу.
- ❖ Полеты высотных самолетов и запуск космических аппаратов, сопровождающиеся выбросом в атмосферу большого количества паров воды и окислов азота, образующихся при сжигании топлива.
- ❖ Мощные взрывы, особенно ядерные, в результате которых значительная масса веществ, в т.ч. и способствующих разрушению озонового слоя, может достигать верхних слоев атмосферы.

В качестве агентов разрушения озонового слоя могут выступать многие вещества, образование которых происходит в процессе весьма широкого спектра видов технической деятельности, помимо перечисленных выше. Их перечень содержится в Монреальском протоколе, принятом ООН с целью предотвращения разрушения озонового слоя 16 сентября 1987 г. (МП., 1988). В современной редакции данное международное соглашение, приверженность которому Российская Федерация в очередной раз официально подтвердила в 2014 году (Постановление., 2014), предусматривает осуществление контроля за выбросами в окружающую среду около 100 химических веществ. Перечень этих веществ постоянно пополняется (Мазурин и др., 2014).

Следует отметить, что ряд специалистов придерживается мнения о том, что периодическое появление озоновых дыр обусловлено естественными причинами (Исидоров, 2001; Потапенко, 2004). Впервые гипотеза об истощении озонового слоя вследствие загрязнения атмосферы фреонами была выдвинута в статье Молины и Роуланда (Molina, Rowland, 1974). Однако обоснованность «гипотезы Молины-Роуланда» ставится рядом современных ученых под сомнение (Сорохтин, Ушаков, 2002). Они полагают, что образование озоновых дыр – это естественный процесс, существовавший и в доиндустриальную эпоху. Причина их возникновения кроется в образовании в атмосфере особых условий, связанных со структурой воздушных масс, их динамикой и сезонными изменениями

климата. Высказывается также мнение, что основными веществами, способными вызывать локальные разрушения озонового слоя, являются не техногенные фреоны и окислы азота, а метан и водород естественного происхождения. Их взаимодействие с озоном протекает в форме следующих химических реакций:



По мнению О.Г. Сорохтина и С.А. Ушакова (2002), объем техногенных агентов разрушения озонового слоя в настоящее время ничтожно мал в сравнении с объемами естественной эманации метана и водорода. По их оценкам, при гидратации пород океанической коры освобождается около 10 млн т/год CH_4 и приблизительно столько же H_2 , тогда как техногенный выброс фреонов не превышает 100 тыс. т/год. По некоторым данным, выделение CH_4 из океанов достигает 16 млн т/год. Помимо этого, многие миллионы тонн метана и водорода поступают из почв, болот и тропических лесов. Общая масса ежегодно поступающих в атмосферу природных газов, способных разрушать озон, по оценкам указанных авторов, достигает многих десятков миллионов тонн.

Таким образом, общепринятого мнения в отношении процесса разрушения озонового слоя не существует. К настоящему времени выдвинуто около двадцати различных версий о причинах данного феномена (Сывороткин, 2002). Например, помимо рассмотренной выше природной эманации метана и водорода, этот процесс может стимулироваться продуктами вулканизма в периоды крупных извержений. Поступление хлора в стратосферу происходит также из Мирового океана, из вод которого он в большом количестве выделяется в форме метилхлорида.

Сторонники гипотезы техногенного разрушения озонового слоя в качестве контраргумента приводят тот факт, что природные соединения галогенов и другие естественные агенты разрушения озонового слоя в подавляющем большинстве значительно менее устойчивы во времени, чем

техногенные. Например, время существования метилхлорида в атмосфере составляет порядка одного года, тогда как техногенные фреоны и галоны способны существовать в ней десятки лет (Исидоров, 2001). Так, очень мощное извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах в июне 1991 года сопровождалось ощутимым снижением содержания стратосферного озона. Но уже через три года практически вся масса агентов разрушения озонового слоя, поступивших из данного источника, исчезла из атмосферы. Следовательно, извержения вулканов могут рассматриваться в качестве факторов краткосрочного воздействия на озоновый слой, в отличие от значительно более долгоживущих техногенных агентов его разрушения.

Однако, несмотря на недостаточную обоснованность гипотезы «Молины-Роуланда», в научном сообществе укрепляется мнение, что существование озонового экрана, защищающего жизнь на поверхности Земли от губительного ультрафиолетового излучения, находится под угрозой, которая обусловлена растущим воздействием человеческой деятельности на окружающую среду. На опасность развития этой тенденции указывают наблюдения, проводимые под эгидой ООН крупными международными организациями (Scientific Assessment, 2011). Над полярными областями, где озоновый слой более тонок, формируются обширные «озоновые дыры» и поток достигающего поверхности планеты ультрафиолетового излучения резко усиливается. Так, в марте 2011 года в течение месяца над районами Арктики, Гренландии и севера Северной Америки существовала «озонная дыра», в которой снижение содержания озона достигало 45% от нормы (Дьяков, Жоголев, 2014). В апреле того же года длительное время «озонная дыра» отмечалась над Сибирью с максимумом понижения озона до 40%. Аналогичные явления отмечались и над европейской частью России: над городом Воронеж отмечалось разрушение озонового экрана с падением содержания озона до 30%. Вполне возможно, что подобные явления происходили всегда и обусловлены естественными причинами. Но масштабы опасности огромных

экологических и социально-экономических ущербов, а также возникновение угрозы для жизни и здоровья населения планеты, которые могут возникнуть при разрушении озонового слоя, столь велики, что пренебречь даже относительно небольшим риском подобных событий нельзя. Хочется еще раз подчеркнуть, что основная цель науки заключается не в фиксации уже произошедших событий, а в их прогнозе, в недопущении развития тенденций, представляющих угрозу существованию человечества и пригодной для существования его и других форм жизни окружающей среды.

Обсуждая вопрос о риске разрушения озонового слоя, необходимо обратить внимание на два обстоятельства, принципиально отличающих данный феномен от рассмотренного в предшествующем разделе парникового эффекта. Во-первых, происходящие глобальные климатические изменения, обусловленные эмиссией парниковых газов, вписываются в размах естественных флуктуаций, неоднократно происходивших в геологической истории Земли. Даже в переходные периоды между состояниями «теплой» и «холодной» биосферы, когда в результате резкого изменения условий уровень биоразнообразия заметно снижался, значительная часть видов животных и растений все же сохранялась. Но если хотя бы один раз за время существования биосферы¹⁴ произошло бы исчезновение озонового экрана, это привело бы к гибели практически всей наземной биоты, включая микроорганизмы.

Во-вторых, развитие парникового эффекта может возникнуть только как результат поступления в атмосферу огромного количества парниковых газов, способного вызвать значимое изменение ее состава в глобальных масштабах. Разрушение же озонового экрана происходит не в результате прямого изъятия озона из атмосферы, а как следствие катализа процессов его распада. Для того чтобы вызвать катастрофические последствия, достаточно

¹⁴ За исключением начального периода ее становления, когда состав атмосферы Земли еще не приобрел «окислительный характер» благодаря жизнедеятельности живых организмов и отличался высокой концентрацией кислорода.

проникновение в стратосферу весьма незначительного (по сравнению с объемом содержащегося в ней озона) количества веществ, выступающих в роли катализаторов.

Это вынуждает нас, пусть даже априорно, *рассматривать процесс разрушения озонового слоя как опаснейшее последствие глобального техногенеза¹⁵ и своевременно разрабатывать меры, способные предотвратить возможное развитие данного процесса в будущем.*

Если принять точку зрения, согласно которой процесс разрушения озонового слоя усиливается и носит техногенный характер, то данный феномен следует рассматривать как один из основных факторов, обуславливающих переход биосферы в состояние биотехносферы. В случае деградации озонового экрана условия существования организмов будут существенно отличаться от естественных.

Снижение концентрации озона на 1% приводит в среднем к увеличению интенсивности жесткого ультрафиолета у поверхности Земли на 2% (Дьяков, Жоголев, 2014). У человека и животных повышение интенсивности ультрафиолетового излучения, помимо развития онкологических заболеваний, вызывает поражение органов зрения. Так, в ходе исследований, проведенных различными специалистами, установлена четкая зависимость между увеличением интенсивности ультрафиолетового излучения и количеством людей, у которых развивается катаракта глаз (Hollows, Moran, 1981; Jose, Pitts, 1985). Не менее губительно действие ультрафиолетового излучения (особенно в диапазоне УФ-В) на растения, животных и структуру наземных экосистем в целом (Самойлова, 1982; Jordan, 1996; Стржижовский, 1999; Caldwell et al., 2003).

Разработка мер по борьбе с разрушением озонового экрана, так же как и деятельность по предотвращению развития парникового эффекта, в

¹⁵ Этот процесс, несмотря на локальность внешних проявлений (образования озоновых дыр над определенными участками), рассматривается как глобальный, поскольку источники, поставляющие вещества, разрушающие озоновый слой, расположены повсеместно, а их воздействие носит совокупный характер.

настоящее время осуществляется в рамках ограничительной парадигмы (табл. 3). Однако в отношении парниковых газов разрабатываются меры как по ограничению их эмиссии, так и по интенсификации стока (развитие этого направления, хотя и рассматривается как второстепенное, признано официально). В отличие от этого, меры по предотвращению разрушения озонового экрана носят сугубо односторонний характер, полностью соответствующий ограничительной парадигме природоохранной деятельности. Она заключается в контроле за поступлениями агентов разрушения озонового слоя в окружающую среду. Причем эти меры реально применяются лишь по тем направлениям, где они технически осуществимы. Так, наибольшее значение придается контролю над органическими соединениями галогенов техногенного происхождения, использующихся в холодильном оборудовании. От увеличения количества летательных аппаратов в стратосфере никто отказываться не собирается, хотя объемы сжигаемого в верхних слоях атмосферы топлива, поставляющего вещества – катализаторы процесса распада озона, стремительно растут.

Но даже результативность отдельно взятых мер по контролю производства фреонов и попыток их заменить аналогами весьма сомнительна. Если абстрагировать этот процесс от других источников эмиссии агентов разрушения озонового слоя, его восстановление в результате предпринимаемых мер можно ожидать не ранее середины XXI века (Newman et al., 2006). Но и это маловероятно, поскольку иные виды деятельности, стимулирующие процессы распада озона в стратосфере за этот же период, скорее всего, значительно усилятся. Ряд специалистов также высказывает сомнения в целесообразности внедрения в практику заменителей фреонов: попадая в атмосферу, они могут трансформироваться в высокотоксичные соединения (Исидоров, 2001). Кроме того, они значительно дороже и их использование существенно сокращает срок эксплуатации бытовых холодильников (Мазурин и др., 2014).

Приведенные выше факты рано или поздно вынудят человечество перейти к активному вмешательству в процессы синтеза и распада озона, происходящие в стратосфере, искать способы управления их балансом (табл. 3). Весьма желательно, чтобы смена парадигмы в сознании специалистов произошла бы до того момента, когда необходимость этого шага будет вызвана катастрофическим изменением ситуации. Уже сейчас необходимо разрабатывать методы, кажущиеся в современных условиях не только фантастическими, но и вредными, как и любые попытки превратить деградирующую биотехносферу в управляемую природно-техническую систему. Например, перспективным направлением может стать разработка новых видов топлива для высотных самолетов и космической техники, при сгорании которого образуются вещества-ингибиторы распада озона. Несомненно, что подобное вмешательство в атмосферные процессы должно получить достаточное теоретическое и экспериментальное научное обоснование.

3.4. Глобализация процесса загрязнения атмосферы

Согласно определению, данному в статье 1 ФЗ «Об охране окружающей среды»¹⁶, под ее *загрязнением понимается поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду*. В экологической литературе и природоохранных нормативах это понятие трактуется еще более широко – *загрязнение может возникнуть не только при попадании в среду каких-то агентов, но и в результате их образования в ней*. С этой точки зрения к категории загрязнителей относятся химические вещества, физические и биологические агенты, проникающие в окружающую среду из внешних источников или

¹⁶ Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ.

возникающие в ней в количествах, выходящих за рамки предельных естественных колебаний или среднего природного фона. При этом подразумевается, что эти явления оказывают негативное воздействие на качество среды и здоровье человека.

Стремительный рост масштабов производственной деятельности, наблюдавшийся с начала периода европейской индустриализации XVIII – XIX веков, в совокупности с высокой динамичностью воздушной среды, обусловил столь же стремительное расширение участков, в которых проявления последствий загрязнения атмосферы достигли значимого уровня.

Загрязнение атмосферы происходит одновременно в виде нескольких процессов, в которых природа агентов принципиально отличается. К наиболее значимым из них, достигшим к настоящему времени глобальных масштабов или закономерно приближающимся к ним, следует отнести следующие формы загрязнения:

- радиоактивное;
- механическое (аэрозольное);
- химическое;
- тепловое (энергетическое);
- вторичное, агенты которого образуются в ходе физико-химических процессов, протекающих под воздействием техногенных факторов непосредственно в атмосфере.

Подобное деление в значительной мере носит условный характер. Например, радиоактивное загрязнение атмосферы часто неразрывно связано с ее механическим загрязнением, а вторичное загрязнение возникает на основе химического. Необходимость отдельного (абстрагированного) анализа перечисленных форм атмосферного загрязнения продиктована особенностями развития каждого из этих феноменов, спецификой вызванных ими негативных экологических последствий и мерами, направленными на их предотвращение.

Радиоактивное загрязнение атмосферы обусловлено присутствием в ней веществ, содержащих нестабильные изотопы – радионуклиды. Глобализацию этой формы загрязнения обычно связывают с периодом проведения интенсивных наземных и воздушных ядерных испытаний. Попавшие в атмосферу радионуклиды в течение короткого времени переносились воздушными потоками на огромные расстояния. Так, продукты ядерных испытаний 07.03.1955 года в штате Невада (США) уже через несколько дней (12.03.1955 г.) в значительных количествах выпали в Ленинградской области (Пивоваров, Михалев, 2004). После взрыва в Сахаре 13 февраля 1966 года продукты деления были обнаружены уже через четыре дня в Крыму.

Таким образом, в результате открытых испытаний ядерного и термоядерного оружия, продолжавшихся около 40 лет, произошло практически необратимое изменение радионуклидного состава атмосферы¹⁷. Влияние на этот процесс оказали и аварийные выбросы радиоактивных материалов. Поступление радионуклидов в атмосферу происходит и при нормальной работе атомных реакторов (Бадяев и др., 1990), а также при добыче и переработке ядерного топлива.

Не следует также игнорировать и иные виды деятельности, вносящие свой значимый вклад в радиоактивное загрязнение атмосферы. К ним прежде всего относится включение в технологические циклы различных видов минерального сырья, содержащего радионуклиды (Gesell, Prichard, 1975). Например, при сжигании углей из некоторых месторождений в атмосферу попадает значительное количество радионуклидов (Апплби и др., 1999). Добыча и сжигание природного газа сопровождается поступлением в атмосферу больших количеств радионуклидов в форме инертного газа радона (²²²Rn). Радиоактивное загрязнение среды происходит и при внесении в почву

¹⁷ Данный феномен нашел отражение и в действующем законодательстве РФ. В статье 1 Федерального закона «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ содержится определение: «Техногенно измененный радиационный фон – естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека».

некоторых видов минеральных удобрений. В последующем часть радионуклидов в составе аэрозолей, образовавшихся в ходе дефляционных процессов, также может поступать в атмосферу. Несмотря на относительно низкое содержание радионуклидов, в этих источниках их распространенность обуславливает необходимость их учета. Их совокупный вклад в глобальное радиоактивное загрязнение атмосферы не менее значим, чем последствия аварий на радиационно-опасных объектах.

Механическое загрязнение атмосферы обусловлено присутствием в ней различных частиц техногенного происхождения, которые мы при анализе их воздействия на окружающую среду будем рассматривать как химически инертные. Подобное искусственное отделение физических свойств аэрозолей от присущих им же химических свойств необходимо для выделения ряда важных эффектов.

По происхождению аэрозоли можно разделить на две группы (Трифонов, Девисилов, 2010).

- диспергационные аэрозоли, образующиеся при измельчении твердых или жидких материалов;

- конденсационные аэрозоли, возникающие в процессе конденсации пересыщенных паров или при взаимодействии газов с образованием нелетучих продуктов.

Диспергационные аэрозоли с твердыми частицами называют пылями. Конденсационные аэрозоли с твердой или смешанной дисперсной фазой – дымами. Диспергационные и конденсационные аэрозоли с жидкой фазой называют туманами.

Поступление в атмосферу техногенных аэрозолей происходит в результате самых различных видов человеческой деятельности:

- выбросов промышленных предприятий;
- взрывных работ;

- дефляции (ветровой эрозии), спровоцированной нарушением почвенно-растительного покрова¹⁸.

По этой причине общая масса постоянно присутствующих в атмосфере техногенных аэрозолей огромна.

Время пребывания аэрозольных частиц в атмосфере определяется комплексом факторов. Основными из них являются:

- масса частиц (частицы с большей массой при прочих равных условиях оседают быстрее);

- протекающие в атмосфере процессы физико-химической трансформации частиц (агрегация, конденсация и т.п.);

- пространственное размещение частиц (в пределах тропосферы техногенные аэрозоли оседают или разрушаются относительно быстро, в стратосфере они могут существовать годами).

В глобальном масштабе существует следующая закономерность: в течение длительного времени, совпадающего с периодом интенсивного развития промышленности и хозяйственного освоения новых территорий, отмечается устойчивая тенденция увеличения количества техногенных аэрозолей в атмосфере¹⁹. В конце прошлого века она уже достигала 10 млн тонн (Будыко, 1977).

Присутствие в атмосфере большого количества аэрозолей, задерживающих значительную часть энергии солнечного излучения, может привести к понижению температуры у земной поверхности. Наиболее отчетливо подобные явления наблюдались в годы интенсивных вулканических извержений (Кракатау, Мон-Пеле и др.), когда выброс

¹⁸ Например, такие крупномасштабные явления, получившие название «черных ураганов», происходили в XIX в. в США при широкомасштабной распашке прерий (Одум, 1968). Столетие спустя подобные нежелательные эффекты сопровождали освоение целины в СССР.

¹⁹ Для общего содержания аэрозолей в атмосфере (включая природные аэрозоли) подобная тенденция не столь выражена, что связано с периодическими выбросами частиц в периоды мощных вулканических извержений. Однако подобные события, нарушающие картину закономерного роста интенсивности механического загрязнения, носят относительно краткосрочный характер.

огромного количества аэрозолей в южном полушарии приводил к значимому похолоданию, захватывающему обширные территории северного полушария. Аналогичные явления могут быть обусловлены и человеческой деятельностью. Крайне негативной формой данного вида глобального техногенного воздействия является так называемая *«ядерная зима»*, т.е. резкое повсеместное понижение температуры после затемнения атмосферы огромным количеством диспергационных аэрозолей, выброшенных в нее ядерными взрывами.

Негативное воздействие механического загрязнения атмосферы достаточно детально изучалось только в отношении человека. Установлено, что существующий в настоящее время уровень содержания аэрозолей в воздухе населенных пунктов вызывает обширный комплекс различных заболеваний (Воздействие..., 2013). Так, считается, что в глобальном масштабе это является причиной 5% развития рака легких.

Экологические последствия существующего уровня механического загрязнения атмосферы исследованы относительно слабо. Происходящее в настоящее время, в результате увеличения в атмосфере количества техногенных аэрозолей, постепенное уменьшение среднего значения коэффициента прозрачности земной атмосферы в видимом диапазоне обозначается в научной литературе термином *«глобальное затемнение»* (Stanhill, Cohen, 2001). Некоторые специалисты уже отмечают влияние этого фактора на развитие наземной растительности (Climate Change, 2007).

Химическое загрязнение атмосферы, т.е. поступление в нее химически активных веществ, также сопровождало весь путь промышленного развития. Источники и агенты данного вида загрязнения весьма многочисленны и разнообразны (Савенко, 1991). Уже в начале XX века данный вид техногенного воздействия приобрел глобальные масштабы. Присутствие вредных веществ в воздухе стало отмечаться повсеместно, в т.ч. в районах, удаленных от промышленных зон на тысячи километров. Наряду с

промышленностью все более значимым источником атмосферного загрязнения становится автотранспорт.

Не рассматривая отдельные категории веществ, относимых к наиболее опасным загрязнителям воздушной среды (диоксины и др.), отметим, что именно химическое загрязнение атмосферы рассматривается как наиболее вредный фактор, обусловленный техногенным преобразованием газовой оболочки Земли.

Выбрасываемые в атмосферу в значительных количествах токсичные вещества оказывают неблагоприятное воздействие на животный и растительный мир, приводят к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и разрушению структурно-функциональной организации экосистем (Глобальная экологическая перспектива, 2007),

Точно оценить воздействие химического загрязнения на окружающую среду в планетарном масштабе, опираясь на имеющиеся материалы, затруднительно. Хотя, вне всякого сомнения, это один из значимых факторов глобального техногенеза. Различные экологически опасные вещества техногенного происхождения обнаруживаются в живых организмах практически повсеместно, включая Антарктиду.

Ожидаемые результаты роста интенсивности химического загрязнения атмосферы можно проиллюстрировать данными, полученными на урбанизированных территориях промышленных регионов (Ревич, 2007). По данным российских специалистов, химическое загрязнение воздуха городов ежегодно становится причиной преждевременной смерти десятков тысяч людей (Ревич и др., 2004), достигая 17% от общей смертности городского населения (Рахманин и др., 2005). На Земле в целом, по предварительным и далеко неполным оценкам, химическое загрязнение воздуха в промышленных зонах вызывает преждевременную смерть не менее 2 миллионов человек (Глобальная экологическая перспектива, 2007). В обозримом будущем эта цифра, вероятно, будет только увеличиваться. В глобальном масштабе результаты от контроля за промышленными

выбросами в значительной мере сводятся на нет стремительной урбанизацией и хозяйственным освоением все новых регионов, что сопровождается ростом количества неконтролируемых источников загрязнения среды (Суздалева, 2014; Суздалева, Гальцова, 2015).

Тепловое загрязнение атмосферы вызывается ее непосредственным подогревом. Значительная часть используемых человеком энергетических ресурсов рассеивается в форме тепловой энергии. Поэтому высказывалось мнение, что чем более высокими темпами будет развиваться энергетика, тем большее количество тепла будет поступать в окружающую среду (Будыко, 1962), а сам данный феномен ранее также обозначался термином «энергетическое» загрязнение²⁰. Известные ученые уже давно указывали на опасность этой формы проявления глобального техногенеза (Будыко, 1977; Израэль, 1984). Подсчитано, что увеличение производства энергии от 4 до 10% в год приведет к тому, что не позже чем через 100 – 200 лет количество тепла, создаваемого человеком, будет сравнимо с величиной радиационного баланса всей поверхности континентов. Это вызовет глобальные климатические изменения, по своему размаху превышающие возможные последствия парникового эффекта.

Процессы теплового загрязнения атмосферы исследуются главным образом на территориях мегаполисов, где его проявления уже достигли уровня, способного при определенных условиях создать угрозу для здоровья населения. В результате поступления в среду техногенного тепла над крупными городами образуются куполообразные скопления подогретого воздуха, обозначаемые как «*острова тепла*» (Дроздов и др., 1989) или «*тепловые шапки*» (Берлянд, Кондратьев, 1972). В настоящее время данное явление рассматривается как сугубо локальное, а сопутствующие ему негативные воздействия – как периодически возникающие и

²⁰ В современном понимании этот термин используется более широко и включает поступление в среду не только тепловой, но и других видов энергии, например, электромагнитное загрязнение среды.

кратковременные. Подобный взгляд не отражает существующие реалии и тенденции их развития. Существование тепловых шапок над многими городами уже давно стало обыденным событием. Недостаток внимания к данному фактору связан с тем, что подавляющее большинство промышленно развитых стран расположено в регионах, где естественный температурный режим большую часть времени существенно ниже значений экологического оптимума данного фактора для человека. Повышение температуры на несколько градусов в холодный сезон не воспринимается людьми как ухудшение условий. Негативное воздействие теплового загрязнения воздушной среды в городах умеренного пояса ощущается в период летнего температурного максимума, когда аналогичное повышение температуры превышает экологический оптимум человека. Проблема значительно усугубляется, когда тепловая шапка начинает блокировать воздухообмен города с окружающей территорией. В результате в приземном слое атмосферы происходит накопление химических и механических загрязнителей (выхлопных газов автотранспорта и т.п.). Помимо прочего, это создает условия для развития наиболее опасных форм вторичного загрязнения воздушной среды, например, фотохимического смога.

Наблюдающиеся тенденции указывают на возможность глобализации теплового загрязнения атмосферы и связанных с ним негативных воздействий. Прежде всего это связано со стремительной урбанизацией поверхности планеты, которая уже в обозримом будущем распространится на большую часть территории, пригодной для заселения людьми (Суздалева, 2014). В некоторых странах уже осуществляются попытки застройки прибрежных морских акваторий путем возведения на них искусственных островов.

Рассматривая масштабы теплового загрязнения атмосферы, следует отметить, что тепловые шапки охватывают территории, далеко выходящие за пределы городской застройки. Так, тепловая шапка над Москвой простирается на расстояние 3–4 радиусов от города (Обухов, 1982).

Урбанизация неминуемо приводит к укрупнению подобных образований, которые вскоре могут принять не только региональные, но и более крупные масштабы. Обусловленные тепловым загрязнением атмосферы, негативные явления выйдут на новый, еще малоизученный уровень. Например, можно ожидать воздействия теплового загрязнения со стороны урбанизированных территорий на сохранившиеся между ними природные экосистемы. Этот фактор может стать одной из причин их деградации.

Вторичное загрязнение атмосферы. Под вторичным загрязнением подразумевается образование экологически опасных веществ в ходе физико-химических и биологических процессов, протекающих в окружающей среде. В наиболее простой форме явления происходят в два этапа. На первом из них в результате человеческой деятельности поступают вещества, которые в данном контексте можно обозначить как *«первичные» загрязнители»*. На втором этапе первичные загрязнители, реагируя друг с другом или подвергаясь различным физическим, химическим и биологическим факторам среды, трансформируются в иные, часто значительно более экологически опасные соединения. Таким образом возникают *«агенты вторичного загрязнения окружающей среды»*. Они, как и первичные загрязнители, в подавляющем большинстве имеют техногенное происхождение, но возникают в отсутствие не только экологического, но и технологического контроля со стороны человека. Эти процессы в значительно меньшей степени поддаются прогнозированию. Как правило, вторичное загрязнение среды привлекает внимание специалистов-экологов и общественности уже после того, как его негативные последствия стали очевидны.

Примером вторичного загрязнения атмосферы является образование так называемого *«фотохимического смога»*. Это высокотоксичные атмосферные аэрозоли, которые являются продуктами трансформации под воздействием солнечной радиации различных вредных примесей в атмосфере (агентов ее первичного загрязнения), главным образом, окислов азота и

углеводородов (Friedlander, Seinfeld, 1969; Воробьева, Степанова, 2008; Трифонов, Девисиллов, 2010).

Актуальность и масштабность проблем вторичного загрязнения неуклонно возрастают. Технологическое развитие сопровождается выбросом в атмосферу новых, ранее не существовавших в ней соединений. Они могут быть химически инертны и не обладать выраженной токсичностью. Технологии, в ходе которых они образуются, рассматриваются как экологически чистые. Но, учитывая почти бесконечное разнообразие выбрасываемых в среду техногенных веществ, предсказать процессы их совокупной трансформации затруднительно. Проблема прогнозирования последствий вторичного загрязнения усугубляется тем, что трансформация первичных загрязнителей может представлять собой не рассмотренный выше двухэтапный процесс, а включать большее количество стадий.

Практически все вещества, включающиеся в состав атмосферы (за исключением инертных газов), могут трансформироваться в соединения, обладающие иными свойствами. По этой причине глобализация химического и механического загрязнения атмосферы неминуемо влечет за собой глобализацию процессов ее вторичного загрязнения.

Следует отметить, что взгляд на явления вторичного загрязнения лишь как на одну из форм глобального техногенеза – это упрощение проблемы, приводящее к недопониманию ее значения. Эти бесконтрольно протекающие процессы по мере своего функционального развития и пространственного распространения постепенно формируют новую геохимическую систему нашей планеты. Их изучение и разработка методов, способных если не контролировать, то хотя бы прогнозировать развитие этих тенденций, представляет собой трудноосуществимую, но вместе с тем весьма важную задачу.

Приоритетное значение в деятельности, направленной на *предотвращение глобального загрязнения атмосферы*, в настоящее время занимают попытки ограничить выбросы промышленных предприятий и

ужесточить учет эмиссии загрязнителей²¹. В соответствии с главенствующей в природоохранной деятельности «ограничительной парадигмой» разрабатываются и внедряются новые технологии, позволяющие снизить количество выбрасываемых в атмосферу загрязнителей или снизить экологическую опасность этих выбросов, изменив их химический состав. Эти цели достигаются двумя основными путями: внедрением новых технологий производства продукции и внедрением новых систем очистки атмосферных выбросов²². Если оценивать результативность данных мер на уровне отдельного хозяйствующего субъекта²³, то их позитивный эффект нередко достаточно очевиден. Вместе с тем уровень загрязненности атмосферы в глобальном масштабе практически по всем рассмотренным выше формам загрязнения (за исключением радиоактивного²⁴) возрастает. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, снижение количества выбросов атмосферных загрязнителей при внедрении новых технологий, как правило, носит лишь относительный характер: их становится меньше в расчете на единицу продукции или мощности предприятия. В условиях роста производства даже при внедрении так называемых «наилучших доступных технологий» общий объем выбрасываемых в атмосферу загрязнителей также продолжает расти.

Во-вторых, внедрение «наилучших доступных технологий» осуществляется, главным образом, в сегменте крупных производственных объектов. На мелких предприятиях и тем более при осуществлении индивидуальной деятельности вопросу контролирования атмосферных

²¹ Ужесточение учета эмиссии загрязнителей, как правило, приводит к увеличению размера выплат за загрязнение окружающей среды. Поэтому конечная цель подобных мер декларируется как создание стимула для внедрения технологий, использование которых сопровождается уменьшением атмосферных выбросов.

²² В экологической литературе и природоохранных стандартах в совокупности эти меры обозначаются как «внедрение наилучших доступных технологий».

²³ Согласно действующим международным стандартам, регламентирующим внедрение и деятельность систем экологического менеджмента (ISO 14001 и др.), предусматривается оценка эффекта именно на уровне конкретных организаций.

²⁴ Это является результатом категорического запрета проведения открытых испытаний ядерного оружия. Подобный подход стал возможен только по той причине, что отказ от них не требует остановки технологического развития нашей цивилизации.

выбросов внимание почти не уделяется. Так, расчет объема и состава выбросов в организациях, функционирующих на территории РФ, осуществляется согласно техническим нормативам²⁵. Он основывается на учете количества единиц различных видов используемого оборудования (инвентаризации источников загрязнения). Общий объем атмосферных выбросов и их состав определяется как сумма произведений единиц оборудования каждого вида на установленный для него технический норматив. Измерение реальных масштабов загрязнения воздуха малыми и средними предприятиями производится лишь в тех случаях, когда его видимое проявление вызывает возмущение населения. Международные организации постоянно осуществляют попытки заинтересовать малый бизнес переходом на более экологичные технологии. Особенно интенсивно эта деятельность ведется в странах со слабо развитой экономикой. Но на практике для мелких производителей это выливается в бесплатное получение экологичного оборудования (например, ветроэнергетических установок), от эксплуатации которого его новые владельцы нередко быстро отказываются, поскольку это требует от них дополнительных затрат. Для международных организаций истинная цель этой деятельности заключается не в стремлении изменить экологическую ситуацию, а в формировании своего позитивного экологического имиджа (Безносов и др., 2007; Суздалева, 2016б). Вместе с тем совокупный вклад мелких источников в процессы глобального загрязнения атмосферы хотя и не поддается точной оценке, но, учитывая количество таких источников, вероятно, достаточно значим.

В загрязнении атмосферы все большую роль принимают так называемые *«диффузные источники»*, под которыми мы понимаем всю

²⁵ Технический норматив выброса – норматив выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для передвижных и стационарных источников выбросов, технологических процессов, оборудования и отражает максимально допустимую массу выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух в расчете на единицу продукции, мощности, пробега транспортных или иных передвижных средств и другие показатели (ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 14.05.1999 г. № 96-ФЗ, статья 1).

совокупность *мелкомасштабных и неорганизованных*²⁶ объектов, функционирование которых сопровождается эмиссией вредных веществ. Количество загрязнителей, продуцируемых каждым таким источником, весьма невелико. Они рассредоточены в пространстве, поэтому трудно контролируемы. Однако общий объем таких выбросов играет значимую роль. Диффузное загрязнение от большого количества источников вызывает возникновение *«рассредоточенного загрязнения»* (nonpoint source pollution). Очевидно, что методы очистки воздуха, используемые для промышленных выбросов, в данном случае не применимы.

Вместе с тем, рост народонаселения планеты и урбанизация ее поверхности придают процессам диффузного загрязнения атмосферы все большую значимость. Его источником становится каждый новый дом, выпущенный автомобиль или трактор. Внедрение в эти области более экологически безопасных технологий (например, распространение в развитых странах электромобилей) не сможет в обозримом будущем изменить глобальную тенденцию роста загрязненности атмосферы.

Создать крупные сооружения, способные эффективно очищать приземный воздух урбанизированного региона от диффузного загрязнения (например, постоянно профильтровывая его большие объемы), на современном этапе нереально как по финансовым, так и по техническим причинам. Кроме того, работа подобных устройств неминуемо будет оказывать негативное воздействие на авифауну и другие биологические объекты, распространяемые воздушными потоками.

Более перспективной представляется идея противопоставления диффузному загрязнению атмосферы организации системы диффузно

²⁶ Неорганизованный источник выбросов – источник загрязнения атмосферного воздуха, выброс вредных веществ из которого поступает в виде ненаправленных потоков газа (ГОСТ 32693-2014, пункт 2.5.6.1). Как правило, он не имеет специальных устройств для вывода загрязняющих веществ в атмосферу.

размещенных в среде поглотителей загрязнения²⁷. В качестве элементов этой системы могут быть использованы зеленые насаждения, способные задерживать значительную часть агентов химического и механического загрязнения. Данный метод давно известен и широко используется на практике (Илькун, 1978). Это одна из главных целей озеленения урбанизированных территорий. Растения способны эффективно поглощать из приземного слоя воздуха значительные количества различных загрязнителей (Илькун, 1982; Сергейчик, 1984; Лукина, Никонов, 1993; Чернышенко, 1999), формируя «*воздушно-растительные фильтры*», по своей эффективности не уступающие промышленным системам очистки выбросов. Так, 1 га леса способен за сутки очистить от значительной части загрязнителей 500 тыс. м³ проходящего через него воздуха (Алексеев, Дожинжер, 1981).

Задача состоит в упорядочении и повышении эффективности данного метода. Для этого деятельность по-городскому и промышленному озеленению необходимо организовывать не в форме создания отдельных объектов, а как включение функциональных элементов в состав управляемой природно-технической системы. Задачей управления является создание контролируемого баланса процесса эмиссии и стока загрязнителей, рассредоточенных в воздушной среде. Создание подобных систем – это решение проблемы в рамках креативной²⁸ парадигмы (табл. 3).

²⁷ Под диффузным размещением поглотителей в данном случае понимается лишь их распределение по обширной территории, которое противопоставляется диффузности источников загрязнения. В реальности характер распределения в пространстве как источников диффузного загрязнения, так и объектов диффузного поглощения загрязнителей в большинстве случаев подчиняется определенным закономерностям. Например, автомобили – источники диффузного загрязнения – движутся по дорогам, вдоль которых необходимо организовывать объекты диффузного поглощения загрязнителей.

²⁸ Употребляя данный термин, мы хотим еще раз подчеркнуть, что создание управляемых ПТС мы не противопоставляем мерам по ограничению эмиссии загрязнителей на организованных источниках, а также разработку экологически ориентированных новых технологий. Деятельность по ограничению атмосферных выбросов и созданию управляемых природно-технических систем, не допускающих роста дисперсного загрязнения атмосферы, должны осуществляться в едином комплексе природоохранных мер.

Придание управляемой природно-технической системе функции регулятора стока агентов атмосферного загрязнения возможно только при соблюдении трех условий:

❖ Содержащие загрязнители воздушные потоки должны контактировать с растительными насаждениями или массивами естественной растительности, на которых возлагается функция изъятия загрязнителей из воздушной среды. Для решения этой задачи необходимо детальное изучение динамики движения воздуха в приземном слое и разработка на основе полученных результатов проектов компоновки растительных фильтров. Необходим также учет сезонности их функционирования. Активное поглощение загрязнителей из воздуха происходит только в вегетационный период.

❖ Концентрация загрязнителей в воздухе не должна оказывать негативное воздействие на жизнедеятельность растений. В зонах интенсивного загрязнения воздушной среды воздушно-растительные фильтры необходимо формировать из наиболее устойчивых пород. На других участках следует отдавать предпочтение видам растительности, наиболее эффективно поглощающим загрязнители. Таким образом, в ряде случаев представляется целесообразным зональное устройство воздушно-растительных фильтров, в каждой из зон которых происходит определенный этап очистки воздуха.

❖ Загрязнители, поглощаемые растениями, должны либо разрушаться, либо задерживаться в них на длительный срок. Для стойких загрязнителей, например тяжелых металлов, необходима разработка методов утилизации накопившей их растительной массы и периодической замены элементов растительно-воздушных фильтров.

Сток атмосферных поллютантов в растительные сообщества интенсивно происходит на значительном удалении от источников их эмиссии. Это создает предпосылки для управления данным процессом не

только на основе локальных природно-технических систем, но и систем регионального и большего масштабов.

Повсеместную организацию воздушно-растительных фильтров, осуществляемую в процессе урбанизации, можно рассматривать как один из аспектов формирования управляемой биотехносферы – как природно-технической системы глобального масштаба. Конечным результатом этой деятельности станет замена исторически сложившихся *«атмосферных биогеохимических циклов»*²⁹ на искусственно управляемый баланс процессов поступления веществ (в т.ч. рассматриваемых в качестве агентов ее загрязнения) в воздушную среду и процессов изъятия их из нее. Это не следует воспринимать как целенаправленное разрушение естественных круговоротов. Напротив, целью является их стабилизация на уровне, обеспечивающем благоприятные экологические условия в ситуации, когда невмешательство в процесс глобальной техногенной деградации закономерно ведет к утрате сопряженности биогеохимических процессов единой системы.

²⁹ К ним относят циклы химических элементов, основной фонд которых существует в форме соединений, входящих в состав атмосферы и гидросферы

ГЛАВА IV. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ

4.1. Основные части гидросферы и особенности изучения процессов их техногенеза

В отличие от атмосферы гидросфера Земли, хотя и называется водной оболочкой, покрывает лишь часть поверхности планеты. Но в нее также входят многочисленные отдельные скопления воды. По своим масштабам, структуре и динамике протекающих процессов они принципиально отличны, что обуславливает необходимость различных методологических подходов к их изучению.

В качестве основных частей гидросферы рассматривают Мировой океан, континентальные поверхностные воды (включая ледники) и подземные воды. Совокупный объем вод объектов гидросферы, согласно современным расчетам, составляет 1390 млн км³ (Михайлов и др., 2007). Масса ее вод в 275 раз больше массы атмосферы. Океаны и моря составляют 96,4% объема гидросферы, воды ледников – 1,86%, подземные воды – 1,68%, а поверхностные воды суши – немногим более 0,02%. Несмотря на пространственную разобщенность и разнородность своих частей, гидросфера представляет собой единую высокодинамичную систему. Слагающие ее элементы связаны интенсивно идущими вещественными потоками (воды и переносимых с ней различных соединений). В совокупности эти процессы обозначаются как круговорот воды.

Вода обладает высокой теплоемкостью, в ней растворима подавляющая часть присутствующих в биосфере химических веществ, скорость физико-химических процессов в водной среде существенно выше. Благодаря этим свойствам гидросфера является огромным буфером, сглаживающим амплитуду колебаний физико-химических условий на поверхности Земли.

Способность воды растворять и переносить в своих потоках различные вещества обеспечивает саму возможность существования практически всех биогеохимических циклов, обуславливающих единство биосферы. Гидросфера играет основную роль в объединении в системное целое процессов, протекающих в атмосфере, литосфере и педосфере.

Процесс техногенеза гидросферы весьма многогранен (Суздалева, Горюнова, 2014). С одной стороны, это связано с тем, что вода является не только основой жизни, но и широко используется в качестве энергетического и сырьевого ресурса. С другой стороны, многообразие форм водных скоплений обуславливает принципиальное различие их использования и, следовательно, характера оказываемого техногенного воздействия. Для примера можно сравнить эксплуатацию ресурсов морских и континентальных водных объектов.

В монографии мы ограничимся анализом только отдельных аспектов техногенеза гидросферы, значимые проявления которых либо уже достигли глобальных масштабов, либо выйдут на этот уровень в обозримом будущем. Некоторые из них, например, техногенное истощение ресурсов пресной воды, уже стали объектом пристального внимания специалистов. На основе обобщенного анализа обширных материалов выявлены основные тенденции развития этих процессов и разрабатываются меры по возможному предотвращению их негативных последствий.

Изучению других форм техногенеза гидросферы, экологические последствия которых могут проявиться на глобальном уровне уже в ближайшие годы, уделяется значительно меньше внимания, а имеющаяся информация носит фрагментарный характер. Примером может служить интенсивно развивающееся освоение ресурсов глубинных слоев Мирового океана.

По этим причинам круг проблем, описываемых в данной части монографии, не совпадает с областью научных исследований, считающихся в настоящее время наиболее актуальными направлениями в изучении

гидросферы. Иной в ряде случаев является и позиция, с которой анализируются некоторые вопросы. Так, химическое загрязнение вод рассматривается не только как причина ухудшения экологической ситуации, но и как фактор истощения запасов водных ресурсов, а миграция загрязнителей в водной среде – как один из биогеохимических процессов, в результате которых биосфера превращается в биотехносферу.

4.2. Истощение водных ресурсов

Согласно определению, данному в статье 1 Водного кодекса РФ (от 03.06:2006 г. №74-ФЗ), *«истощение вод – постоянное сокращение запасов и ухудшение качества поверхностных и подземных вод»*. Данное определение обобщает большую группу разнородных процессов и в целях дальнейшего изложения материалов монографии нуждается в некотором уточнении. Подразумевается, что запасы воды – это та их часть, которая может быть использована человеком и непосредственно обеспечивает благоприятные условия среды его существования. Поэтому на практике данный термин обычно понимается более конкретно – как сокращение водных ресурсов, доступных для использования в бытовых и сельскохозяйственных целях (Вода для продовольствия..., 2007). Критическое снижение водных запасов, пригодных для использования в промышленном производстве, – явление более редкое. Таким образом, при употреблении термина «истощение вод» в первую очередь понимается их недостаток, вызывающий нарушение нормальных условий жизнедеятельности населения. Ухудшение экологической ситуации по причине истощения вод также рассматривается в большинстве случаев как один из факторов нарушения этих условий. В экологических исследованиях истощение вод описывается как возникновение негативных явлений, обусловленных дефицитом доступных для организмов водных ресурсов («нарушение влажностного режима», «опустынивание» и т.п.). Очевидно, что подобное расхождение в

терминологии, используемой в водохозяйственных и экологических исследованиях, неоправданно. Нормальные условия жизнедеятельности современного человека включают и благоприятные условия его существования. В Российской Федерации это одно из конституционных прав ее граждан.

Значимость истощения вод не только как водохозяйственного показателя, но и как экологического фактора постоянно возрастает. В определении, приведенном в Федеральном законе, указывается, что истощение вод может проявляться не только в виде тенденции уменьшения их объема, но и как закономерное ухудшение их качества. Это отражает тот факт, что некоторые из поверхностных и подземных водных объектов в настоящее время уже невозможно использовать в качестве источников водоснабжения не по причине уменьшения запасов сосредоточенных в них вод, а из-за высокого уровня их загрязненности вредными веществами.

Учитывая изложенное выше, можно дать следующее уточненное определение: *истощение вод – это сокращение количества пресной воды, сосредоточенной в поверхностных и подземных водных объектах, качество которой пригодно для обеспечения условий нормальной жизнедеятельности человека и благополучной экологической ситуации.*

В соответствии с двумя механизмами истощения вод, описанными выше, все формы данного явления можно разделить на две категории:

- ❖ *Количественное истощение вод*, то есть уменьшение объема запасов пресных вод.
- ❖ *Качественное истощение вод*³⁰, причиной которого является их загрязнение, в результате которого часть водных запасов пресных вод становится непригодной для обеспечения нужд человека и существующих на их основе природных объектов.

На современном этапе масштабы обеих форм истощения вод неуклонно возрастают. *Важнейшим фактором количественного*

³⁰ Данный термин был предложен А.В. Поддубным (2002).

истощения вод является увеличение объемов водопотребления, что неизбежно при непрекращающемся росте народонаселения планеты. Объем поверхностных и подземных водных объектов, как и объем вод, поступающих из источников их пополнения, ограничен. В определенный момент возникает ситуация, когда расход вод начинает устойчиво превышать их поступление. Предотвратить количественное истощение вод можно только контролируя баланс этих процессов. При этом необходим не только учет необходимых водохозяйственных потребностей, но и обеспечение водой объектов окружающей среды в объемах, не допускающих их деградацию. Поэтому для обоснования допустимых норм расхода предложен термин *«минимально допустимый сток»* (Маркин и др., 2015), т.е. объем изъятия вод из водных объектов, не вызывающий ухудшения экологической ситуации. Превышение минимально допустимого стока рассматривается как начало процесса истощения водного объекта. Однако простое ограничение водопотребления в современных условиях становится все менее реальным. На практике это может стать причиной социальных конфликтов. Поэтому все большую значимость приобретают косвенные способы решения этой проблемы, заключающиеся во внедрении водосберегающих технологий. Несмотря на то, что в ряде случаев получены обнадеживающие результаты, конечный эффект этих усилий в складывающейся ситуации представляется, по меньшей мере, спорным. Наилучший эффект водосберегающие технологии демонстрируют в экономически развитых странах. Этому способствует высокий уровень «экологической ответственности» граждан этих стран, а также развитая инфраструктура. Вместе с тем, наибольшей остроты проблема истощения вод достигает в регионах со слаборазвитой экономикой, жители которых обладают иным менталитетом. В некоторых из них количественное истощение вод усугубляется глобальными климатическими изменениями, сопровождающимися сокращением количества атмосферных осадков и хронической засухой.

Основная причина качественного истощения вод заключается в прогрессирующем загрязнении водных объектов, происходящем на фоне утраты ими способности к естественному самоочищению (Суздалева, Горюнова, 2014а).

Обсуждая проблему истощения вод, нельзя обойти вниманием ожидающийся в ближайшие 10 – 15 лет так называемый *«мировой кризис водопотребления»* (Данилов-Данильян, 2009). То есть большие массы людей не смогут быть обеспечены пресной водой в объемах, необходимых для их жизнедеятельности, в т.ч. и для удовлетворения потребностей сельскохозяйственного производства, что резко усугубит нарастающий продовольственный кризис. Согласно статистическим данным ООН, в настоящее время в условиях острого дефицита ресурсов пресной воды уже существует около 1,1 млрд человек, кроме того, еще приблизительно 1 млрд человек находится в состоянии так называемого *«водного стресса»*, т.е. испытывает дефицит воды время от времени.

Значение ***истощения вод как фактора, нарушающего безопасность жизнедеятельности людей***, постоянно усиливается. Наибольшей остроты данная проблема достигает в экономически слаборазвитых странах с высокой плотностью населения. В ряде случаев недостаток средств не позволяет этим государствам своевременно создавать дополнительные источники водоснабжения, например в форме водохранилищ. По этой же причине в этих же регионах не получают необходимого развития системы водоотвода и водоочистки. В результате участки наиболее интенсивного количественного и качественного истощения вод нередко совпадают. Наложение этих процессов ведет к резонансному углублению социальных проблем и проявляется в резком ухудшении здоровья населения. Загрязненная вода, попадая в организм человека, вызывает 70 – 80% всех известных болезней (Маркин и др., 2015). По данным Всемирной организации здравоохранения (Глобальные факторы ..., 2015), в Африке и некоторых частях Юго-Восточной Азии большинство случаев смерти от желудочно-кишечных

заболеваний (88%) вызывается непригодной для питья водой и низким уровнем санитарии и гигиены, также связанных с дефицитом воды.

Более того, уже существуют прецеденты, когда истощение водных ресурсов являлось причиной массовой гибели людей. Мало известен факт, что наибольшее количество человеческих жертв в природных чрезвычайных ситуациях XX века (51%) было связано не с землетрясениями или цунами, а с засухой в Восточной Африке (Осипов, 1995). Только в 1970 – 1974 годах здесь погибло от вызванного засухами голода около 1,2 млн человек. Если бы эти события произошли в странах Западной Европы, то по праву заняли бы место среди наиболее страшных исторических катастроф типа «флорентийской чумы».

Истощение вод вызывает не только ухудшение условий существования человека. Это является причиной гибели наземных и водных экосистем, охватывающей целые регионы. Наиболее известен в этом отношении пример истощения стока крупных рек Средней Азии, вызвавший деградацию экосистем Аральского моря и прилегающих к нему обширных наземных территорий.

Меры, направленные на предотвращение дальнейшего усугубления последствий истощения вод на современном этапе, как и усилия, предпринимаемые в других областях рационального использования природных ресурсов, осуществляются в рамках господствующей ограничительной парадигмы. Как и в других случаях, успех этой деятельности в условиях прогрессирующего глобального техногенеза может носить лишь локальный и краткосрочный характер (табл. 5).

Одновременно именно в этой сфере, как ни в какой иной, в настоящее время актуально решение проблем с позиций креативной парадигмы. Наряду с контролем за расходом и сбережением воды необходимо активное вмешательство в процессы формирования водных ресурсов.

Таблица 5

Основные формы глобального техногенеза водных объектов, обуславливающие переход естественной биосферы в состояние биотехносферы, возможные способы контролирования и управления данными процессами

Глобальные техногенные процессы	Основные направления решения проблемы в рамках ограничительной парадигмы		Основные направления решения проблемы в рамках креативной парадигмы	
	Действия	Результат	Действия	Результат
<i>Истощение водных ресурсов</i>	Усиление контроля водопотребления, внедрение водосберегающих технологий	Замедление развития мирового кризиса водопотребления	Создание управляемых ПТС на основе систем межрегионального перераспределения ресурсов пресной воды	Управление балансом процессов пополнения ресурсов пресной воды и их расхода
<i>Зарегулирование речного стока</i>	Разработка мер по ограничению форм негативного воздействия ГЭС на окружающую среду	Локальное улучшение некоторых экологических показателей	Использование объектов гидроэнергетики как экологических регуляторов управляемых ПТС регионального масштаба	Устойчивое развитие обширных регионов на основе управления условиями окружающей среды
<i>Нарушение стратификации Мирового океана</i>	Контроль за составом и объемами поднимаемых к поверхности глубинных вод	Ограничение негативных воздействий при проектировании и эксплуатации устройств, осуществляющих подъем глубинных вод в локальных масштабах	Создание управляемых ПТС на участках техногенного подъема глубинных вод	Предотвращение катастрофических ситуаций при освоении глубинных ресурсов Мирового океана. Создание механизма управления глобальным климатом

Глобальные климатические изменения привели к перераспределению количества осадков и изменению водности в подавляющем большинстве участков планеты (табл. 2). Повернуть развитие ситуации вспять нельзя. Никакие ограничения эмиссии парниковых газов уже не смогут восстановить влажностный режим, ранее существовавший в естественной биосфере. Не решит проблему в долгосрочной перспективе получившая в настоящее время широкое распространения идея поставки в районы, страдающие от истощения водных ресурсов, так называемых «влагоемких продуктов». Под ними подразумевается продукция, изготовление которой требует затраты значительного количества водных ресурсов (Allan, 1998; Перелет, 2010). Но регионы, испытывающие водный дефицит, как правило, отличаются весьма высокими демографическими и одновременно крайне низкими экономическими показателями. Поэтому на практике поставки «влагоемких продуктов» неминуемо превратятся в разновидность экономической помощи. Подобное паллиативное решение проблемы, сдерживая до определенного момента наступление кризиса мирового водопотребления, только усугубляет его (Суздалева, Горюнова, 2015).

Как уже указывалось в предшествующих разделах монографии, формирующаяся в настоящее время биотехносфера представляет собой природно-техническую систему глобального масштаба. Ее развитие может происходить спонтанно или управляться путем углубления целенаправленного техногенеза окружающей среды. В рассматриваемом случае решить проблему можно только компенсировав дефицит водных ресурсов, возникший в одних регионах, переброской вод из регионов, страдающих от их избытка (наводнений).

Реализация проектов по межбассейновой переброске вод уже начата в ряде стран (Литуев, 2008; Петраков, 2013). Отказ экологов от конструктивного участия в этой деятельности приведет к весьма нежелательным результатам. По причине объективной необходимости проекты межрегиональной переброски вод, невзирая ни на какую критику в

плане нанесения вреда окружающей среде, будут осуществлены. Если экологи своевременно не разработают свои предложения, позволяющие снизить экологический ущерб, он будет максимален и может сопровождаться трансграничными эффектами (Суздалева, 2015а). Так, в Китае планируется осуществление проектов межбассейновой переброски вод, негативные экологические последствия которых могут проявиться на участках территории Российской Федерации (Болгов, Фролова, 2012; Говорушко, Горбатенко, 2013).

В настоящее время идея межрегионального перемещения значительных объемов водных ресурсов вступает в явное противоречие со сложившимися стереотипами экологического мышления (Суздалева, Горюнова, 2015). Многие экологи рассматривают ее как реанимацию отвергнутого в 70-е годы прошлого века проекта переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию. Но на современном этапе ситуация кардинально изменилась (Суздалева, Горюнова, 2014а). Да, строительство крупномасштабных гидротехнических систем по межрегиональной переброске водных ресурсов неизбежно будет сопровождаться комплексом негативных воздействий на окружающую среду. Но какова экологическая альтернатива? То есть каковы экологические последствия отказа от реализации подобных проектов? Наибольшую угрозу из них представляют:

- уничтожение на обширных пространствах ранее существовавших природных экосистем в результате сокращения нормы осадков (интенсивно идущие во многих регионах процессы опустынивания);

- повышение риска гидравлических аварий (разрушение плотин) и «волны прорыва», вызванные аномальным повышением водности, влекущие за собой не только значительный экономический, но экологический ущерб;

- изменение солености и гидрологической структуры морских бассейнов (опреснение вод Северного Ледовитого океана представляет собой не меньшую опасность, чем его осолонение, угрозы которого опасались

зарубежные исследователи, изучая возможные последствия «поворота» Сибирских рек (Aagaard, Coachman, 1975);

- резкое возрастание антропогенной нагрузки на окружающую среду в результате неизбежной массовой миграции людей в период «мирового кризиса водопотребления».

Обсуждая экологический аспект проблемы, следует вспомнить, что подавляющее большинство современных крупных речных бассейнов уже зарегулировано плотинами ГЭС и водохранилищами различного предназначения (Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Сухоруких, 2006). Таким образом, создание систем переброски водных вод будет представлять собой не превращение естественной речной экосистемы в природно-техногенный объект, а реконструкцию уже давно сформировавшихся ПТС. Вопрос заключается в том, будут эти ПТС создаваться как управляемые или нет? В первом случае игнорирование экологических проблем на начальном этапе их эксплуатации потребует их решения в последующий период. Во втором случае создание управляемых ПТС на основе систем межрегиональной переброски вод, напротив, позволит решить многие из перечисленных выше экологических проблем.

Краеугольным камнем оценки экологических последствий искусственного изменения водности рек является определение количества воды, изъятие которого из бассейна донора может рассматриваться как средозащитная и природоохранная мера. Для обозначения этого объема вод, переброска которого за пределы речного бассейна ликвидирует угрозу нанесения экономического и экологического ущерба, можно использовать словосочетание *«мобильные водные ресурсы» (МВР)* (Суздалева, 2015а). Очевидно, что определение их объема должно строиться на результатах серьезных гидрологических исследований. Следует подчеркнуть принципиальное отличие МВР от упомянутого ранее термина «минимально допустимый сток» (Маркин и др., 2015). МВР – это не объем воды, изъятие которого не приведет к ухудшению состояния природных объектов, это

объем речного стока, который, не будучи своевременно изъят (задержан), принесет значимый экологический и экономический ущерб. Расчет МВР должен строиться именно на этом принципе.

Основными элементами системы межбассейновой переброски МВР являются:

- доноры МВР;
- пути транспортировки МВР (каналы, трубопроводы и др.);
- накопители МВР, аккумулирующие запас вод в паводковый период и обеспечивающие равномерность их поставки в остальное время;
- реципиенты МВР.

Подобные системы могут быть как простыми, включающими один донор МВР, так и сложными, одновременно использующими избыток вод нескольких различных доноров, включаемых в единую систему транспортировки МВР.

Развитие экологически ориентированных систем межрегиональной переброски вод в конечном счете должно привести к созданию континентальных систем регулирования водных ресурсов. Поскольку вода – это основа жизни, данную деятельность в целом следует рассматривать как один из наиболее реальных и перспективных путей формирования управляемой биотехносферы.

4.3. Зарегулирование речного стока

Под регулированием речного стока понимается его искусственное перераспределение³¹ в соответствии с нуждами водопотребления и водопользования (Иванов, Неговская, 1979; Железняков и др., 1984; Савичев

³¹ Существует также понятие «естественное регулирование стока», происходящее путем временной аккумуляции воды в периоды паводков и половодий в поймах, прибрежных понижениях рельефа, болотах и проточных озерах (Железняков и др., 1984). В связи с этим необходимо подчеркнуть, что, рассматривая последствия регулирования стока, мы имеем в виду исключительно искусственное (точнее – техногенное) регулирование.

и др., 2009). Как правило, это происходит в форме аккумуляции вод во время паводков и последующего контролируемого расхода накопленного водного объема в меженьный период. Основными регуляторами речного стока служат водохранилища, создаваемые подпруживанием рек плотинами с гидротехническими сооружениями, осуществляющими контролируемый попуск вод. Регулирование стока крупных водотоков в большинстве случаев оказывает значимое влияние на всю гидрографическую систему, частью которой они являются. Так, зарегулирование основного водотока, как правило, вызывает изменение режима стока его притоков и уровня режима гидравлически связанных с ним водоемов (озер и др.) Поэтому, анализируя экологические последствия этой деятельности, можно говорить о зарегулировании водных систем. Именно они являются объектом этой разновидности техногенеза гидросферы.

К настоящему времени большинство водных систем уже зарегулировано (Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Сухоруких, 2006). Входящие в них водотоки и водоемы превратились из природных объектов в элементы природно-технических систем, экологическое состояние которых определяется комплексом как естественных, так и техногенных факторов (Суздалева, Горюнова, 2014а).

Интенсивное развитие гидроэнергетики, осуществлявшееся на протяжении XX века, в современной экологической литературе рассматривается как один из наиболее значимых факторов экологической деградации водных объектов (Данилов-Данильян и др., 1994; Большая Волга, 1994; Авакян, Подольский, 2002). Основанием для подобного заключения служит комплекс общеизвестных негативных последствий, обусловленных зарегулированием стока рек, возникновением труднопреодолимых препятствий на пути миграции ценных видов рыб, их массовой гибелью в турбинных трактах ГЭС (Павлов и др., 1999), а также затоплением и подтоплением обширных участков земель.

В искусственно созданных водохранилищах возникли особые условия, позволяющие одновременно существовать водным массам с различным генезисом, гидрологическими и гидрохимическими характеристиками (Буторин, 1969). В результате биота зарегулированных речных систем существенно изменилась (Мордухай-Болтовской, 1961; Кожевников, 1978; Водохранилища..., 1986). Численность многих мигрирующих видов катастрофически снизилась. На подпруженных участках водотоков также уменьшилось количество реофилов³². Напротив, благодаря возникновению обширных водохранилищ были созданы новые биотопы для эврибионтных видов озерно-прудового комплекса.

Существенные изменения претерпели и наземные экосистемы, расположенные на прибрежных, особенно пойменных участках (Влияние водохранилищ..., 1970; Шарапов, 1979; Петров, 1981; Водохранилища..., 1976; Пилипенко и др., 2006). Во многих случаях образование водохранилищ сопровождалось существенными изменениями почвенного покрова и рельефа береговой зоны, ее ландшафтной структуры и гидрогеологии. Зарегулирование стока рек вызвало значимые изменения и в состоянии некоторых морских водных объектов (Виноградов, 1987). Таким образом, границы зоны техногенеза в данном случае далеко выходят за пределы самих зарегулированных водных объектов, приобретая межрегиональные масштабы. Более того, речной сток является важным этапом большинства биогеохимических циклов, и его зарегулирование неминуемо оказывает воздействие на эти процессы, связующие биосферу в единую систему. Таким образом, зарегулирование водных систем можно рассматривать как важный аспект глобального техногенеза, в результате которого биосфера трансформируется в биотехносферу.

Следует отметить, что процесс техногенеза водных систем, обусловленный их зарегулированием, уже привел к практически необратимым последствиям. Восстановления исходного состояния

³² Организмы, живущие в водных объектах с постоянным течением.

подвергшихся ему водных объектов (существовавших до зарегулирования стока) после устранения техногенных факторов, определяющих их современный гидрологический режим, произойти не может (Авакян и др., 2002; Раткович и др., 2003). Например, после спуска водохранилищ ГЭС осушенная площадь будет представлять собой заболоченное пространство, покрытое мощным слоем загрязненных отложений.

В сложившейся ситуации сохранение благоприятного состояния окружающей среды возможно лишь на основе повышения как уровня управляемости ПТС зарегулированных водных систем, так и эффективности мер по их экологической оптимизации.

Основная часть крупных водохранилищ, выступающих в качестве регуляторов речного стока, создавалась при строительстве объектов гидроэнергетики (ГЭС и гидроэнергетических каскадов)³³. По этой причине в сознании людей сформировалось устойчивое мнение о том, что строительство и эксплуатация ГЭС – это один из видов деятельности, наносящий значительный ущерб природной среде. В свое время такой взгляд на проблему был в значительной мере оправдан. Это стало причиной разработки многочисленных мер, направленных на ограничения негативных эффектов, обусловленных строительством и эксплуатацией объектов гидроэнергетики. Эти действия, вписывающиеся в меры ограничительной парадигмы, дали ощутимый результат лишь в отдельных случаях. Например, благодаря новым подходам к проектированию ГЭС были значительно сокращены площади затапливаемых земель при организации водохранилищ, повышена эффективность мер по защите их берегов от разрушительного воздействия эрозии и абразии (Асарин, 1982; Троицкий, 2003; 2006). Однако в других случаях, например при многочисленных попытках сделать плотины

³³ Некоторые водохранилища создаются также для обеспечения водой оросительных систем. Но в большинстве случаев эта функция водохранилищ совмещается с их использованием для производства электроэнергии.

ГЭС проходимыми для мигрирующих видов рыб, практического результата достичь не удалось.

В отличие от этого при разработке мер на базе креативной парадигмы (табл. 5), основное внимание уделяется экологической оптимизации объектов гидроэнергетики, т.е. не негативным факторам, а усилению позитивных воздействий, также сопутствующих их эксплуатации (Безносов и др., 2007а ; Федоров, Суздалева, 2014а).

Конечной целью этой деятельности является превращение ГЭС и гидроэнергетических каскадов в экологические регуляторы регионального масштаба, поддерживающие благоприятные условия окружающей среды на обширных территориях (Федоров, Суздалева, 2014а). Формирование на их основе управляемых ПТС создает условия для практической реализации провозглашенной ООН концепции «устойчивого развития» (Федоров, Суздалева, 2014 б).

Деятельность по экологической оптимизации ГЭС (гидроэнергетических комплексов) может одновременно проводиться в нескольких различных направлениях (Суздалева Горюнова, 2014а), среди которых наиболее значимыми как с экологической, так и с социальной точек зрения являются:

1. Формирование регулируемых водохозяйственных систем, обеспечивающих интересы всех групп водопользователей, включая в их число и природные объекты, существование многих из них в условиях происходящих климатических изменений становится возможным лишь при осуществлении мер по искусственному поддержанию их влажностно-водного режима.

Ранее уже неоднократно отмечалось, что для комплексного решения водохозяйственных проблем почти всегда требуется регулирование речного стока (Железняков и др., 1984). Иными словами, в современном мире зарегулирование стока постепенно превращается из негативного последствия организации гидроэнергетических каскадов в необходимое условие

рационального водопользования. Следует обратить внимание на то, что так называемые «неэнергетические участники» водохозяйственных систем (предприятия промышленного и коммунального водоснабжения, рыбное хозяйство и др.) часто жестко лимитируют режим работы самой ГЭС (Асарин, Бестужева, 1986). При этом на практике удовлетворение в полном объеме всех требований водопользователей в маловодных, а иногда даже и в средневодных условиях практически невозможно, поэтому режим фактической эксплуатации ГЭС всегда в той или иной мере является компромиссным, основанным на учете и соблюдении интересов других заинтересованных лиц (Асарин, 1982; Вода России..., 2000), обозначаемых в современной литературе обобщающим термином «*стейкхолдеры*»³⁴. Таким образом, существующие водохозяйственные системы отчасти являются реализацией на практике идеи управляемых ПТС, регуляторами которых, как правило, являются объекты гидроэнергетики.

Вместе с тем постоянно возникающие конфликтные ситуации свидетельствуют о том, что эти возможности регулирования стока реализуются в недостаточной степени. Основная причина заключается в недостаточной разработанности научной базы управляемого техногенеза. На практике это, с одной стороны, обуславливает недоучет или игнорирование интересов отдельных стейкхолдеров, а с другой стороны, приводит к возникновению пробелов в законодательно-нормативных документах и просчетах в работе надзорных органов. Одним из примеров является проблема, возникшая в связи с повышением нормального подпорного уровня воды (НПУ) Чебоксарской ГЭС. В данном случае трудноразрешимый конфликт был вызван как раз утратой на определенном этапе связи между отдельными элементами водохозяйственной системы, а именно: недостаточной обоснованностью учета последствий для каскада ГЭС

³⁴ Стейкхолдерами являются и природные объекты, точнее, лица, отвечающие за их состояние. С «бюрократической» точки зрения на территории Российской Федерации не может быть каких-либо экосистем, за состояния которых не несет ответственности определенное лицо или группа лиц, работающих в органах исполнительной власти.

пониженного значения НПУ Чебоксарского водохранилища, а также недоучетом в проекте ГЭС вероятности подтопления территории Нижнего Новгорода и, наконец, выдачей местными органами власти разрешений на застройку затопляемых участков. Эта и многие другие подобные конфликтные ситуации не возникали, если бы объекты гидроэнергетики на этапе их проектирования рассматривались в том числе и как регуляторы управляемых ПТС, обеспечивающие безопасные условия жизнедеятельности всех элементов этой системы, т.е. всех связанных с ГЭС стейкхолдеров.

2. Регулирование потока загрязнителей. Вода является универсальным растворителем, и по этой причине основная часть загрязнителей, попадая в окружающую среду различными путями, рано или поздно оказывается в водных системах. Миграция большинства агентов химического загрязнения во многом определяется движением водных потоков, в которые они попадают. На современном этапе многие водохранилища превратились в депозитории загрязнителей (Авакян и др., 1994; Большая Волга ..., 1994; Эдельштейн, 1998). Это дает возможность контролировать данный процесс, предотвращать распространение поллютантов и позволяет осуществлять очистку локализованных загрязненных вод, например, путем изъятия и переработки донных отложений или созданием биомелиоративных барьеров (Морозов, 2001).

Если бы ГЭС в современном мире отсутствовали, то уровень глобального загрязнения водной среды был бы, несомненно, существенно выше. Значительно худшими были бы и экологические последствия (Эдельштейн, 1998; Даценко, 2002). Например, если бы не существовало такой гидроэнергетической системы, как Волжско-Камский каскад, интенсивность процесса эвтрофирования Каспийского моря повысилась бы более чем в 2 раза. Кроме того, тысячи тонн тяжелых металлов, которые в настоящее время аккумулируются в донных отложениях водохранилищ, частично осаждались бы в биологически доступной форме на пойменных участках и включались затем в наземный биохимический цикл

микроэлементов с прогрессирующим их накоплением в луговых травах, молоке и мясе скота.

Рассматривая вопросы регулирования потока загрязнителей, следует еще раз вспомнить о том, что в последние десятилетия количество природных и техногенных катастроф возросло в несколько раз (Осипов, 1995). По прогнозам специалистов, эта тенденция, скорее всего, сохранится и в ближайшем будущем (Осипов, 2009). Независимо от природы катастроф большинство из них сопровождается поступлением в окружающую среду огромных количеств различных загрязнителей. Как и в других случаях, их последующее распространение в окружающей среде осуществляется главным образом с водными потоками. Даже загрязнители, выбрасываемые во время катастроф в атмосферу, по большей части достаточно быстро осаждаются на земную поверхность и с поверхностным смывом также поступают в водные объекты. Единственный реальный путь локализации таких потоков – это эффективное использование существующих ГЭС, что собственно и делается при возникновении многих чрезвычайных ситуаций. Например, временное изменение режима их работы позволяет предотвратить распространение по течению «пятен» нефтяного загрязнения, организовать сбор нефтепродуктов с поверхности воды на приплотинных участках.

Экологическая оптимизация в данном направлении может заключаться в создании специальных ловушек-накопителей для аккумуляции загрязнителей, а также систем их извлечения из донных отложений с целью последующей утилизации и захоронения.

3. Интенсификация процессов самоочищения. Некоторые воздействия, сопутствующие эксплуатации ГЭС (аэрация, турбулентное перемешивание), интенсифицируют процессы самоочищения и способствуют значительному улучшению экологического состояния водных объектов. По этой причине качество вод, сбрасываемых из водохранилищ, часто существенно выше, чем в источниках их подпитки.

Данное направление экологической оптимизации ГЭС должно заключаться как в разработке мер, направленных на интенсификацию процессов самоочищения, так и в выработке проектных и эксплуатационно-технических решений, позволяющих избежать искусственного замедления этих процессов (образования застойных зон и др.).

В современной России проблема интенсификации процессов самоочищения вод в водохранилищах приобрела особую актуальность. Развитие многоукладной экономики привело к тому, что совокупный негативный эффект, оказываемый мелкими хозяйствующими субъектами на водные объекты, может быть весьма значителен и достигать уровня, сопоставимого с промышленным загрязнением (Суздалева и др., 2004). Ситуация усугубляется тем, что ранее построенные системы отведения поверхностного стока и его очистки постепенно выходят из строя, а многочисленные мелкие хозяйства очисткой вод не занимаются, поскольку не располагают ни достаточными для этого средствами, ни техническими возможностями. Результатом является закономерно возрастающий уровень загрязнения большинства российских водных бассейнов.

4. Внедрение на объектах гидроэнергетики природоохранного оборудования и технологий, то есть использование на практике инженерно-технических решений, способствующих целенаправленному улучшению состояния природной среды или предотвращению нанесения ущерба ее отдельным компонентам. В настоящее время на многих российских ГЭС успешно внедряются так называемые «Fish friendly» (т.е. буквально «дружеские рыбам») гидротурбины, которые, благодаря своим конструктивным особенностям, в меньшей степени травмируют рыбу, попадающую с током воды в гидроагрегаты.

5. Повышение средозащитной функции ГЭС, под которой мы понимаем все аспекты их эксплуатации, прямо или косвенно способствующие снижению риска нанесения ущерба окружающей среде в результате негативного воздействия природных и техногенных явлений и

процессов, а также снижения размеров этого ущерба. В современном мире регулирование стока рек предотвращает как катастрофические наводнения, так и маловодья (Авакян, 2000; Эдельштейн, 1998). В обоих случаях именно благодаря наличию крупных гидротехнических систем удается не только защитить население огромных территорий, но и предотвратить массовую гибель животных, уничтожение многих биотопов вследствие размыва почв, их затопления, подтопления, отложения на их поверхности наносов. Как засухи, так и наводнения приводят к ухудшению санитарно-эпидемиологической и эпизоотической обстановки (Эльпинер, 2003). Кроме того, наводнения практически всегда сопровождаются сильным химическим и микробиологическим загрязнением среды в результате размыва промышленных и хозяйственно-бытовых объектов. При попадании в зону затопления радиационно-опасных объектов возникает угроза радиоактивного загрязнения обширных территорий. В период засух возникают трудности с очисткой сточных вод, нарушается функционирование систем водоотведения.

Основными направлениями повышения средозащитной функции ГЭС являются как регулирование водного режима рек и водохранилищ, так и разработка превентивных мер по предотвращению ЧС и снижению их последствий. Данное направление экологической оптимизации включает весьма широкий спектр мероприятий:

- разработку режима попусков половодий и паводков, минимизирующих сопутствующие негативные воздействия на окружающую среду (снижение площадей затопления и подтопления территорий, а также сокращение времени их затопления до срока, не вызывающего деградацию наземных экосистем и др.);

- санитарные попуски, обеспечивающие расходы воды в объеме, гарантирующем бесперебойную работу питьевых водозаборов, благоприятные условия для культурно-бытового водопользования населения;

- экологические попуски, т.е. регулярная, периодическая или эпизодическая подача воды из водохранилища в нижний бьеф в объемах, необходимых для поддержания естественного состояния наиболее ценных элементов природной среды. Разновидностью являются так называемые «нерестовые попуски» (Раткович и др., 2003), осуществляемые с целью создания благоприятных условий для нереста ценных пород рыб, и «санитарно-экологические попуски в маловодные годы», проводимые для обеспечения нормальной работы систем коммунально-бытового, промышленного, сельскохозяйственного водоснабжения, работы систем орошения, функционирования других хозяйственных и рекреационных объектов;

- разработку режима эксплуатации ГЭС, способствующего улучшению качества вод и условий существования водных организмов, например, дополнительные сбросы в зимний период, благодаря которым в нижнем бьефе образуется обширная полынья, препятствующая развитию заморных явлений (Тимченко, Окснюк, 2002);

- разработку мероприятий по контролю за сбросом загрязненных вод из водохранилища при ЧС природного и техногенного характера с целью недопущения ухудшения экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации на нижележащих участках речной системы (подразумевается не разработка программы по регулированию потока загрязнителей, а конкретные действия в период возникновения ЧС);

- ограничение скорости сработки уровня водохранилищ с целью недопущения ущерба землям прибрежной зоны в результате оплывания или сползания грунта в водохранилище, а также образования заторов и зажоров в хвостовой части водохранилища при быстрой сработке уровня и затоплении в зимний период прибрежных территорий.

6. Увеличение водохозяйственного и рыбохозяйственного потенциалов. Благодаря строительству ГЭС в современном мире возник большой дополнительный фонд водных ресурсов. В России суммарный

объем водохранилищ превышает 400 км³ (Эдельштейн, 1998). Стационарные водные ресурсы водохранилищ, хотя и называются «мертвым объемом», на самом деле служат местообитанием многочисленных видов организмов, в том числе хозяйственно ценных, а также редких и нуждающихся в особой охране. На фоне сокращения запасов питьевой воды и биологических ресурсов водных объектов, которые ряд исследователей рассматривает как кризис в сфере водопотребления (Данилов-Данильян, Лосев, 2006), организацию водохранилищ, напротив, можно рассматривать как позитивное явление. Следовательно, разумное, сбалансированное увеличение водных ресурсов и запасов биологических ресурсов, происходящее вследствие строительства и эксплуатации ГЭС, представляет собой одно из важных направлений их экологической оптимизации.

7. Координация режимов ГЭС, входящих в состав комплексных гидроузлов (каскадов). Комплексные гидроузлы могут являться регулятором более обширной (региональной) ПТС, включающей в себя группу взаимосвязанных ПТС, каждая из которых регулируется отдельной ГЭС, входящей в данный каскад. Таким образом, с экологической точки зрения, комплексным гидроузлам свойственна эмерджентность, то есть наличие у системного целого особых свойств, не присущих его подсистемам и блокам, а также сумме элементов, не объединенных системообразующими связями. Следовательно, координация и интеграция программ экологической оптимизации ГЭС на уровне комплексных гидроузлов может дать принципиально иные результаты. Это один из реальных путей создания управляемых ПТС регионального масштаба (Федоров, Суздалева, 2014а).

В настоящее время наиболее актуальным является вопрос использования комплексных гидроузлов для снижения риска экстремальных и катастрофических явлений гидрологического характера (наводнений, паводков) (Федоров, Масликов, 2013). Вместе с тем, игнорирование принципа эмерджентности при разработке программ экологической оптимизации ГЭС может значительно снизить эффект от многих

природоохранных и средозащитных мероприятий. Так, усилия, предпринимаемые на водохранилище отдельной ГЭС для интенсификации процессов самоочищения, во многом теряют свое значение, если в ходе эксплуатации нижерасположенных объектов гидроэнергетики, входящих в тот же каскад, уровень загрязненности вод вновь повышается (например, в результате образования застойных зон и аккумуляции в них сбросов сточных вод).

8. Улучшение видеоэкологического потенциала и социальной привлекательности территорий. Благоприятные условия для жизни людей – это не только набор физико-химических условий среды, подходящих для жизни. Весьма важным для человека является эстетическое восприятие условий, в которых он существует: вид из окна его дома, пейзаж, видимый им по дороге на работу, и др. Актуальность этой проблемы породила возникновение целой научной дисциплины – видеоэкологии (Филин, 1997), значение которой в условиях стремительной урбанизации, охватывающей все новые и новые территории, неуклонно возрастает. В современном мире в эксплуатацию ежегодно вводится от 300 до 500 водоемов-водохранилищ. Общее их число превысило 30 тыс., площадь водного зеркала – около 400 тыс. км², а с учетом подпруженных озер – 600 тыс. км² (Сухоруких, 2006). Берега большинства из них быстро заселяются. Процессы урбанизации и зарегулирования водных бассейнов взаимосвязаны и взаимообусловлены. Для населения многих индустриальных городов, расположенных, например, на берегах средней и нижней Волги, основным позитивным видеоэкологическим элементом являются водохранилища. Кроме того, они служат местом массового отдыха. Таким образом, от экологического состояния водохранилищ зависит социальная привлекательность региона в целом.

Рекреационный и видеоэкологический потенциал водохранилищ во многом определяется режимом эксплуатации ГЭС, а также специальными мероприятиями, проводимыми их силами и средствами. Следовательно,

данный аспект может быть включен в программы их экологической оптимизации. Конечной целью подобной деятельности (например, обустройство пляжей и организация зон отдыха на берегах водохранилищ) является создание благоприятных условий для жизнедеятельности человека.

Изложенные в данном разделе материалы в краткой форме можно резюмировать следующим образом:

- в настоящее время большинство крупных водных бассейнов уже в той или иной степени зарегулировано и представляет собой не природные, а природно-технические системы;

- их превращение в управляемые природно-технические системы следует рассматривать как системный подход к сохранению благоприятной экологической ситуации и созданию условий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности населения.

4.4. Нарушение стратификации Мирового океана при освоении ресурсов его глубинных слоев

Водная толща морей и океанов стратифицирована, т.е. разделена на несколько слоев (водных масс), отличающихся по своим физико-химическим свойствам. Отличительной чертой современного этапа освоения ресурсов являются все возрастающие попытки освоить ресурсы не только прибрежных мелководных частей Мирового океана, но и его глубинных слоев. В них сосредоточены огромные запасы ценного сырья, которые на суше постепенно истощаются. Реализация таких проектов почти всегда приводит не только к изменению условий в придонных горизонтах. Происходит крупномасштабное нарушение стратификации всех лежащих над ними водных слоев. Иными словами, при освоении ресурсов глубин Мирового океана в процесс техногенеза вовлекается вся расположенная над ними толща вод. Как свидетельствуют события, ранее происходившие в

геологической истории планеты, подобные явления неоднократно вызывали катастрофические изменения экологических условий глобального масштаба, сопровождавшиеся массовой гибелью существовавших в те эпохи организмов (Безносков, 1998б; 2000а). На современном этапе они в течение короткого времени могут превратиться в один из факторов неуправляемой деградации биотехносферы.

Происходившие в истории Земли процессы, обусловленные широкомасштабной дестратификацией, т.е. нарушением структуры слоев Мирового океана, носили сложный и многоэтапный характер (Безносков, 2000б). Их подробное рассмотрение не входит в цели монографии. Проиллюстрируем сказанное лишь одним из эпизодов в истории биосферы, изложив события в форме предельно упрощенной схемы, опускающей ряд важных деталей. Как свидетельствуют геологические материалы, в конце мелового периода на Землю упал крупный метеорит, при прохождении через атмосферу расколовшийся на несколько частей (Масайтис и др., 1990). Некоторые из них упали на поверхность суши, образовав гигантские кратеры-астроблемы, остатки которых еще сохранились. Другие, упав в океан, вызвали его дестратификацию. Одним из последствий стал подъем из его глубинных слоев накопившихся в них громадных количеств так называемых биогенных элементов, фосфора и азота, содержание которых в воде лимитирует интенсивность биопродукционных процессов. Их поступление в поверхностные, освещенные Солнцем слои (фотическую зону) вызвало возникновение «цветения воды» или «красных приливов», охвативших значительную часть акватории Мирового океана (Найдин и др., 1986). Глобальная вспышка фотосинтетической активности фитопланктона сопровождалась изъятием из атмосферы значительной части содержащегося в ней углерода. Кроме того, микроскопические водоросли, вызвавшие это цветение, имели известковый скелет, при образовании которого углекислый газ включался в состав слаборастворимых солей – карбонатов. По окончании вспышки массового развития водорослей отмершие их остатки, оседая на

дно, образовали мощные отложения, часть которых превратилась впоследствии в залежи пещего мела, по которым и получил свое название данный период истории Земли. Изъятие из атмосферы углекислого газа и захоронение углерода в осадочных породах вызвало глобальное похолодание. Произошел процесс, обратный наблюдающемуся сейчас парниковому эффекту³⁵. Его последствием стало вымирание динозавров и многих других групп организмов.

Следует обратить внимание на то, что техногенный подъем глубинных вод может спровоцировать крупномасштабное изменение условий, далеко выходящее за пределы района дестратификации вод и в отсутствие вспышки цветения фитопланктона. Вода обладает значительно большей, чем воздух, теплоемкостью. Поэтому подъем холодных глубинных вод на относительно небольшом по площади участке океана может вызвать изменение гидрометеорологических условий, связанных с понижением температуры нижних слоев атмосферы, в значительно более крупных масштабах.

Таким образом, *планируемые уже в ближайшем будущем различные проекты масштабного освоения ресурсов его глубинных слоев могут привести к весьма опасным экологическим и социальным последствиям даже в тех случаях, когда они не сопровождаются традиционными формами воздействия на окружающую среду.* Оценка их последствий строится, прежде всего, на определении сопутствующих этой деятельности традиционных форм загрязнения морской среды и связанных с ними возможных воздействий на биоту. Как показывает приведенный выше пример из геологического прошлого Земли, подобный методологический подход, хорошо согласующийся с ограничительной парадигмой природоохранной деятельности, приводит к недоучету или даже

³⁵ Следует отметить, что, несмотря на интенсивное развитие парникового эффекта, содержание углекислого газа в атмосфере в обозримом будущем не сможет достигнуть уровня, существовавшего в мезозойскую эру до наступления описанных событий.

игнорированию факторов, последствия которых могут стать несравненно более значимыми.

Виды человеческой деятельности, способные нарушить структуру толщи морских вод, к настоящему времени еще не достигли уровня, способного привлечь внимание общества. Но как показывает анализ существующих тенденций, подобные события могут произойти уже в ближайшем будущем. При этом в кратчайшие сроки последствия данного направления техногенеза окружающей среды могут принять не только глобальный, но и практически необратимый характер. Это один из случаев, подтверждающий широко известное суждение о том, что главная задача науки состоит не в объяснении уже произошедших событий и разработке мер по сдерживанию связанных с ними негативных явлений. Более важен их опережающий прогноз и выдвижение идей, реализация которых способна предотвратить возникновение нежелательных ситуаций.

Именно по этой причине мы сочли необходимым включить анализ возможных последствий освоения глубинных слоев океана в число наиболее значимых направлений техногенеза гидросферы. Своевременная разработка методов управления процессами техногенной дестратификации Мирового океана, использование которых смогло бы предотвратить катастрофические последствия, сопутствующие данной деятельности, является в настоящее время весьма актуальной задачей.

Условно все виды деятельности, приводящие к нарушению вертикальной структуры водных масс, можно разделить на две группы. К первой из них относятся те варианты, когда целью этой деятельности является непосредственно подъем к поверхности глубинных вод. Сюда относятся различные системы так называемого *«искусственного апвеллинга»*³⁶, использующие богатые биогенами глубинные воды для

³⁶ Это название возникло по аналогии с природным явлением вертикального подъема глубинных вод, наблюдающегося в некоторых районах Мирового океана. Зоны искусственных апвеллингов, обогащенные биогенами из глубинных слоев, отличаются высоким уровнем биологической продуктивности и являются районами интенсивного

повышения продуктивности хозяйств морской аквакультуры (Paul et al., 1979; Gonzales-Rodriguez, Maestrini, 1984; Пшеничный, 1986; Toyota, Nakashima, 1987; Пшеничный, Шевченко, 1989). Как правило, объем глубинных вод, использующийся на объектах марикультуры, относительно невелик и способен вызвать сугубо локальные изменения в водной среде. Однако некоторые проекты в этой области предусматривали использование искусственного апвеллинга и в более широких масштабах (Leone, 1980; Wilcox, 1982; Suzuki, 1994). В значительно больших масштабах целенаправленный подъем глубинных вод осуществляется и на так называемых океанских термальных электростанциях (ОТЭС или ОТЕС), которые получают электроэнергию за счет разности температур поверхностного слоя и более глубоких горизонтов (Isaaks, Schmitt, 1980; Коробков, 1985; Thomas, 1988; Lui Clark, 1995). Имеющие постоянно низкую температуру глубинные воды представляют значительный интерес для использования в системах охлаждения различных промышленных и энергетических объектов (Суздалева и др., 1998/1999; Безносов, 2003). Кроме того, как правило, эти воды содержат значительно меньшее количество личинок организмов-обрастателей, что крайне выгодно при техническом использовании этих вод. В связи с этим, вероятно, объемы глубинных вод, использующиеся в промышленности, в ближайшее время будут неуклонно возрастать.

В другой группе видов человеческой деятельности подъем холодных глубинных вод является побочным явлением. Практически любое крупномасштабное гидротехническое строительство вызывает значительные изменения в гидрологической структуре моря. Разрушение вертикальной структуры моря также происходит во время прокладки кабелей, подводных тоннелей и особенно подводных взрывных работ. Следует иметь в виду, что

промысла морских биоресурсов. В отличие от техногенных подъемов глубинных вод, естественные апвеллинги являются одним из элементов исторически сложившейся системы океанической циркуляции.

в некоторых случаях для подъема весьма большого объема глубинных вод в поверхностном горизонте достаточно произвести небольшое локальное нарушение в структуре вод в зоне термопикноклина³⁷ (Stommel et al., 1956), например, при единичном взрыве. Через образовавшуюся в термопикноклине «дыру» к поверхности устремляется громадный «фонтан» глубинных вод. Причем этот «фонтан» может существовать достаточно долгое время. Само по себе наличие в толще воды каких-либо конструкций (например, опор нефтяных платформ) при взаимодействии с морскими течениями может вызвать образование восходящих потоков глубинных вод. Характер динамики вод может измениться и в результате строительства искусственных рифов (Гершанович, 1987). Аналогичные явления могут наблюдаться и при других формах изменения рельефа морского дна. Другим видом деятельности, вызывающим подъем большого количества глубинных вод в качестве побочного технологического продукта, является добыча различных видов морских полезных ископаемых (Ахмедов, 1985; Пилипчук, 2003). В связи с тем, что эта отрасль промышленности в настоящее время только начинает развиваться, невозможно даже приблизительно оценить ее роль в нарушении вертикальной структуры морских вод, однако имеющиеся тенденции свидетельствуют, что в ближайшие годы объем поднимаемых к поверхности глубинных сопутствующих вод, вероятно, будет весьма значительным. Нарушения стратификации моря могут быть вызваны также строительством и функционированием приливных электростанций (ПЭС) (Марфенин и др., 1995).

Нарушение гидрологической структуры морей может происходить и в результате сокращения стока рек, вызванного строительством водохранилищ или развитием орошаемого земледелия. Например, ожидается, что в первой половине XXI века уменьшение стока рек может привести к росту солености поверхностных вод Черного моря и к исчезновению в зимний период

³⁷ Слой на границе двух водных масс, в котором наблюдается резкое изменение температуры (термоклин) и/или плотности вод (пикноклин).

основного пикноклина (Виноградов, 1987). В результате возникнет угроза крупномасштабного подъема к поверхности глубинных вод. Крупномасштабные нарушения вертикальной структуры водных масс могут быть спровоцированы процессами, связанными с «парниковым» эффектом. (Manabe et al., 1994), который также большинством специалистов рассматривается как техногенный фактор. Так, потепление климата может вызвать интенсификацию прибрежных авеллингов в результате усиления сгонных ветров (Fraga, 1995).

Таким образом, самые различные виды человеческой деятельности прямо или косвенно приводят к нарушению вертикальной структуры водных масс. В связи с этим уже в настоящее время эти явления в целом можно квалифицировать как достаточно распространенную форму техногенеза, способную стать причиной ухудшения состояния окружающей среды и нарушения условий жизнедеятельности населения на значительных участках, вплоть до возникновения негативных последствий глобального масштаба (Безносков, 1998а). При этом стартовым событием таких процессов может стать относительно небольшое по своим масштабам нарушение стратификации, затрагивающее участок моря площадью в несколько десятков км² (Безносков, Железный, 2000). Поэтому мы рассматриваем техногенные нарушения стратификации Мирового океана как один из факторов преобразования биосферы в биотехносферу, значимость которого в полной мере может проявиться уже в ближайшем будущем.

Подъем глубинных вод к поверхности может сопровождаться следующими явлениями, способными вызвать негативные последствия:

❖ Понижением температуры поверхностного слоя моря, которое может вызвать массовую гибель теплолюбивых видов рыб и планктонных организмов (Безносков, Суздалева, 2001а). В значительных масштабах этот фактор способен вызвать аномальное изменение гидрометеорологических условий, затрагивающих регионы, удаленные от участка подъема вод на весьма значительное расстояние. С экологической точки зрения

искусственное понижение температуры воды может рассматриваться как разновидность физического загрязнения среды (Безносков, Суздалева, 2001б).

❖ Изменением химического состава поверхностных вод из-за резкого повышения концентрации биогенных элементов, что может спровоцировать процессы эвтрофирования. В ряде случаев глубинные воды могут содержать и высокотоксичные вещества (например, сероводород).

❖ Изменение физико-химических условий на участках техногенного подъема глубинных вод может спровоцировать нежелательные вспышки развития некоторых видов организмов, например, планктонных водорослей, вызывающих возникновение «красных приливов», сопровождающихся массовой гибелью морской биоты и представляющих собой угрозу для здоровья людей. При достижении крупных масштабов цветение вод Мирового океана начнет оказывать влияние на биогеохимический цикл углерода. Если этот процесс не будет управляемым, маловероятно, что он приведет к компенсации парникового эффекта. Скорее, эти явления лишь усилят масштабы и размах катастрофических климатических флуктуаций.

При оценке этих эффектов возникают трудности, связанные с их нормированием. Необходимо решить вопрос: в какой степени наблюдающиеся явления соответствуют действующим природоохранным нормативам и насколько они допустимы? Разрешить данную проблему можно рассматривая поступление в поверхностный слой водоема глубинных вод как разновидность его загрязнения – *дестратификационное загрязнение* (Безносков и др., 1998/1999). Главной его особенностью является то, что это загрязнение среды происходит только за счет пространственного перераспределения компонентов, присутствующих в этом же водном объекте. В качестве факторов, обуславливающих дестратификационное загрязнение, могут выступать физические, химические и биологические агенты, и эффекты, ими вызванные, по своей сути не отличаются от эффектов, которыми сопровождаются аналогичные виды химического, физического и биологического загрязнения. Поэтому для оценки отдельных

воздействий, обусловленных нарушением стратификации вод, могут применяться уже разработанные и широко используемые нормативы (ПДК, ПДС и др.).

Отдельные эффекты, связанные с функционированием глубинных водозаборов, можно рассматривать как:

✓ *химическое дестратификационное загрязнение* – эффекты, вызванные изменением химического состава среды в результате ее дестратификации. Увеличение концентрации биогенов в поверхностных слоях водоемов вследствие подъема глубинных вод можно рассматривать как один из видов эвтрофирования – *дестратификационное эвтрофирование*;

✓ *физическое дестратификационное загрязнение* – изменение физических параметров среды, вызванное нарушением ее естественной стратификации. По-видимому, в этой группе наиболее важным является изменение температуры, которое можно рассматривать как *дестратификационное термальное загрязнение*;

✓ *биологическое дестратификационное загрязнение* – аномальное массовое развитие отдельных видов организмов на участках нарушения стратификации.

Однако оценка эффектов, сопутствующих техногенной дестратификации вод, позволяет лишь создать базу для разработки природоохранных мер ограничительного характера. При интенсивном освоении глубинных ресурсов Мирового океана реальные возможности подобных действий будут быстро исчерпаны. Для выработки подходов, способных практически решить данные проблемы, необходим их анализ с позиций креативной парадигмы. С этой точки зрения любой искусственно спровоцированный подъем глубинных вод следует рассматривать как формирование природно-технической системы. Это происходит как при целенаправленном использовании различных устройств искусственного апвеллинга, так и при техногенной дестратификации, сопутствующей каким-то подводным работам. В обоих случаях морская экосистема начинает

функционировать, испытывая воздействие не только природных, но и техногенных факторов.

Подобные природно-технические системы, как и любые другие, могут быть неуправляемыми и управляемыми. Стихийно складывающиеся в районах подъема глубинных вод, неуправляемые ПТС практически неизбежно будут вызывать различные формы деградации окружающей среды, описанные выше.

Иной сценарий развития ситуации может быть реализован при создании на участках подъема глубинных вод управляемых природно-технических систем, использующих холодные воды для получения электроэнергии³⁸ и включающих комплексы аквакультуры, поглощающие из них избыток биогенов и токсичные вещества. В настоящее время в данной области уже реализован ряд проектов. Например, в США подобные энерго-биопродукционные комплексы уже в течение многих лет функционируют при экспериментальных ОТЭС (Taguchi et al., 1987; Thomas, 1988; Liu Clark, 1995).

Крупномасштабное управление биопродукционными процессами на основе контролируемого подъема глубинных вод может быть использовано как одно из средств борьбы с развитием парникового эффекта, а в перспективе – в качестве инструмента управления глобальными климатическими процессами (см. ГЛАВА 3, раздел 2).

³⁸ Производство энергии в данном случае осуществляется на основе использования разности температур глубинных и поверхностных слоев моря. Но после выхода глубинных вод из теплообменного оборудования их температура повышается до уровня, неспособного повлиять на термический режим в данном районе моря.

Глава V. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕДОСФЕРЫ

5.1. Общая характеристика современного состояния почвенного покрова, его экологические функции и степень деградации

Педосфера – это оболочка суши, образованная покрывающим поверхность суши почвенным покровом. Она возникла в результате длительного и сложного комплекса физико-химических и биологических факторов, протекавших на границе литосферы и атмосферы. Основным исходным материалом для образования почв послужили переработанные в процессе жизнедеятельности организмов остатки отмершей наземной растительности и подвергшиеся разрушению верхние слои горных пород, составляющие подстилающую ее литосферу.

Значительная часть почвенной массы состоит из живых организмов. Например, большая часть массы некоторых черноземов – это невидимые невооруженным глазом бактерии и другие организмы. Только в одном грамме плодородной почвы может содержаться несколько десятков миллиардов клеток микроорганизмов, а их общая сухая масса может достигать 60 – 65 тонн на гектар. Доля органического углерода в этой биомассе может составлять 50 – 70% всего углерода в почве (Полянская и др., 1995). По этой причине В.И. Вернадский, разделяя основные компоненты биосферы («природные физические тела») на живые (живущие организмы) и косные (горные породы и др.), рассматривал почву как особое образование – «биокосное тело природы» (Вернадский, 2012).

Вследствие разнообразия подстилающих горных пород, ландшафтных, климатических и биотических условий состав почв, формирующих педосферу, чрезвычайно разнообразен. Однако все виды почв обладают одним общим свойством – плодородием. Они являются субстратом,

необходимым для развития подавляющей части наземной растительности, в т.ч. сельскохозяйственных культур. Поэтому состояние педосферы (плодородие почв и уровень их загрязненности) – это важнейший фактор, определяющий условия жизнедеятельности населения большинства стран.

Несмотря на то, что почвенный покров в масштабах планеты представляет собой тончайшую прерывистую пленку, его экологическое значение огромно (Ковда, Розанов, 1988; Добровольский, Никитин, 1990; 2006; Добровольский, 2002; Никитин и др., 2015). Педосфера играет не менее важную роль в функционировании планетарной экосистемы, чем значительно превосходящие ее по мощности другие оболочки Земли (геосферы) – атмосфера, гидросфера и литосфера, с которыми она находится в состоянии постоянного взаимодействия (Добровольский и др., 2010).

Так, состав континентальных водоемов и физико-химические характеристики приземного слоя воздуха в значительной мере зависят от процессов, протекающих в соприкасающихся с ними участках почвенного покрова. В одной из своих работ В.И. Вернадский (1960) отмечал: «Мы обычно не учитываем и не представляем себе то огромное значение, которое имеет в жизни и химических реакциях океана почвенный покров нашей суши. Почва и морская вода химически и генетически тесно связаны».

Не меньшее по своей значимости воздействие на верхние слои литосферы Земли оказывают протекающие в педосфере процессы (Добровольский и др., 2010). Их следует рассматривать не только как материнские породы почв – источники формирования почв, но и как результат процессов, протекающих в педосфере (Добровольский, 1969). Месторождения некоторых видов полезных ископаемых образовались под воздействием этих процессов.

Таким образом, экологическое значение почвенного покрова весьма многогранно и включает обширнейший комплекс физико-химических и биологических процессов (табл. 6).

Таблица 6

Глобальные функции почвенного покрова (по: Добровольский и др., 2010)

Взаимосвязанные с атмосферой	Взаимосвязанные с гидросферой	Взаимосвязанные с литосферой	Взаимосвязанные с биосферой	Взаимосвязанные с историей и современной цивилизацией
<i>Поглощение и отражение солнечной энергии</i>	Трансформация атмосферных и поверхностных вод в грунтовые и подземные воды	Биохимические и биофизические преобразования верхних слоев литосферы	Основная среда обитания организмов суши Земли	Влияние разнообразия почв на историю освоения земельных ресурсов мира
<i>Регулирование влагооборота атмосферы</i>	Регулирование и формирование состава и режима поверхностных вод и речного стока	Источник веществ для формирования педогенных минералов и полезных ископаемых	Аккумуляция энергии и биофильных элементов	Современное состояние почвенного покрова Земли (педосферы)
<i>Регулирование газового состава и режима атмосферы</i>	Фактор биологической продуктивности рек и водоемов	Передача аккумулятивной солнечной энергии в глубокие слои литосферы	Связующее звено биологического и геологического круговорота веществ	Сохранение почвенного покрова Земли (педосферы) как основы жизни человечества
<i>Источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу</i>	Биохимический барьер на пути миграции веществ с суши в гидросферу	Защита верхних слоев литосферы от эрозии и денудации	Фактор биологического разнообразия и эволюции организмов Фактор устойчивости функционирования биосферы	

Так, альbedo – показатель, характеризующий способность поверхности Земли отражать падающее на нее излучение, во многом определяет климат значительных территорий. Он зависит не столько от характера почвенного покрова, сколько от состояния развивающейся на нем растительности, которое, в свою очередь, определяется качеством почвы.

Состояние почвенного покрова, плодородие почв – один из наиболее значимых факторов существования нашей цивилизации. В то же время именно человеческая деятельность (техногенез) уже давно стала основным фактором деградации почв.

Процессы, протекающие в педосфере, менее изменчивы во времени, чем в атмосфере и гидросфере Земли. Вместе с тем ее статичность весьма относительна. Постоянно какая-то часть почвенного покрова разрушается в результате естественной водной и ветровой эрозии (дефляции). Одновременно происходят процессы почвообразования, ведущие к пополнению почвенной массы, важнейшее значение в которых играет разложение и накопление растительных остатков. Баланс процессов разрушения почв и процессов почвообразования определяет сохранность почвенного покрова. При этом естественные процессы почвообразования происходят достаточно медленно, тогда как спровоцированная человеческой деятельностью деградация почв может идти весьма высокими темпами.

Смыв в процессе естественной эрозии 20 см почвы под пологом леса происходит за 174 тыс. лет, на лугу – за 29 тыс. лет (Чернова, Былова, 2007). В современном мире при сельскохозяйственном использовании почв этот же процесс происходит менее чем за 100 лет, а в некоторых случаях, например при бессменной монокультуре кукурузы, – всего за 15 лет.

Человек активно воздействовал на почвенный покров начиная с самых первых этапов развития цивилизации. Это приводило не только к трансформации структуры и состава почв на относительно небольших участках, занимаемых под поселения и посадки сельскохозяйственных культур. В ряде случаев эти процессы охватывали обширные регионы. Так,

многие специалисты связывают возникновение пустыни Сахара и опустынивание ряда других территорий планеты с распашкой земель. Менее известна гипотеза о том, что «загадочная сельва» бассейна р. Амазонки, в некоторые участки которой «еще не вступала нога человека», также образовалась в результате этой деятельности (по сути – техногенеза). По мнению некоторых ученых, первопричиной являлась интенсивная эрозия почв, спровоцированная примитивными формами земледелия в верховьях р. Амазонки (Л.Гумилев, 2007). Это, в свою очередь, вызвало отложение мощных наносов в нижних частях ее бассейна, подпруживание ее стока и заболачивание огромной территории, что и привело к формированию современной амазонской сельвы.

Развитие человеческой цивилизации сопровождалось сельскохозяйственным освоением все новых и новых территорий и углублением техногенеза уже задействованных участков почвенного покрова, в т.ч. в процессе урбанизации. Для примера можно сравнить степень и масштабы трансформации почвенного покрова в современной Москве и Москве XVII века, когда даже в центральных частях города значительная часть почв, ныне почти полностью запечатанная асфальтобетонными покрытиями, еще сохраняла свои естественные черты и свойства и использовалась под сады и огороды.

Таким образом, *техногенез почвенного покрова* по своим масштабам и экологической значимости *является одним из основных факторов трансформации естественной биосферы в биотехносферу.*

Мировое сообщество уже давно обратило внимание на глобализацию процессов деградации почвенного покрова (Добровольский, 2002). В 1972 году на Первой Всемирной конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде было заявлено о необходимости охраны почв как о требующей незамедлительного решения мировой проблеме. В 1982 году Международная организация по продовольствию (ФАО) приняла Всемирную

хартию почв, в которой призвала правительства всех стран рассматривать почвенный покров как всемирное достояние человечества.

В результате выполнения Международного научного проекта «Глобальная оценка деградации почв», осуществленного ЮНЕП³⁹ в 1990 году, было установлено, что процессами деградации уже охвачено около 2 млрд гектаров. Из них 55,6 % подвержено водной эрозии, деградация 27,9 % почв обусловлена ветровой эрозией, 12,2 % – воздействием химических факторов (засоление, загрязнение, истощение элементами питания), 4,2 % – физическим воздействием на почвенный покров (уплотнение и подтопление почв).

Характеризуя масштабы деградации почв, необходимо указать, что за период развития человеческой цивилизации уже было утрачено около 2 млрд гектаров некогда плодородных почв. На ранее плодородных территориях образовались так называемые бедленды (дурные земли), непригодные для ведения сельского хозяйства, и антропогенные пустыни (Добровольский, 2002). Для сравнения следует вспомнить, что современное мировое земледелие осуществляется на существенно меньшей (на 25%) по размерам площади, составляющей всего 1,5 млрд гектаров.

Процесс утраты плодородных почв продолжается и в настоящее время. Ежегодно из сельскохозяйственного использования выбывает около 8 млн гектаров за счет отчуждения на другие хозяйственные нужды и около 7 млн гектаров – в результате различных процессов деградации. Таким образом, каждый год человечество в конце XX века теряло около 15 млн гектаров продуктивных угодий (Романова и др., 1993). При этом установлено, что процесс деградации почв идет с возрастающей скоростью: во второй

³⁹ ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде (*англ.* UNEP, United Nations Environment Programme), утвержденная резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН № 2997 от 15 декабря 1972 г. (A/RES/2997(XXVII)). Основной целью ЮНЕП является организация и проведение мер, направленных на защиту и улучшение окружающей среды на благо нынешнего и будущих поколений.

половине прошлого века она увеличилась в 30 раз по сравнению со среднеисторической (Розанов и др., 1989).

Рассматривая проблемы техногенеза и деградации почвенного покрова, следует обратить внимание на принципиально иное отношение специалистов к способам их решения по сравнению с разработкой мер по предотвращению нежелательного изменения атмосферы и гидросферы. Земля издавна представляет объект, на который в значительно большей степени, чем на воду, и тем более на воздух, распространяются собственнические права. Вот почему в мерах по предотвращению деградации почвенного покрова доминирует не ограничительная, а креативная парадигма. В сознании людей не может сформироваться стереотип мышления о желательном ограничении негативного воздействия, приводящего к порче принадлежащей им собственности. Человек всегда предпринимал активные действия, направленные не на ограничение таких факторов, а старался по возможности активно бороться с ними, используя все доступные ему технические средства. С давних времен люди создавали различные инженерно-технические сооружения, препятствующие утрате принадлежащих им земель. Наиболее древними способами являются террасирование и защита земель от нежелательного затопления и размыва с помощью примитивных гидротехнических сооружений (насыпных дамб и др.).

На современном этапе сохранение, улучшение состояния и восстановление почвенного покрова – это важнейшие задачи, стоящие при создании большинства управляемых природно-технических систем.

Специалисты насчитывают более 30-ти типов деградации почвенного покрова (Орешкин, 2010). Столь большое количество форм, которые принимает данный процесс, обусловлено как многообразием видов деятельности, использующих ресурсы педосферы, так и широким спектром ландшафтно-климатических условий, в которых протекают эти процессы (Assessment..., 2010; Добровольский и др., 2010). Это вызывает неоднозначность понимания самого термина «деградация почв» различными

специалистами (Добровольский, 2002). В монографии данный феномен трактуется в соответствии с его простым и одновременно достаточно емким определением, принятым в действующей на территории РФ нормативной базе: *«Деградация почвы – ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов»*⁴⁰.

Ограниченный объем монографии не позволяет проанализировать причины и последствия всех форм техногенной деградации почвенного покрова, поэтому мы ограничимся наиболее значимыми из них, к которым следует отнести:

- эрозию почвенного покрова;
- истощение почвы;
- запечатывание почв.

5.2. Эрозия почв

как одна из форм техногенеза окружающей среды

Согласно общепринятому определению, *эрозия почвы* – это разрушение и снос верхних, наиболее плодородных горизонтов почвы в результате действия воды и ветра⁴¹. В соответствии с этим различают водную эрозию и ветровую эрозию (дефляцию). Эти процессы могут носить естественный характер. Но по мере развития человеческой цивилизации основной их причиной стала производственная деятельность человека, включая в это понятие и производство сельскохозяйственной продукции.

Количественно процесс эрозии почв характеризуется двумя основными показателями: *интенсивностью смыва (или сдувания)*, выражаемой в т/га в год, и *мощностью утраченного слоя почвы в единицу времени (мм/год)*

⁴⁰ ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения», таблица 1, пункт 77.

⁴¹ Там же, пункт 78.

(Щеглов, Горбунова, 2011). С помощью этих же характеристик оценивают и скорость процесса почвообразования.

Степень опасности эрозии устанавливается на основе сопоставления интенсивности смыва (или сдувания) почвы со скоростью почвообразовательного процесса. Если интенсивность эрозии меньше скорости почвообразования, то ее принято считать *нормальной*. Если интенсивность потерь почвы больше скорости почвообразования, ее считают *ускоренной*. Эрозию, происходящую под воздействием техногенных факторов и приводящую к значимому изменению окружающей среды, в соответствии с принятыми определениями процесса техногенеза, следует рассматривать как одну из его форм – *почвенный техногенез* (Суздалева, Горюнова, 2014а). Под *техногенной эрозией* мы подразумеваем все формы разрушения почвенного покрова, прямо или косвенно спровоцированные человеческой деятельностью. К последним можно отнести и процессы эрозии, причиной интенсификации которых являются глобальные климатические изменения, обусловленные развитием парникового эффекта.

В наибольшей степени эрозии подвержены почвы в самых развитых и в самых отсталых в промышленном отношении странах (State of the World..., 1994). В первом случае это вызвано высоким уровнем антропогенной нагрузки, во втором – низким уровнем противоэрозионных мер.

На современном этапе *водная эрозия* является основным по своей значимости фактором деградации почв. На ее долю приходится 83% от общей площади территорий с деградировавшим почвенным покровом (Добровольский, 2002). Она распространена на площади 1094 млн га, тогда как ветровая эрозия доминирует на площади в 549 млн гектаров. Области, подверженные этим видам эрозии почв, частично совпадают.

Водная эрозия традиционно подразделяется на два типа: *плоскостную* и *линейную эрозию*. Плоскостная эрозия представляет собой более или менее равномерный смыв со всей поверхности почвы. Линейная эрозия вызывает размыв почвы водными потоками, стекающими по образовавшимся в ней

углублениям. На практике различие между этими явлениями носит достаточно условный характер. Вода никогда не стекает равномерно. На отдельных участках благодаря особенностям рельефа, распределению растительности и другим причинам размыв почвы даже при сплошном потоке воды идет более интенсивно. В результате водный поток быстро разделяется на отдельные струи, вызывающие линейную эрозию. Поэтому для окультуренных почв считается, что если следы эрозии исчезают в результате обычной обработки почвы, то это поверхностная эрозия, если нет – линейная (Щеглов, Горбунова, 2011).

Сравнительно меньшая распространенность *ветровой эрозии* ни в какой мере не позволяет рассматривать ее как нечто второстепенное. Опасность этого явления, спровоцированного воздействием техногенных факторов, уже давно осознана не только специалистами, но и населением, проживающим в районах интенсивной дефляции почв. Так, в 1934 году в США вследствие ветровой эрозии, вызванной широкомасштабной бесконтрольной распашкой прерий, возникли пыльные бури, затмевавшие небо над Вашингтоном и Нью-Йорком (Добровольский, 2008). Были разрушены пахотные горизонты почв на площади около 40 млн гектаров. Произошедшее было объявлено национальным бедствием. Президент США Франклин Рузвельт очень образно высказался, охарактеризовав последствия этих событий: «Народ, который разрушает свою почву, уничтожает сам себя». Именно по этой причине в 1935 году в США была организована Государственная служба охраны почв, а в 1939 году – принят закон о сохранении почв. Аналогичные по своим масштабам явления, однако не удостоившиеся упоминания в речах руководителей страны, имели место и в Советском Союзе в 60 – 70-х годах прошлого века после распашки больших площадей целинных земель на юге Западной Сибири, в Северном Казахстане и Поволжье.

Рассмотрим еще один аспект последствий ветровой эрозии. Обусловленные ею пыльные бури представляют собой угрозу для здоровья населения. Например, резко увеличивается заболеваемость астмой (State of

the World..., 1994). Кроме того, распространение в воздухе почвенной пыли, в состав которой входят и споры бактерий, может служить причиной возникновения эпидемий (Добровольский, 2002). Еще большую опасность несет токсичная или радиоактивная пыль, источниками которой являются почвы загрязненных территорий, подверженные ветровой эрозии.

Даже в наиболее экономически развитых странах, несмотря на предпринимаемые меры, наблюдаются процессы техногенной эрозии почвенного покрова. Скорость эрозии почвы в них оценивается величиной 17 т/га/год, что значительно превышает скорость формирования почвы, составляющую 1 т/га/год (Pan-European..., 2004) Эрозия оказывает воздействие на 46 % европейских почв, при этом из-за ветровой эрозии утрачивается 20–40 т почвы/га, что в 20–40 раз превышает объемы естественного восстановления почвенного покрова.

При решении проблем сохранения почвенного покрова приоритетное значение имеют инженерно-технические меры, которые в данной области обычно обозначаются терминами «агротехнические» и «мелиоративные мероприятия»⁴². В полной мере это относится к борьбе с техногенной эрозией почв (табл. 7). Ограничительные меры (например, запрещение размещения пропашных культур на склонах) носят, как правило, частный характер. Их использование наиболее эффективно в тех случаях, когда ускоренная эрозия почвы еще началась, но угроза развития этого процесса уже существует.

⁴² Так, в статье 2 Федерального закона «О мелиорации земель» от 10.01.1996 г. № 4-ФЗ дается следующее определение: «**Мелиоративные мероприятия** – проектирование, строительство, эксплуатация и реконструкция мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, обводнение пастбищ, создание систем защитных лесных насаждений, проведение культуртехнических работ, работ по улучшению химических и физических свойств почв, научное и производственно-техническое обеспечение указанных работ». Идентичное определение данного термина содержится также в статье 1 Федерального закона «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16.07.1998 г. №101-ФЗ.

Наиболее эффективными способами борьбы с эрозией почв в настоящее время считаются: почвозащитные севообороты, агротехнические и лесомелиоративные мероприятия, строительство специальных гидротехнических сооружений и создание на склонах противоэрозионных террас.

Почвозащитные севообороты. Они заключаются в учете, при планировании закономерной смены сельскохозяйственных культур на возделываемых площадях (составлении севооборотов), факторов, усиливающих или снижающих интенсивность эрозии почв. Так, в почвозащитных севооборотах на землях, в наибольшей степени подверженных эрозии (например, склонах), исключают пропашные культуры, при возделывании которых создается микрорельеф поверхности (борозды), способствующий развитию водной эрозии. Одновременно увеличивают посевы многолетних трав, промежуточных подсеваемых культур, которые хорошо защищают почву от разрушения. На склонах крутизной до 3–5° со слабо- и среднесмытыми почвами, где появляется опасность проявления эрозии, предпочтение в севооборотах отдают травам и однолетним культурам сплошного сева. На более крутых склонах (крутизна 5–10°), характеризующихся в основном средне- и сильносмытыми почвами, в севооборотах увеличивают посевы многолетних трав и промежуточных культур, хорошо защищающих почву от эрозии.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия. Наиболее распространенными из них являются приемы контурной обработки земель, при которых вспашка, культивация и рядовой посев сельскохозяйственных культур осуществляются поперек склона. Это создает микрорельеф, продольные углубления которого идут в направлении, перпендикулярном движению стекающих по склонам вод, задерживая их. На склоновых землях используют замену отвальной вспашки обработкой почвы без оборота пласта с сохранением на поверхности обрабатываемого поля мульчирующего слоя

из стерни, растительных и пожнивных остатков. В результате не происходит образования глубоких борозд.

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия. Основными из них являются: создание водорегулирующих лесополос в малолесных районах, создание водоохраных лесных насаждений вокруг прудов и водоемов, сплошные противоэрозионные лесопосадки на сильноэродированных крутосклонных землях.

Водорегулирующие лесополосы предназначены для задержки поверхностного стока и перевода его во внутрпочвенный, для распыления концентрированных струй водного потока и уменьшения их скорости, осаждения мелкозема. **Водоохраные лесные насаждения** вокруг прудов и водоемов создаются для защиты берегов от разрушения, а водоемов – от заиления продуктами эрозии. **Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия** осуществляются с целью приостановления закрепления растительностью склонов оврагов. С помощью **специальных гидротехнических сооружений** производится задержание, отвод и безопасный сброс той части атмосферных осадков, которую не удастся задержать на прилегающих к оврагам полях агротехническими и лесомелиоративными приемами.

Создание **противоэрозионных террас** осуществляется различными способами. Напашные террасы делаются обычными плугами, нарезные (выемочно-насыпные) – бульдозерами и тракторами.

Перечисленные агротехнические и мелиоративные мероприятия в настоящее время нередко носят частный характер или даже точечный характер. То есть конкретное мероприятие разрабатывается как ответ на конкретную угрозу утраты почвенного покрова на определенном участке. Создание управляемых природно-технических систем предполагает придание этой деятельности системного характера и возможности оперативного управления ею.

Таблица 7

Значимые формы глобального техногенеза почвенного покрова, обуславливающие переход естественной биосферы в состояние биотехносферы, возможные способы контролирования и управления данными процессами

Глобальные техногенные процессы	Основные направления решения проблемы в рамках ограничительной парадигмы		Основные направления решения проблемы в рамках креативной парадигмы	
	Действия	Результат	Действия	Результат
<i>Эрозия почв</i>	Ограничение видов деятельности, способных вызвать ускоренную эрозию	Недопущение развития эрозии на отдельных участках	Агротехнические и мелиоративные мероприятия как функция управляемых ПТС	Контролирование интенсивности процессов водной и ветровой эрозии
<i>Истощение почв</i>	Запрещение истощительного земледелия. Контроль за использованием почв	Локальное замедление негативных процессов, приводящих к истощению почв	Сохранение и восстановление плодородия почв в зонах влияния управляемых ПТС	Устойчивое сохранение почв на основе моделей управления почвенного плодородия
<i>Урбанизация участков почвенного покрова</i>	Проведение градостроительной деятельности, предусматривающей последующую рекультивацию почв	Благоустройство городской территории, в ряде случаев не приводящее к созданию благоприятных экологических условий	Управление состоянием почвенного покрова как элементом урбосистемы. Развитие сети городских резортов и создание конструкторземов	Максимально возможная реализация экологических функций почвенного покрова на урбанизированных территориях

Последнее особенно важно в условиях развития чрезвычайных ситуаций, многие виды которых прямо или косвенно провоцируют ускоренную эрозию почвенного покрова. Возникает необходимость мер более общего характера, замедляющего эрозионные процессы не в отдельных точках, а на обширных территориях. Примером может являться создание ирригационных систем, работа которых в совокупности с другими видами мер формирует растительность, препятствующую развитию эрозионных процессов на уровне ландшафта. В этом случае ирригационная система выполняет роль экологического регулятора управляемой природно-технической системы.

5.3. Истощение почв

Под термином «*истощение почвы*» понимается обеднение элементами питания и уменьшение биологической активности почвы в результате ее нерационального использования (ГОСТ 27593-88, таблица 1, пункт 79)⁴³. В определенном смысле данный процесс можно рассматривать как разновидность химической деградации почвы (Добровольский, 2002). Ее опасность заключается не только в истощении запасов компонентов (гумуса, соединений азота и др.), необходимых для развития растений. Биологическая активность почв может резко снизиться и в результате привнесения в них различных загрязнителей.

В более узком, практическом смысле истощение почв обычно рассматривается как закономерное снижение их плодородия, под которым понимается способность земель приносить урожай. Эти понятия взаимосвязаны, но не равнозначны. Истощение – это видимый результат утраты почвой своих полезных свойств с точки зрения ее использования в растениеводстве. Плодородие – это интегральная оценка не только реальной,

⁴³ ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения», таблица 1, пункт 79.

но потенциальной возможности почвы обеспечивать определенный уровень продуктивности растений. Вместе с тем именно изменение степени плодородия почв может дать адекватное представление как об истощении почв, так и об эффективности мер по борьбе с данным явлением.

Чтобы оценить комплекс причин, вызывающих истощение почв, необходимо уточнить содержание термина «*плодородие*». Его общеупотребительное значение, в смысле потенциальной урожайности земли, не отражает всей сложности обуславливающих его процессов.

Жизнедеятельность растений происходит в тесном взаимодействии с различными населяющими почву организмами: бактериями, микроскопическими грибами, почвенными животными и др. От состояния почвенной биоты, формирующей с растениями единую экосистему, во многом зависит плодородие почвы (Муравин, 2003) или в более широком смысле ее биологическая активность, о которой упоминается в приведенном выше определении термина «истощение почв». Поэтому специалисты понимают плодородие почв не как содержание в ней веществ, необходимых для развития растений, а как обширный комплекс необходимых для этого биотических и абиотических (физико-химических) условий, как способность почвы обеспечивать рост и воспроизводство (Ковда и др., 1988). Различают несколько видов плодородия:

Естественное (природное) плодородие – то плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека.

Искусственное плодородие – плодородие, которым обладает почва в результате воздействия на нее целенаправленной человеческой деятельности (распашка, периодическая механическая обработка, мелиорации, применение удобрений и т.д.).

Потенциальное плодородие – суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком.

Эффективное (актуальное) плодородие – та часть потенциального плодородия, которая реализуется в виде урожая растений при данных климатических (погодных) и технико-экономических (агротехнологических) условиях.

Относительное плодородие – плодородие почвы в отношении к какой-то определенной группе или виду растений (плодородная для одних растений почва может быть бесплодной для других).

Экономическое плодородие – экономическая оценка почвы в связи с ее потенциальным плодородием и экономическими характеристиками земельного участка.

В отличие от других компонентов окружающей среды почвенный покров принципиально нельзя оградить от широкомасштабной техногенной трансформации. Для того чтобы существовать, человечество вынуждено интенсивно использовать почвы. При этом, чем больше урожай, тем большее количество компонентов почвы изымается из нее. Еще в древности человек осознал необходимость организации обратного процесса – активных действий по сохранению плодородия, точнее, создания искусственного плодородия. Простое внесение удобрений не всегда способно решить данную проблему. Для успеха этих мер необходимо, чтобы эти действия не обуславливали негативных изменений в почвенной среде в результате протекающих в ней естественных процессов. Например, не вызывали бы ее закисления. Поэтому в научной литературе под **воспроизводством плодородия** понимается совокупность природных почвенных процессов, а также целенаправленных мелиоративных и агротехнических воздействий для поддержания эффективного почвенного плодородия на уровне, приближающемся к потенциальному плодородию (Ковда и др., 1988).

В подавляющем большинстве случаев проблемы истощения почв и сохранения их плодородия рассматриваются с точки зрения возделывания на них сельскохозяйственных культур. По мере глобализации техногенеза подобный взгляд становится все более узким, не учитывающим некоторых

весьма важных аспектов. Плодородие почв – это основа биологической продуктивности большинства наземных экосистем. Их истощение может быть не связано с сельскохозяйственной деятельностью⁴⁴, но вызывает деградацию обширных участков окружающей среды. Прогнозируя последствия подобных явлений, следует учитывать, что существуют огромные различия в требованиях к почве растений, формирующих природные фитоценозы, и к почве целенаправленно создаваемых агроценозов.

Площадь пахотно-пригодных почв составляет 3 млрд 278 млн гектаров, то есть 22 % всей площади суши (Добровольский и др., 2010). Еще менее значительна доля высоко- и среднепродуктивных почв (полностью распаханых и освоенных к концу XX века) – всего 9 %. Остающиеся земельные ресурсы, потенциально пригодные для выращивания сельскохозяйственных культур, требуют для освоения больших затрат.

Истощение почв вызывается самыми различными видами человеческой деятельности: от неправильного (истощительного) ведения сельского хозяйства до промышленного загрязнения почвенного покрова. Истощение почв нередко обуславливается их эрозией, сопровождающейся вымыванием из них гумуса (Ларешин и др., 2008)

В глобальном масштабе истощение почв – это один из основных факторов, который уже в обозримом будущем может выступить в качестве главной причины, ограничивающей дальнейший рост народонаселения. Причем воздействие данного фактора будет приобретать все более катастрофичный характер. В ближайшей перспективе наиболее опасные его проявления – это усугубление продовольственного кризиса и голод, охватывающий обширные регионы.

На современном этапе более 90 % продуктов питания человечество получает в результате использования плодородия почв в земледелии и

⁴⁴ Например, снижение биологической активности почв может быть вызвано изменением уровня грунтовых вод под воздействием различных техногенных факторов.

базирующемся на нем животноводстве (Добровольский, 2008). Между тем, площадь плодородных почв постоянно сокращается, а население Земли растет. Если в течение первой половины XX века площадь под зерновыми на душу населения сократилась в мире с 0,23 до 0,12 гектаров, то к 2005 году она упала до 0,07 гектаров.

Предотвращение продовольственного кризиса идет двумя основными путями. Первый из них – интенсификация сельскохозяйственного производства, второй – расширение площади возделываемых земель. Оба эти направления – не что иное, как усиление и расширение зон одной из основных форм техногенеза – «сельскохозяйственного техногенеза» (Суздалева, Горюнова, 2014а). В глобальном масштабе – это один из главных факторов, обуславливающих трансформацию естественной биосферы в биотехносферу.

Но существует и иная проблема, заключающаяся в воздействии техногенного истощения почв на природные экосистемы. Она привлекает значительно меньшее внимание общественности, чем надвигающийся продовольственный кризис. Но ее экологические последствия со временем могут стать не менее значимыми, вызывая все более расширяющуюся деградацию наземных систем: биологическая активность почв, на которых они существуют, снижается вследствие различных негативных техногенных воздействий (прежде всего – их загрязнения).

Например, бурение нефтегазопромысловых скважин сопровождается образованием значительного количества отходов (буровых шламмов и др.), что приводит к устойчивому загрязнению почвы на обширных территориях (Кесельман, Махмудбеков, 1981; Московченко, 1998). Нередко это вызывает практически необратимую деградацию существующих в их пределах экосистем. Проникая в поверхностные водные объекты и подземные воды загрязнители, образовавшиеся при бурении скважин, могут создать и угрозу для здоровья людей, заселяющих данный регион в ходе освоения нефтегазовых месторождений (Савченко, 1998).

Как и при других формах техногенеза почв, ограничительные меры дают временный позитивный эффект локального уровня. Ослабление контроля за их соблюдением в течение непродолжительного периода, как правило, сводит на нет все достигнутые результаты. Повсеместная и постоянная защита почв от истощения может быть обеспечена только при создании иерархии управляемых природно-технических систем. При этом разнообразие и мозаичность почвенного покрова обуславливают необходимость дифференцированного подхода к решению этой задачи. Первым шагом должна стать разработка так называемых «моделей управления почвенного плодородия» (Ларешин и др., 2008). Уже созданы концептуальные подходы для создания иерархической системы таких моделей – от локального до глобального уровня. Их использование позволяет определить параметры деятельности, необходимые для создания и сохранения благополучного состояния почв. Дальнейшее развитие этого направления должно заключаться в создании механизмов, позволяющих сделать процесс управления состоянием почв одной из функций ПТС. В оптимальном варианте иерархия «моделей управления почвенного плодородия» должна разрабатываться сопряженно с формированием иерархии управляемых природно-технических систем. Особенно эффективно использование подобной природоохранной методологии может быть при крупномасштабном хозяйственном освоении новых регионов (Суздалева, Гальцова, 2015). Для этого централизованное планирование деятельности на первых этапах освоения территории должно осуществляться с учетом долговременных перспектив развития экологической ситуации (Суздалева, 2014). Еще более важно обеспечить преемственность работы органов управления состоянием окружающей среды на разных этапах освоения территории⁴⁵. По сути, это одно из условий реализации на практике провозглашенного ООН «принципа устойчивого развития».

⁴⁵ В случае освоения нефтегазовых месторождений это непрерывность деятельности по защите почвенного покрова от истощений и иных форм деградации от момента бурения

5.4. Урбанизация почвенного покрова

Под термином *«урбанизация почвенного покрова»* мы понимаем всю совокупность разнородных процессов, в результате которых происходит трансформация его состава и структуры при осуществлении городской и промышленной застройки.

По своему происхождению почвы, формирующиеся на урбанизированных территориях, делят на две категории: в той или иной степени *трансформированные природные почвы* и *искусственные насыпные почвы* (Машинский, 1973). Эта классификация не отражает все многообразие процессов, которое можно обозначить обобщающим понятием *«почвенный техногенез»* (Суздалева, Горюнова, 2014а). Так, в состав трансформированных почв можно включить участки с уничтоженным верхним слоем почвенного покрова и почвы, сохранившие свою структуру, но химические и биотические условия в которых претерпели принципиальные изменения (например, в результате их «запечатывания» асфальтобетонными покрытиями). Это вынуждает специалистов, изучающих почвенный покров урбанизированных территорий, вырабатывать новые подходы к их классификации, методам исследования, а также позиции в понимании самого термина «урбанизированная почва»⁴⁶. Например, на практике нередко возникает проблема: что еще можно считать

первых разведочных скважин до создания инфраструктуры частично урбанизируемой территории. В настоящее время в число основных направлений систем экологического менеджмента (СЭМ) организаций, занимающихся обустройством региона нефтегазодобычи, нередко входит поиск и ликвидация захоронений отходов, сформировавшихся на предшествующих этапах освоения месторождений, а также попытки локально рекультивировать загрязненный почвенный покров на данных участках.

⁴⁶ В большинстве источников (Craul 1992; Строганова и др., 1997 а,б; Ковалева и др., 2012) используется термин «городские почвы» (urban soils). Однако он не в полной мере отражает данный аспект техногенеза. Например, эти понятия нельзя использовать для обозначения значительных участков почвенного покрова, находящихся под транспортными коммуникациями и нередко удаленных от городских поселений на значительное расстояние, или почв промзон, аэропортов и иных объектов техносферы, вынесенных за их пределы.

трансформированной или насыпной почвой, а что уже является новым. чисто техногенным образованием⁴⁷? К настоящему времени разработано несколько классификаций почвенного покрова урбанизированных участков. Например, предлагается разделить урбанизированные почвы на следующие виды (Bridges, 1989): «*скальпик*» – почвы со снятым поверхностным слоем; «*гарбик*» – почвы, спонтанно сформировавшиеся на кучах органического мусора с метаном в порах; «*урбик*» – почвы с большим количеством неорганических промышленных включений; «*скопик*» – почвы, образующиеся на отвалах горных пород; «*кумулик*» – почвы, трансформированные под влиянием длительного искусственного орошения; «*фумик*» – почвы с насыпным поверхностным горизонтом из плодородного органического материала. По другой классификации (Кучерявый, 1991) на урбанизированных территориях можно выделить следующие группы почв: *лесные природные* (участки городских лесов); *парковые природные*; *природно-искусственные* почвы парков, садов, бульваров и внутриквартальных посадок; *искусственные* почвы уличных посадок и площадей.

Таким образом, понятие «урбанизированные почвы» в настоящее время еще окончательно не сформировалось и включает в себя весьма широкий спектр разнородных образований, некоторые виды которых имеют очень мало общего с природными почвами и рассматриваются не как почвы, а как «*почвоподобные тела*». При этом граница между различными категориями образований, покрывающими урбанизированные территории, нередко носит весьма условный характер. Например, к какой категории следует отнести природную почву, структура слоев которой в ходе человеческой деятельности была полностью разрушена (перекопана), но большая масса, составлявшие эти слои, в основном сохранилась?

⁴⁷ Для их обозначения иногда используется термин «почвоподобные тела» (Строганова, Агаркова, 1992).

В понимании многих современных специалистов городская (урбанизированная) почва – это любая почва или почвоподобное тело, функционирующее в окружающей среде города (Строганова, Агаркова, 1992).

Экологические функции, которые выполняет почвенный покров на урбанизированных территориях, весьма многогранны и во многом отличаются от роли природных почв в естественных экосистемах (Фролов, 1998; Ковалева и др., 2012). Основными из них *считаются*:

- ✓ способность почв обеспечивать условия для существования городской растительности;
- ✓ осуществлять физико-химическое и биологическое поглощение загрязняющих веществ и предотвращать их распространение в воздушной и водной средах;
- ✓ являться важным фактором формирования местообитания различных форм биоты урбанизированных территорий и, таким образом, обеспечивать определенный уровень их биоразнообразия.

Однако этот перечень не следует рассматривать как исчерпывающий. Почвенный покров урбанизированных территорий в зависимости от местных условий сможет играть и существенную роль в других процессах, указанных в таблице 6. Например, от его состояния во многом зависит альbedo того или иного участка, а следовательно, и условия формирующегося на нем микроклимата.

Учитывая изложенное, в настоящей монографии понятие *«урбанизированная почва»* включает все виды грунтов как природного, так и техногенного происхождения, выполняющих на урбанизированных территориях разнообразные экологические функции и способных оказывать значимое влияние на формирование экологических условий.

Наиболее полно различные *виды урбанизированных почв* описаны в работе М.Н. Строгановой (1997б). Выделяются следующие основные группы:

❖ **Естественные ненарушенные почвы**, сохранившие нормальное залегание горизонтов естественных почв (приурочены к городским лесам и лесопарковым территориям, расположенным в черте города).

❖ **Естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные почвы**, подвергшиеся изменению почвенного профиля до глубины менее 50 см. На их поверхности формируется так называемый «урбик», т.е. насыпной, перемешанный горизонт с примесью антропогенных включений (строительно-бытового мусора, промышленных отходов).

❖ **Антропогенные глубокопреобразованные почвы** или **урбаноземы**, в которых горизонт «урбик» имеет мощность более 50 см. В качестве отдельных видов выделяются экраноземы, индустроземы и интруземы.

Экраноземы (или экранированные почвы) формируются под асфальто-бетонным покрытием или сооружениями. Их также обозначают термином «запечатанные почвы».

Индустроземы – это почвы, сильно загрязненные тяжелыми металлами и другими токсичными веществами, что предельно сокращает биоразнообразие почвенной биоты.

Интруземы – почвы, пропитанные органическими масляно-бензиновыми жидкостями.

Особую разновидность почв этой категории представляют собой **культуроземы** – городские почвы фруктовых и ботанических садов, старых огородов. Они характеризуются большой мощностью искусственно созданного плодородного слоя (как правило, более 50 см).

❖ **Почвоподобные техногенные поверхностные образования (урботехноземы)**. Они представляют собой созданные искусственно почво-грунты. Урботехноземы в свою очередь подразделяются на **реплантоземы** и **конструктоземы**. Первые возникают в результате искусственной отсыпки маломощного гумусового слоя (торфокомпостной смеси и т.п.) на поверхность с ранее практически полностью уничтоженным почвенным

покровом⁴⁸. Создание конструктороземов – это конструирование почв по полному профилю, т.е. с различными слоями, выполняющими функции, свойственные слоям естественных почв, но могущими иметь иной состав. Конструкторозем представляет собой не рекультивированную почву, а ее искусственный аналог.

Анализируя *возможные способы предотвращения деградации почвенного покрова* в процессе урбанизации, необходимо обратить внимание на обстоятельства:

1. Урбанизацию поверхности Земли на современном этапе развития человечества остановить невозможно. Следовательно, невозможно и остановить расширяющийся процесс урбанизации почвенного покрова. Можно только смягчить и отчасти компенсировать его негативные последствия.

2. Почвенный, точнее, почвенно-растительный покров урбанизированных территорий, – это не только важнейший фактор формирования экологических условий на участках компактного проживания и жизнедеятельности значительной (в скором времени – даже большей) части населения планеты, но и важнейший социально-психологический фактор (Суздалева, 2014; 2016). Жизнь на замусоренной, вытопанной и неухоженной земле способствует росту комплекса психологических фрустраций и деприваций⁴⁹, выливающихся в рост общественного недовольства. Этот же фактор способен стать причиной роста не только психических расстройств, но и других заболеваний (Филин, 1997).

⁴⁸ К реплантоземам мы также относим и образования, формирующиеся в результате отсыпки плодородного слоя на урбаноземы (интруземы и индустиземы), практически утратившие свои природные свойства. Подобный тип почвенного покрова более распространен на урбанизированных территориях, чем «классические» реплантоземы, образующиеся после уничтожения всего почвенного профиля.

⁴⁹ В силу специфики этих явлений для их обозначения целесообразно использовать специальные термины – «экологическая фрустрация» и «экологическая депривация» (Суздалева, 2015б).

Следовательно, *меры, направленные на предотвращение деградации почвенного покрова урбанизированных территорий* или его улучшение, *должны* одновременно *решать следующие задачи*:

- ✓ восстановление и оптимизацию рассмотренных ранее экологических функций почвенного покрова, способствующих улучшению условий окружающей среды;
- ✓ улучшение видеэкологического потенциала урбанизированных территорий и их социальной привлекательности⁵⁰.

На современном этапе эта деятельность, как правило, осуществляется в процессе благоустройства территорий, попавших в зоны городской и промышленной застройки. В методологическом плане здесь также доминирует ограничительная природоохранная парадигма. Предусматриваемые в соответствии с ней меры заключаются, главным образом, в рекультивации почвенного покрова. Основная цель этой деятельности – по возможности минимизировать (т.е. ограничить) неизбежное техногенное воздействие. Конечная цель этих мер – восстановить изначальное состояние почвенного покрова. Так, в официальном определении, данном в ГОСТ Р 54003-2010⁵¹ (п. 3.32), дается следующее определение: *«Рекультивация земель – работы по восстановлению плодородия земель, утраченного в результате вынужденного нарушения в процессах техногенной деятельности или в силу биоестественных причин»*. В примечании к нему подчеркивается, что *«главная цель рекультивации заключается в рациональном возобновлении хозяйственной ценности почв ... формирующихся на протяжении сотен лет»*.

При урбанизации территории рекультивация заключается, главным образом, в попытках восстановления верхнего плодородного слоя почвы,

⁵⁰ Видеэкологический потенциал – зрительно-психологическое воздействие, которое состояние территории оказывает на человека; социальная привлекательность района – степень его позитивного имиджа как селитебной территории (Суздалева, 2016б).

⁵¹ ГОСТ Р 54003-2010 Экологический менеджмент. Оценка прошлого, накопленного в местах дислокации организаций, экологического ущерба. Общие положения.

утраченного в ходе градостроительной деятельности (табл. 7). Обычно итогом является создание реплантоземов и их последующее озеленение. В следующий период предпринимаются ограничительные меры, направленные на предотвращение действий, способных интенсифицировать эрозию почвенного покрова, его замусоривание или отравление различными загрязнителями. Следует отметить, что с внешней административно-нормативной точки зрения эти работы носят системный характер. Практически всегда существуют программы и планы рекультивации земель, реализуемые согласно действующим нормативам. Но одновременно при этом нередко отсутствует видение самого объекта предпринимаемых усилий как сложной системы. Почвенный покров воспринимается просто как субстрат, на который необходимо отсыпать слой плодородной земли или торфокомпостной смеси. Если почвенный профиль в процессе хозяйственного освоения территории не подвергся значимым физико-химическим изменениям, то подобные меры дают позитивный результат. Но это происходит далеко не всегда. Интенсивная урбанизация часто происходит в результате расширения границ уже ранее существовавших городских застроек и промышленных зон. Как правило, эти территории окружены свалками, сформировавшимися в течение продолжительного времени. Их рекультивация обычными способами не улучшает экологического состояния окружающей среды и может создавать предпосылки возникновения угрозы для здоровья населения. В захораниваемых свалках содержится большое количество загрязнителей. Продукты их разложения могут накапливаться в подвальных помещениях и оттуда проникать внутрь возводимых на этих участках жилых и производственных зданий. Так, авторам монографии приходилось наблюдать, как при разравнивании строительных площадок захоранивались целые пласты бытовых отходов, способные стать источником метана, фенолов, паров ртути и других вредных веществ.

Для предотвращения подобных действий *необходима разработка новой нормативной базы, регламентирующей меры по сохранению и воссозданию почвенного покрова урбанизированных территорий*, основанной на креативной парадигме. В данном контексте это подразумевает:

1. Выбор методов на основе специфики состояния почвенного покрова, подвергшегося техногенезу в процессе урбанизации. Если негативное воздействие человеческой деятельности ограничивалось разрушением поверхностного слоя, то для восстановления почвенного покрова достаточно эффективны традиционные способы его рекультивации. В тех же случаях, когда в результате накопления загрязнителей и длительного захоронения отходов глубокие слои почвы превратились в экологически опасные природно-техногенные образования, необходима их полная ликвидация и формирование на их месте искусственного почвенного профиля (конструктозема). Подобный креативный подход неминуемо связан с увеличением затрат и, не подкреплённый нормативными требованиями, не будет реализован. Современному производителю строительных работ, несомненно, значительно выгоднее засыпать торфокомпостной смесью пропитанный нефтепродуктами интрузем (нефтезем), чем снимать его и вывозить на утилизацию. А в дальнейшем потребуется еще и работа по созданию конструктозема. Однако в длительной перспективе эти действия оправданы. После возведения строений и прокладки транспортных коммуникаций извлечение из-под них нефтеземов, источающих фенолы, станет трудно разрешимой задачей. Вместе с тем условия, в которых происходит хроническое отравление людей фенолами (или иными токсичными почвенными высачиваниями), создаст затруднения при использовании возведенных сооружений. Следует отметить, что создание конструктоземов – это не обязательно отсыпка почвенных слоев из естественных материалов (например, взятых при рытье котлованов). Для этого могут быть разработаны и искусственные, экологически чистые

материалы, способные выполнять аналогичные функции в условиях урбанизации территории более эффективно (например, не подвергаться анаэробному разложению при запечатывании почв).

2. Системное использование сохранившихся при урбанизации территории участков природного почвенного покрова. Разрушение почв в ходе жилой и промышленной застройки практически всегда носит мозаичный характер. При планировании градостроительной деятельности значительные участки предназначаются для создания объектов озеленения. В ходе благоустройства их почвенный покров планируется превратить в реплантоземы с дальнейшим формированием культуроземов. Однако одновременно с ними на урбанизированных территориях обычно остаются также участки с естественным или только «поверхностно преобразованным» почвенным покровом, для сохранения которого каких-либо системных действий не предусматривается. Это различные неудобья, остающиеся между площадками возводимых сооружений: заросшие овраги, поймы небольших рек и т.п. В совокупности эти объекты могут составлять значительную часть урбосистемы, под которой мы понимаем разновидность потенциально управляемой природно-технической системы, создаваемой для компактного проживания больших людских масс (Суздалева, 2014). Природно-технической данная система является по той причине, что качество составляющих ее элементов (например, воздух), делающих возможным существование людей, формируется в ходе естественных процессов. Значимую роль в создании экологических условий играет и почвенный покров урбосистем. Его открытым участкам в той или иной мере свойственны все основные экологические функции, присущие природным почвам. Кроме того, формирующиеся на почвах этих участков растительные сообщества являются местообитанием значительной части городской биоты.

Нередко неблагоустроенные участки урбанизированных территорий, почвы которых не подверглись глубокой техногенной трансформации, приобретают социальную значимость. Это происходит, когда население

урбанизированных территорий использует их как неорганизованные места массового отдыха – «стихийные резорты» (Суздалева и др., 2012). С одной стороны, это усиливает антропогенную нагрузку и способствует деградации почвенного покрова этих участков (замусоривание и т.п.). С другой стороны, это создает материальную основу для мер по их сохранению при преобразовании подобных участков в организованные места массового отдыха. Следует обратить внимание на одну интересную особенность: процесс формирования управляемых природно-технических систем⁵² на начальном этапе может происходить по инициативе населения. Люди сами находят и начинают использовать для отдыха свободные участки урбосистем. Осваивая их, они начинают ощущать потребность в инфраструктуре, улучшающей условия отдыха. Это, в свою очередь, служит экономическим стимулом для превращения подобных неуправляемых природно-технических систем в управляемые. Важнейшим условием успеха этой деятельности является сохранение на этих участках природного почвенного покрова и свойственных ему экологических функций (формирование растительности, микроклимата и др.). Следует подчеркнуть, что в данном случае речь идет лишь о неблагоустроенных территориях, условия которых не представляют угрозы для здоровья людей. Однако стихийные резорты нередко образуются и на других участках. Так, авторам монографии в ходе проведения инженерно-экологических изысканий приходилось сталкиваться с организацией стихийных резортов (даже частично оборудованных для проведения пикников) на берегах открытых участков ливневой канализации, окруженных несанкционированными свалками. Очевидно, что подобные стихийные резорты необходимо ликвидировать.

Несмотря на различие методов и целей деятельности, оба рассмотренных выше направления улучшения и сохранения благополучного

⁵² Одним из их видов являются организованные резорты, экологическое состояние которых управляется с целью создания благоприятных условий для отдыха людей.

состояния почвенного покрова урбанизированных территорий (создание конструкторземов и городских резортов) вписываются в креативную парадигму, основывающуюся на активном управлении процессом техногенеза окружающей среды.

ГЛАВА VI. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

6.1. Литосфера и ее экологические функции

В основополагающих работах В.И. Вернадского (2012) *литосфера*, или *земная кора*, рассматривается как одно из основных тел, слагающих биосферу и функционально взаимосвязанных с ее другими макрокомпонентами (гидросферой, атмосферой, педосферой) в единую систему. Вместе с тем существует одна особенность, отличающая литосферу от других частей биосферы. Хотя значительная часть составляющих литосферу горных пород образовалась в результате жизнедеятельности живых организмов или под ее прямым и косвенным влиянием, сама она почти не заселена ими. Они встречаются лишь в подземных водах в ее самых верхних горизонтах. Причем в подавляющем большинстве – это микроскопические формы, попадающие сюда из других частей биосферы (например, из почв). Какой-либо специфической биоты, средой обитания которой является именно литосфера, на данный момент не обнаружено.

По этой причине в экологических исследованиях литосфера рассматривается как практически неподвижная поверхность, некий инертный субстрат, свойства которого можно игнорировать в той же степени, как, например, свойства материала колбы при проведении химического опыта.

В реальности воздействие литосферы на формирование условий существования человека и других живых организмов весьма значимо и многообразно. Для обозначения отдельных видов этих воздействий предложен термин «*экологические функции литосферы*» (Трофимов, 2000; Трофимов, Зилинг, 2002). Основными из них являются:

- **ресурсная экологическая функция литосферы**, под которой подразумевается ее роль как источника естественных минеральных и органических веществ, необходимых для жизни организмов и обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека, а также как поверхности для формирования их среды обитания;

- **геодинамическая экологическая функция литосферы** проявляется во влиянии на организмы и условия существования людей динамики различных геологических процессов;

- **геохимическая экологическая функция литосферы** – это роль литосферы в формировании химизма окружающей среды, имеющего важнейшее значение как фактор среды обитания водных и наземных организмов. Так, структурно-функциональная организация экосистем и характер пространственного распределения их отдельных видов во многом определяются особенностями геохимической провинции, в пределах которой они развиваются;

- **геофизическая экологическая функция литосферы** включает воздействие на организмы различных физических факторов, сила проявления которых определяется или зависит от строения земной коры (к подобным явлениям, например, относят электромагнитные аномалии над залежами некоторых горных пород).

Данная классификация во многом носит условный характер, и разграничение проявлений отдельных функций литосферы нередко затруднительно. Так, ресурсная функция во многих случаях неразрывно связана с геохимической, геодинамическая – нередко неотделима от геофизической.

Характер воздействия и последствия проявления всех экологических функций литосферы претерпевают существенные изменения в процессе глобального техногенеза. В особенности это касается трансформации ресурсной функции, которая, как правило, сопровождается изменением характера проявлений и других функций (Трофимов, Зилинг, 2002).

Использование сырьевых запасов литосферы, сопутствующие этой деятельности образования крупномасштабных вещественных и энергетических потоков – это один из наиболее значимых факторов наблюдающейся трансформации планетарной экологической системы и превращения ее из биосферы в биотехносферу (Тютюнова, 1987). Не случайно, что теоретические основы учения о техногенезе окружающей среды были впервые сформулированы академиком А.Е. Ферсманом именно при изучении техногенных изменений литосферы. В своем фундаментальном труде «Геохимия» (А.Ферсман, 1934) он дал следующее определение данному процессу: *«Техногенез – совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горно-технической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека»* (с. 286).

Для анализа тенденций техногенеза литосферы необходимо вкратце остановиться на природе протекающих геологических процессов, формирующих структуру земной коры. Они подразделяются на две основные категории. *Эндогенные геологические процессы* обусловлены факторами, формирующимися в самой литосфере ее внутренней энергией. К ним относятся тектонические процессы, вулканизм, сейсмические явления. Эти процессы являются одним из факторов, оказывающих значимое влияние на функционирование планетарной экосистемы. При этом их воздействие носит многообразный и разнонаправленный характер. Крупные вулканические извержения, сопровождающиеся выбросом огромного количества аэрозолей, способны вызвать аномальное изменение гидрометеорологических условий в глобальных масштабах. В геологическом прошлом они, возможно, становились причиной экологических кризисов, изменявших состав биоты и структуру большинства существовавших экосистем (Безносов, 1998 а; 2000 а).

Трудно переоценить значимость влияния на биосферу тектонических процессов, вызывающих изменение конфигурации материков. Так,

соединение Северной и Южной Америки создало условия для миграции на юг плацентарных млекопитающих. В результате этого за относительно короткий период подавляющее большинство видов сумчатых млекопитающих, населявших Южную Америку, вымерло.

Важнейшую роль эндогенные геологические процессы играют в биогеохимических круговоротах, представляющих собой системное единство абиотических и биотических компонентов биосферы. В особенности это касается так называемых «осадочных циклов», в которых основные фонды элементов существуют в форме осадочных пород. Накапливающиеся в них элементы становятся недоступными для нуждающихся в них организмов на десятки миллионов лет. Их естественный возврат в экосистемы происходит в результате именно эндогенных геологических процессов. Примером может служить биогеохимический цикл фосфора. Его содержание в среде в доступной для растений форме (в виде фосфатов) – это нередко основной фактор, определяющий их развитие, а следовательно, и развитие последующих трофических уровней экосистемы. Постоянно какая-то часть фосфорсодержащих соединений уносится потоками воды в Мировой океан. Определенная часть этого фосфора постоянно уходит в виде малорастворимых веществ в морские донные отложения, которые постепенно преобразуются в осадочные породы. В естественной биосфере существовало два основных пути, делающих этот «законсервированный» фосфор вновь доступным для живых организмов. Например, это происходило вследствие тектонических процессов, сопровождающихся подъемом участков морского дна, покрытого осадочными породами, и их последующей эрозии. Второй путь включает попадание осадочных пород в расплавленную магму, подстилающую земную кору (астеносферу), и «переплавку» в ней фосфорсодержащих осадочных пород. Это происходит в зонах надвига (субдукции), в которых океаническая кора с образовавшимися на ее поверхности осадочными породами «уходит» под материковые плиты. Часть продуктов «переплавки» осадочных пород выбрасывается на

поверхность во время вулканических извержений и вновь становится доступной для растений. По образному выражению известного американского эколога Ю. Одума (1968), если бы извержения вулканов прекратились, то количество людей, умерших от голода, было бы значительно большим, чем число погибших во время подобных катаклизмов.

Экзогенные геологические процессы происходят в результате воздействия на геологическую среду внешних факторов (внешней энергии). Их примером могут служить оползни, формирующиеся при обводнении горных пород на склонах, и обвалы, возникающие в результате частичного разрушения массивов горных пород в процессах их эрозии. Изменения рельефа, вызванные экзогенными геологическими процессами, способны вызвать масштабные изменения окружающей среды. Например, на месте долин могут образоваться обширные озера, возникшие при подпруживании водотоков обвалами или оползнями, может произойти подтопление больших участков, сопровождающееся возникновением заболоченных территорий.

В настоящее время человечество все более интенсивно осваивает ресурсы литосферы, нарушая ее структуру и происходящие в ней процессы. Расширяется как площадь ее техногенно-трансформированных участков, так и глубина проникновения в толщу земной коры, которая уже превышает 10–12 км (Тютюнова, 1987; Добровольский и др., 2010). Эта деятельность не только сопровождается ухудшением состояния окружающей среды, она нарушает функциональные связи между отдельными компонентами биосферы.

Системный анализ техногенеза литосферы можно осуществить, рассматривая в качестве его отдельных форм различные нарушения человеком естественных экологических функций литосферы.

6.2. Нарушения ресурсной экологической функции литосферы и меры по их минимизации в процессе глобального техногенеза

Трансформация ресурсной экологической функции литосферы в процессе глобального техногенеза одновременно происходит по трем основным направлениям.

Первое из них – это техногенное перераспределение содержащихся в земной коре доступных ресурсов веществ, необходимых для развития организмов и обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека. Данные процессы техногенеза можно обозначить как *«перераспределение вещественных ресурсов литосферы»*. Второе направление заключается в возникновении *«дефицита ресурсов геологического пространства»* (Трофимов, 2014). Под этим подразумевается техногенная трансформация литосферы, сопровождающаяся утратой или принципиальным изменением характера пространства, пригодного для обитания организмов, проживания людей и осуществления ими традиционных форм хозяйственной и иной деятельности. В качестве третьего направления техногенной трансформации ресурсной функции литосферы можно рассматривать *«искусственное образование сырьевых запасов»* (так называемых «техногенных месторождений вторичных ресурсов»). Это накопленные в процессе предшествующей хозяйственной деятельности скопления веществ (горнопромышленные отвалы и др.), которые могут быть использованы в качестве ресурсной базы современного производства. Одновременно подобные техногенные месторождения, как правило, являются мощными источниками химического, а в ряде случаев – и радиационного загрязнения. Их существование представляет опасность для близлежащих экосистем и здоровья населения.

Нередко перечисленные разновидности нарушения ресурсной функции литосферы могут одновременно рассматриваться и как нарушение ее

геохимической функции, а в ряде случаев – и геофизической или геодинамической функций.

Рассмотрим перечисленные процессы и явления более подробно, оценив возможности различных способов по снижению их негативного воздействия на состояние окружающей среды.

Проблема *техногенного перераспределения вещественных ресурсов литосферы* сейчас наиболее остро проявляется в форме истощения запасов подземных вод или, напротив, в изменении гидрогеологических условий, заключающихся в избыточном обводнении верхних слоев литосферы (Тютюнова, 1987; Трофимов и др., 2015). Связь между этими явлениями и техногенезом может быть как прямой, так и косвенной.

Прямое воздействие, ведущее к утрате ресурсов подземных вод, заключается в истощении их источников при интенсивной эксплуатации. Другая форма прямого воздействия нередко наблюдается при строительстве водохранилищ, изменяющих гидрогеологическую структуру окружающей их территории. Обводнение верхних слоев литосферы может произойти в результате утечек из коммунально-бытовых сетей. Например, только потери из систем водоснабжения в России составляют 35 – 45 % (Зекцер, 2001).

Косвенное воздействие на гидрогеологические условия заключается в их трансформации в результате наблюдающихся глобальных климатических изменений. По мнению большинства специалистов, эти изменения обусловлены человеческой деятельностью, и, следовательно, могут рассматриваться как проявления глобального техногенеза. Так, результатом развития парникового эффекта в некоторых районах Северного Китая стало снижение глубины залегания водоносных горизонтов на несколько десятков метров. Подобные явления могут стать одной из причин опустынивания территории и деградации экосистем, а также делают невозможным осуществление традиционных форм хозяйственной деятельности. Аналогичные по своим масштабам негативные экологические и социально-экологические явления происходят и при аномальном увеличении количества

осадков, приводящих к повышению уровня подземных вод, подтоплению и заболачиванию территорий.

Ужесточение норм и правил эксплуатации ресурсов подземных вод в современных условиях может обеспечить лишь некоторое замедление развития части кризисных явлений (табл. 8)

Устойчивый результат возможен лишь при создании управляемых природно-технических систем, способных контролировать процессы расхода и пополнения запасов подземных вод. В качестве их регуляторов могут быть использованы экологически оптимизированные гидротехнические сооружения или гидромелиоративные системы. Создаваемые на их базе водохранилища можно спроектировать с учетом их использования, как для пополнения ресурсов подземных вод, так и для предотвращения избыточного обводнения верхних горизонтов литосферы (Савкин, 2000). Эта задача может также выполняться ирригационными и осушительными гидромелиоративными системами.

Другим примером техногенного «перераспределения вещественных ресурсов литосферы» является нарушение биогеохимических циклов. Так, естественный цикл фосфора в настоящее время претерпел практически необратимые изменения. В упрощенном виде данное явление можно описать следующим образом. Запасы фосфора в литосфере (в естественной биосфере) становились доступными для растений в результате эрозии содержащих их горных пород. В настоящее время интенсивность этого потока многократно возросла в результате добычи сырья для производства фосфорных удобрений. Значительная часть этого фосфора с потоками воды попадает в водные объекты, вызывая их эвтрофирование, и, в конечном счете, захоранивается в донных осадках, формируя его малоподвижный фонд.

Таблица 8

Экологические функции литосферы и основные проявления ее техногенеза, возможные способы контроля данных процессов и методы управления ими

Экологические функции литосферы	Основные проявления техногенеза	Основные направления решения проблемы в рамках ограничительной парадигмы		Основные направления решения проблемы в рамках креативной парадигмы	
		Действия	Результат	Действия	Результат
<i>ресурсная экологическая функция</i>	Перераспределение вещественных ресурсов литосферы	Ужесточение норм добычи ресурсов и их использования. Усиление контроля за хозяйственным освоением территорий	Замедление развития некоторых кризисных явлений	Создание управляемых ПТС, обеспечивающих рациональное использование ресурсов и их частичное восполнение	Стабилизация состояния ресурсной базы, необходимой для устойчивого развития
	Дефицит ресурсов геологического пространства				
	Искусственное образование сырьевых запасов				
<i>геодинамическая экологическая функция</i>	Техногенные изменения геологических процессов	Ограничения отдельных видов деятельности, нарушающих экологические функции литосферы	Локальное снижение негативных процессов	Системный подход к контролю за нарушениями экологических функций литосферы на основе создания региональных управляемых ПТС	Недопущение нарушений экологических функций литосферы
<i>геохимическая экологическая функция</i>	Включение в состав литосферы отходов и других продуктов производственной деятельности				
<i>геофизическая экологическая функция</i>	Образование техногенных физических полей				

Повторное возвращение фосфора в доступный фонд этого элемента займет десятки миллионов лет. В результате возникла реальная угроза «разрыва» естественного биогеохимического цикла фосфора. Запасы полезных ископаемых, используемых для производства фосфорных удобрений, уже близки к исчерпанию. Их естественного пополнения не происходит. Дефицит фосфорных удобрений резко понизит урожайность сельскохозяйственных культур и значительно усугубит стремительно развивающийся мировой продовольственный кризис.

В рамках ограничительной природоохранной парадигмы попытки замедлить процесс разрушения биогеохимического цикла фосфора заключаются, главным образом, в разработке агротехнических приемов с более рациональными способами внесения удобрений. Их целью является минимизация количества фосфора, обеспечивающего требуемый уровень урожайности сельскохозяйственных культур. Использование данного подхода может замедлить разрушение фосфорного цикла, но не предотвратить его. Выполнить эту задачу можно лишь создавая управляемые природно-технические системы с искусственными биогеохимическими барьерами (Максимович, Хайрулина, 2008), способными задерживать уносимый водными потоками фосфор и накалывать его для последующего повторного внесения в почву. Подобные пилотные проекты, давшие обнадеживающие результаты, осуществлялись в СССР в конце 80-х годов XX века. В качестве экологического регулятора этого процесса, для обозначения которого был предложен термин «гетеротопный рециклинг» биогенных элементов (Безносков и др., 1999), выступали соответствующим образом модифицированные гидромелиоративные системы.

Возникновение *дефицита ресурсов геологического пространства* главным образом связано с урбанизацией, охватывающей все более значительную часть поверхности нашей планеты (Трофимов, 2014; Трофимов и др., 2015). В процесс урбанизации вовлекаются и участки, ранее считавшиеся непригодными для нормальной жизнедеятельности (Суздалева,

2014). Например, в Египте, где пригодная для жизнедеятельности часть территории составляет всего 5 %, а население растет быстрыми темпами, рассматриваются проекты ирригации обширных участков пустыни за счет работы мощных промышленных опреснителей, использующих воды Красного моря. Приобретя глобальный характер, урбанизация стала одним из главных факторов перехода биосферы в состояние биотехносферы (Федоров, Суздалева, 2014). Этот процесс рассматривается многими специалистами как грядущий экологический кризис планетарного масштаба. Способы решения данной проблемы, как правило, вырабатываются в соответствии с ограничительной парадигмой (табл. 8). Среди них наибольшее распространение получили концепции *«сдерживания урбанизации»* и *«дезурбанизации»* (Хомич, 2002; Гофман, 2005). Суть первой из них была сформулирована в «Повестке дня на XXI век» (Повестка дня..., 1992), принятой Конференцией ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году. Она подразумевала сокращение иммиграции сельских жителей в города за счет повышения комфортности проживания в аграрных районах и улучшения условий сельскохозяйственного производства. Дезурбанизация подразумевает сознательное решение городских жителей осуществить переезд из крупных городов с плохими экологическими условиями в благополучные, с этой точки зрения, сельские районы. Непременным условием реализации подобных планов также является обеспечение комфортного проживания горожан в новых условиях. Это, в свою очередь, требует развития инфраструктуры и обеспечения безопасной жизнедеятельности. Внешне попытки реализации этих концепций преподносятся как «стирание различий между городом и деревней», прежде всего в образе жизни, доступности материальных благ и сферы услуг. По своей же внутренней сути подобная деятельность представляет собой не что иное, как расширение границ урбанизации. По этой причине она рассматривается специалистами как одна из форм данного процесса – *«рурбанизация»* (от *англ. Rural* – сельский, и *лат. Urbanus* – городской).

Иными словами, рассредоточение населения крупных городов (или ограничение его роста) реально только в том случае, если освоение новых территорий, как и обустройство существующих зон аграрного производства, будет осуществляться в форме урбанизации. Например, формально дезурбанизация отмечена в ряде западноевропейских стран. Так, население Лондона сократилось с 10 588 тыс. человек в 1970 году до 10 209 тыс. человек в 1980 году; население Западного Берлина с 1970 по 1980 годы уменьшилось с 2 124 тыс. человек до 1 957 тыс. человек (Хомич, 2002). Однако это происходило, главным образом, за счет так называемой «пригородной иммиграции» и сопровождалось значительным увеличением урбанизированных территорий вокруг этих городов. Данный процесс, обозначаемый в научной литературе термином «*субурбанизация*», не приводит к сокращению площади урбанизированных территорий. Происходит лишь перемещение населения из одних участков городской застройки в другие. При этом общая площадь застроенных участков только увеличивается, а негативное воздействие на окружающую среду возрастает.

Какие-либо ограничительные меры в условиях непрекращающегося роста народонаселения могут дать лишь временный эффект. Наглядным примером может служить развитие Московского мегаполиса в последние десятилетия. В 60-е годы XX века территория городской застройки была ограничена кольцевой автотрассой (МКАД). Но в последующий период вблизи нее стали возникать «города-спутники», которые изначально функционировали как отдаленные от центра городские районы. Постепенно они получили этот статус и официально. В настоящее время принято решение о расширении территории г. Москвы вплоть до границы с соседней областью.

Учитывая жизненные приоритеты современных людей, необходимо задаться вопросом: что реально можно предпринять для решения проблемы перенаселения городов, во многом обуславливающего ухудшение их экологических и социальных условий? Напрашивающийся ответ идет вразрез

с прочно укоренившимися установками – необходимо расширять область урбанизации, создавая на ней условия, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности людей и сохраняющие природные объекты. Следует вспомнить, что современная городская застройка представляет собой так называемую урбосистему, состоящую из комплекса взаимосвязанных техногенных, природно-техногенных и природных объектов. Наличие объектов озеленения и сети резортов (Суздалева, Безносков, 2012), т.е. мест массового отдыха, включающих сохранившиеся природные объекты, – это неотъемлемый атрибут не только любого современного города, но и многих промышленных зон. Следовательно, функционально урбанизированные территории представляют собой в той или иной степени управляемые природно-технические системы. Экологическими регуляторами в данном случае являются объекты коммунального хозяйства и комплекс постоянно осуществляющихся мер по поддержанию приемлемой санитарно-гигиенической и экологической ситуации. Повышение комфортности условий жизни в городах во многом зависит от создания в них сети резортов, повышения их качества и совершенствования механизмов управления их состоянием (Суздалева и др., 2014). Эти участки становятся новым местообитанием многих видов животных и растений. Таким образом, создание управляемых природно-технических систем на базе существующих урбосистем обеспечивает более благоприятные условия для жизни городского населения и одновременно способствует повышению биоразнообразия урбанизированных территорий. Учитывая глобальные масштабы процесса урбанизации, эту деятельность можно рассматривать как один из путей создания управляемой биотехносферы.

В качестве *отдельной формы проявления «дефицита ресурсов геологического пространства» следует рассматривать образование* так называемых *«техногенных ландшафтов»*, т.е. участков земной поверхности, претерпевших принципиальные изменения в результате производственной деятельности (Волкова, Давыдова, 1987). Некоторые из

них становятся непригодными для выполнения ресурсной экологической функции. В особенности это касается техногенных ландшафтов, сформировавшихся в предшествующий период вблизи объектов горнодобывающей промышленности. Терриконы и отвалы из вскрышных и пустых горных пород, хвостохранилища и хранилища жидких отходов образуют обширные участки вокруг этих предприятий, уровень загрязненности которых в ряде случаев делает невозможным существование в их пределах большинства видов организмов. Пребывание на них человека опасно не только из-за наличия токсических процессов, но и развития опасных экзогенных геологических процессов, например карстообразования (Елохина, 2013). Меры, разрабатываемые в рамках ограничительной природоохранной парадигмы (возведение барьеров вокруг опасных участков и др.), как правило, не могут обеспечить экологическую безопасность. Загрязнители с территорий, подвергшихся горнопромышленному техногенезу, постепенно мигрируют через воздушную среду, поверхностные и подземные воды. Необходимы активные действия, снижающие экологическую опасность подобных техногенных ландшафтов. По сути, эти меры, основанные на использовании технических средств, являются разновидностью техногенеза окружающей среды, для обозначения которого нами ранее был предложен термин *«санационный техногенез»* (Суздалева, Горюнова, 2014 а). Достижение устойчивых результатов этой деятельности невозможно без создания управляемых природно-технических систем. Для обеспечения их функционирования необходима разработка специальных экологических регуляторов в форме комплекса систематически осуществляющихся мероприятий по химической и биологической мелиорации окружающей среды, изъятию из нее и утилизации устойчивых загрязнителей.

Возникновение *«техногенных месторождений вторичных ресурсов»* также следует рассматривать как значимое нарушение ресурсной экологической функции литосферы. Их масштабы уже становятся сравнимы

с объемом залежей естественных полезных ископаемых (Макаров, 2000). Так, только в странах СНГ ежегодно образуется около 5 млрд т вскрышных пород в отвалах, 700 млн т хвостов обогащения и 150 млн т золы (Грановская и др., 2013). Всего в отвалах горнодобывающих предприятий Российской Федерации накоплено более 40 млрд т отходов, многие из которых рассматриваются как вторичные ресурсы.

С природоохранной точки зрения, их существование – это не появление дополнительных ресурсов, а результат накопления в среде чуждых ей продуктов техногенеза, нередко представляющих собой серьезную экологическую опасность.

Неразрабатываемые техногенные месторождения – это неуправляемые природно-технические системы, реальные или потенциальные источники деградации окружающей среды. А их разработка – не что иное, как ликвидация отходов, накопленных в предшествующий период. Эта деятельность создает угрозу загрязнения окружающей среды, поэтому меры, предпринимаемые в рамках ограничительной парадигмы, направлены на ее устранение. Подход к планированию разработки техногенных месторождений на базе креативной парадигмы подразумевает, помимо этого, решение ряда других проблем в форме создания управляемых ПТС. Первым шагом является установление границ этой системы, т.е. учет всех подобных образований, существующих в пределах определенной территории. Их количество может быть весьма велико, и далеко не все они имеют официальный статус, позволяющий начать их разработку. Так, согласно пункту 3.2.6 ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения», **«техногенные месторождения вторичных ресурсов** – накопленные в результате хозяйственной деятельности залежи вторичных ресурсов, паспортизованные, зарегистрированные и содержащиеся в установленном порядке в качестве разведанных и утвержденных запасов вторичного сырья». Но, помимо их, тем же нормативным актом признается существование аналогичных

образований, не получивших статуса «месторождений» и, следовательно, не предназначенных для разработки-ликвидации в конкретные сроки. В пунктах 3.2.7 и 3.3.12 ГОСТ Р 54098-2010 даны определения следующих терминов:

- **«техногенные накопления вторичных ресурсов»** – специально обустроенные или необустроенные, в том числе на открытом рельефе местности, накопления отходов, предусматривающие их хозяйственное использование в ближайшем или отдаленном будущем в качестве вторичных материальных ресурсов;

- **«техногенные образования сырья»** – специально обустроенные или необустроенные, в том числе на открытом рельефе местности, накопления вторичных ресурсов, пригодных для использования в качестве вторичного сырья с применением специальных технологий по сохранению потребительских свойств.

Включение подобных техногенных месторождений, накоплений и образований в состав управляемых природно-технических систем обеспечивает системный, а не выборочный характер их разработки-ликвидации. Регуляторы подобных ПТС могут иметь различный характер. Во всех случаях их предназначение – устранить из системы элементы, мешающие созданию благоприятных экологических условий. Подобный подход не лишен правового основания. Согласно действующему законодательству, все эти «техногенные месторождения, образования и скопления» можно рассматривать как **«нанесенный в прошлом экологический ущерб или исторические загрязнения»**. Он определяется как «последствия хозяйственной деятельности людей в местах дислокации предприятий и организаций, которая осуществлялась в прошлом и обусловила нынешнее загрязнение территорий, наносящих вред окружающей среде и препятствующих использованию их в коммерческих и хозяйственных целях» (ГОСТ Р 54003-2010 «Экологический менеджмент. Оценка прошлого, накопленного в местах дислокации организаций, экологического ущерба. Общие положения», пункт 3.21).

6.3. Нарушение геодинамической, геохимической, геофизической функций литосферы и возможности управления этими процессами

Трансформация геодинамической экологической функции литосферы. На современном этапе основные значения приобрели техногенные изменения различных, главным образом экзогенных геологических процессов, способные оказать значимое влияние на формирование экологических условий. Нередко наиболее сильное воздействие на ход экзогенных геологических процессов оказывается в зонах интенсивного градостроительства. На этих участках ухудшение экологических условий, вызванное нарушением геодинамической функции, проявляется не в деградации экосистем, а в росте заболеваемости населения.

Весьма часто нарушение геодинамической функции неразрывно связано с нарушением ресурсной функции. Одним из распространенных проявлений такого вида нарушения экологических функций литосферы являются процессы, обусловленные рассмотренными в предшествующем разделе изменениями гидрогеологического режима, в том числе приводящие к подтоплению территорий (Трофимов и др., 2015).

Подобные явления в настоящее время достаточно характерны для современных российских городов. Например, в г. Новочеркасске летом зона подтопления охватывает до 51 % городской застройки, а весной – до 71 % (Экология Новочеркасска..., 2001). В пределах подтопленных частей города заболеваемость населения почти в два раза выше, чем в целом по городу: в экологически неблагоприятном районе доля заболевших составляет 55,7 %, а в целом по городу – 35,6 %

Техногенное воздействие на формирование гидрогеологических условий может интенсифицировать процессы карстообразования.

Техногенный карст отличается от природного меньшей глубиной и площадью распространения, но большей скоростью развития и интенсивностью проявления карстовых форм. В последние годы это иногда приводило к возникновению ситуаций, создающих угрозу для жизни людей (Экзогенные .., 2002). Вместе с тем, техногенез окружающей среды способен оказывать на процесс карстообразования двойное воздействие (Трофимов и др., 2015). Так, формирование асфальтового покрытия в городах может вызвать и затухание карстового процесса. Но в большинстве случаев урбанизация территории сопровождается его интенсификацией.

К нарушениям геодинамической экологической функции литосферы можно отнести и техногенную активизацию оползнеобразования (Рязанова, 2006). Эти явления также наиболее заметно проявляются на территории городской застройки. Распространенными причинами являются подрезка склонов при строительстве, возникновение дополнительной нагрузки на неустойчивые массивы пород и их обводнение, усиление динамической нагрузки. В европейской части России оползни, в том числе и техногенные, известны в Москве, Нижнем Новгороде, Казани, Волгограде, Воронеже, Ростове-на-Дону, Уфе, Саратове, других городах и населенных пунктах. (Трофимов и др., 2015). Так, в Саратове активизация древних оползней вызывается обводнением и абразией их нижних (языковых) частей, выходящих на берега Саратовского водохранилища. Значительную роль играют утечки из водонесущих коммуникаций. Всего в береговой полосе Саратовского водохранилища в 2008 году было выявлено 140 оползней с объемом смещенных пород от 1 до 14 млн м³, из которых 82 оползня были активными. Образование крупных оползней в результате возведения гидротехнических объектов способно не только создать угрозу для жизни людей, но и привести к необратимой утрате значительных участков природной среды. По этой причине активизация оползневых и обвальных процессов на береговых склонах официально рассматривается в качестве

одного из основных явлений, включенных в «спектр неблагоприятных воздействий гидротехнического строительства на окружающую среду»⁵³.

Особый вид нарушения геодинамической функции обусловлен деградацией массивов многолетнемерзлых пород в зонах вечной (многолетней) мерзлоты. Данные процессы обусловлены как глобальным потеплением климата, которое рассматривается большинством современных специалистов как следствие глобального техногенеза, так и отдельными формами человеческой деятельности (тепловыделением сооружений и др.). Деградация многолетнемерзлых пород сопровождается образованием термокарстов – пустот, возникающих в результате их протаивания (вытаивания подземного льда), а также многочисленных термокарстовых озер и заболоченных участков (Лапердин, Качура, 2009). Это оказывает воздействие на структуру арктических экосистем и условия существования людей в этих регионах. Так, в результате деградации многолетнемерзлых пород срок службы зданий в г. Воркута составляет только 10 – 30 лет (Ершов, 2008).

Трансформация геохимической экологической функции литосферы.

В качестве главного вида данной экологической функции литосферы современные специалисты рассматривают включение в ее состав различных отходов производственной деятельности (Трофимов и др., 2015). По этой причине на обширных участках происходят значимые геохимические изменения верхних горизонтов литосферы (Саэт и др., 1990), что неминуемо сказывается на состоянии окружающей среды. Этот процесс уже давно достиг глобальных масштабов и может рассматриваться как один из факторов превращения естественной биосферы в биотехносферу.

Санкционированное и несанкционированное захоронение бытовых и промышленных отходов изменяет химизм среды, формирующейся над ними

⁵³ РД 153-34.2-02.409-2003 «Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду. Утверждено Департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 24.01.2003 г.», пункт 7.5.

в течение весьма длительного времени. Особую опасность представляет собой возведение на таких участках жилых массивов. Однако на практике подобные случаи достаточно распространены. Большинство городов в предшествующий исторический период окружало кольцо свалок. Возведение их новых районов нередко осуществляется именно на этих участках, где под строительными площадками захоронены массивы различных техногенных образований. Из них в подполья зданий и в подземные сооружения может происходить высачивание газообразных продуктов («свалочного газа»), опасных для здоровья людей. Свалочный газ также может накапливаться и в подземных коммуникациях, создавая условия для возникновения пожаров и взрывов. Например, входящий в его состав метан в экологически опасных и пожароопасных концентрациях обнаружен в зданиях 12 и 14-го микрорайонов Марьиного парка в Москве (Курбатова, Башкин, 2004).

Значимым видом техногенного нарушения геохимической экологической функции литосферы является инфильтрация загрязнителей из хранилищ отходов в подземные воды (Трофимов и др., 2015). Этот процесс также неотделим от нарушения ранее рассмотренной ресурсной функции. Обе эти функции (геохимическая и ресурсная) используются для описания и оценки последствий различных аспектов одного и того же явления. Основным источником техногенной трансформации состава подземных вод являются необорудованные хранилища отходов, организуемые в верхних горизонтах литосферы. Под ними нередко образуются значительные ореолы некондиционных подземных вод. Например, в подземных водах в зоне городской свалки в г. Уфа суммарное содержание диоксинов составляло 51 – 929 ПДК (Трофимов и др., 2006).

Трансформация геофизической экологической функции литосферы.

Данная форма техногенного воздействия связана главным образом с мощными источниками энергии, как правило, сосредоточенными в крупных городах и промышленных зонах (Трофимов и др., 2015). Например, в Москве ежегодно в среднем производится $2,15 \cdot 10^{17}$ Дж энергии, что соответствует

реализации мощности в $6,82 \cdot 10^3$ МВт. Это примерно в полтора раза превышает мощность Братской ГЭС ($4,1 \cdot 10^3$ МВт) и сопоставимо с мощностью Красноярской ГЭС ($6,0 \cdot 10^3$ МВт). Часть этой энергии рассеивается в окружающей среде. В результате может происходить формирование техногенных электромагнитных полей, которые по мощности многократно (иногда на несколько порядков) превышают свои природные аналоги. Их параметры выходят за рамки допустимых санитарных норм, поэтому такие поля способны оказывать негативное воздействие на живые организмы (Сподобаев, Кубанов, 2000).

В качестве нарушения геофизической функции литосферы рассматривают также техногенные микросейсмические колебания (микросейсмы) и вибрацию, а также искусственное изменение радиационного фона (Трофимов и др., 2015).

Мониторинг литосферы, определяемый как «система наблюдения и контроля за уровнем содержания в литосфере радиоактивных, опасных химических и биологических веществ»⁵⁴, устанавливает нарушения экологических функций литосферы, уже оказавших или оказывающих негативное воздействие на экологические условия или создающих угрозу для здоровья населения.

Однако более результативным в плане обеспечения экологической безопасности и безопасности жизнедеятельности людей было бы предупреждение возникновения негативных явлений, а не борьба с их последствиями. В большинстве случаев это было бы более выгодным и с экономической точки зрения. Ограничения, накладываемые нормативными актами⁵⁵ на отдельные виды деятельности, способны лишь частично предотвратить развитие нарушений экологических функций литосферы (табл. 8). Эти меры почти всегда направлены на минимизацию

⁵⁴ ГОСТ Р 22.1.02-95 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения», пункт 3.2.3.

⁵⁵ В Российской Федерации их примером является комплекс СНиПов – Строительных норм и правил.

нежелательных воздействий, обусловленных строительством и эксплуатацией отдельных объектов капитального строительства. Их результаты, как правило, носят локальный характер, ограничиваясь зоной ответственности руководства данных объектов. Гарантировать защиту территории в целом они не в состоянии, что в ряде случаев приводило к деградации экосистем на обширных участках. Так, правила, направленные на ограничение загрязнения среды при бурении нефтяных скважин, которое мы в данном случае рассматриваем как нарушение геохимической экологической функции литосферы, не обеспечивают в регионах нефтегазоносных месторождений защиты подземных вод от проникновения в них нефтепродуктов и еще более токсичных продуктов их разложения (например, фенолов) (Московченко, 1998).

Системный подход к выполнению данной задачи может быть в полной мере решен *в форме создания управляемых региональных природно-технических систем*. Задачу их регулятора должен выполнять орган власти, целью которого является обеспечение устойчивого развития данного региона⁵⁶. Для этого необходимо усилить координацию работы систем экологического менеджмента (СЭМ) отдельных производственных объектов, а в случае временного характера их существования – обеспечить контроль за преемственностью выполняемых задач (Суздалева, Гальцова, 2015). Так, при бурении разведочных нефтяных скважин работа их СЭМ не должна прекращаться одновременно с окончанием эксплуатации скважины, а мероприятия по рекультивации ее участка – носить формальный характер. В настоящее время хранилища отходов, остающиеся после бурения, на длительный срок нередко становятся практически бесхозными. Принципиально изменить ситуацию можно лишь усовершенствовав процедуру официальной сдачи-приемки этих потенциальных источников загрязнения среды между СЭМ предприятия нефтегазодобычи (разведки) и органом власти, в зону ответственности которого они переходят в

⁵⁶ Т.е. концепции «устойчивого развития», принятой ООН.

последующий период. Очевидно, что для этого необходимо совершенствование действующего природоохранного законодательства, исключающего возникновение упоминавшихся в предшествующем разделе «исторических загрязнений».

Кроме того, программы устойчивого развития регионов должны включать также пункты, непосредственно связывающие характер планируемой хозяйственной и иной деятельности с возможностью различных нарушений экологических функций литосферы (например, возведение зданий на массивах многолетнемерзлых пород в условиях прогнозируемого потепления климата, особые меры при размещении объектов, продуцирующих микросейсмы и т.п.).

ГЛАВА VII. ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА БИОСФЕРЫ

7.1. Биотехногенез и его основные формы

В ходе технологического развития человеческой цивилизации под воздействием техногенных факторов подвергся изменениям и биологический компонент планетарной экосистемы – *«живое вещество» биосферы*, по терминологии В.И. Вернадского (2001). Совокупная масса всех организмов, населяющих нашу планету, относительно невелика – $2,4 - 3,6 \cdot 10^{12}$ т (в сухом весе) и составляет менее одной миллионной массы биосферы. Однако роль биологического компонента в силу его активности чрезвычайно важна. Как указывал В.И. Вернадский, живое вещество – это одна «из самых могущественных геохимических сил нашей планеты», поскольку живые организмы не просто населяют земную кору, а «преобразуют облик Земли».

Для обозначения техногенной трансформации биологического компонента биосферы можно предложить термин *«биотехногенез»*. Необходимость введения этого нового понятия обусловлена тем, что характер данного процесса существенно отличается от техногенеза других компонентов биосферы. Живые организмы более чувствительны к различным воздействиям, а их реакция на них носит весьма сложный и многоплановый характер. В отличие от абиотических составляющих биосферы, они до определенного предела способны адаптироваться к оказываемым на них воздействиям, а также активно избегать их.

Процессы биотехногенеза происходят одновременно в нескольких различных направлениях. Последствия некоторых из этих явлений уже значимо проявляются в глобальных масштабах и могут рассматриваться как факторы техногенной трансформации биосферы, превращения ее в биотехносферу.

Основными формами биотехногенеза являются:

❖ **Биотический техногенез**⁵⁷ – это изменения качественного и количественного состава биоты в результате воздействия техногенных факторов. Его наиболее негативным последствием является исчезновение отдельных видов и снижение биоразнообразия значительных участков окружающей среды. При этом структура и внешний облик экосистемы могут в целом сохраниться. Например, почти полное уничтожение уссурийского тигра в XX веке не вызвало исчезновения лесных экосистем, в которых обитал данный вид. Но биотический техногенез не ограничивается негативным воздействием на живые организмы. В ряде случаев техногенные воздействия создают благоприятные условия для отдельных форм жизни, численность которых может многократно увеличиться. Так, некоторые техногенные образования активно заселяются организмами, в т.ч. ранее не обитавшими или редкими в данном районе. Это один из распространенных путей формирования специфической биоты природно-технических систем. Для ее обозначения нами ранее был предложен термин **«технобиота»** (Суздалева и др., 2015). В качестве ее разновидностей можно выделить **«урбобиоту»** – биоту урбосистем, **«агробиоту»** – биоту агросистем и **«культуробиоту»** – биоту резортов (Суздалева, Безносков, 2012), т.е. природно-антропогенных объектов, используемых в рекреационных целях. Формирование технобиоты мы также рассматриваем как одну из разновидностей биотического техногенеза.

❖ **Системный биотехногенез**, заключающийся в нарушении структурно-функциональной организации экосистем (смене доминирующих видов, разрушении трофических цепей). Эти действия могут носить как непреднамеренный, так и целенаправленный характер.

Распространенным случаем непреднамеренного системного биотехногенеза является эвтрофирование водных объектов. Внешне этот

⁵⁷ Данный термин ранее уже использовался в одной из наших работ (Суздалева, Горюнова, 2014 а).

процесс проявляется в виде вспышек развития фитопланктона – «цветений воды» и «красных приливов». Причиной является попадание в воду, в результате человеческой деятельности, соединений так называемых «биогеохимических элементов» (главным образом, фосфора и азота), уровень содержания которых ограничивает развитие водных растений. Эвтрофирование вызывает несбалансированное увеличение продуктивности водных растений, что в большинстве случаев приводит к экологической деградации водной экосистемы. Образовавшаяся масса водорослей, отмирая, отравляет воду, вызывая массовую гибель рыб и других организмов. Кроме того, некоторые виды фитопланктона в процессе своей жизнедеятельности выделяют в воду продукты своей жизнедеятельности, токсичные для других форм жизни.

Целенаправленный системный биотехногенез происходит, например, при создании природно-технических систем, служащих для выращивания определенных видов организмов. Некоторые из них являются новыми для биоты данного района и целенаправленно акклиматизируются⁵⁸. Сюда можно отнести лесоразведение, рыборазведение, а также преобразование естественных экосистем в природно-технические системы рекреационного назначения (лесопарки и др.).

❖ **Топический биотехногенез** – трансформация состава биоты и исчезновение природных экосистем в результате принципиального изменения характера окружающей среды и естественных биотопов обитавших в ней ранее организмов. В качестве наиболее распространенных разновидностей данного процесса можно рассматривать **урбанизационный** и **аграрный биотехногенез**. Существуют и другие формы топического техногенеза. Например, при использовании озер в качестве водоемов-охладителей АЭС и ТЭС происходит принципиальная перестройка их

⁵⁸ Эти действия необходимо четко отграничивать от непреднамеренных техногенных биологических инвазий, которые мы рассматриваем как другую форму биотехногенеза – «инвазионный биотехногенез».

гидрологической структуры, что влечет значимые изменения в составе водной биоты и характере пространственного распределения водных сообществ (Суздалева, 2000; Суздалева, Безносков, 2000).

❖ **Этологический техногенез**, т.е. изменение поведения и образа жизни организмов в техногенной среде. Примером может служить зимовка уток на водных объектах г. Москвы (Авилова и др., 1994). Эти перелетные птицы начали вести оседлый образ жизни, сформировав устойчивые зимние популяции. В целом процесс приспособления организмов к техногенно измененной среде, обычно сопровождающийся изменением их образа жизни, обозначается термином «**синантропизация**».

❖ **Инвазионный биотехногенез**. Биологическими инвазиями обозначают проникновение в новую среду обитания ранее не обитавших в ней организмов. Их развитие нередко вызывает изменение структуры биологических сообществ и даже полное исчезновение из их состава отдельных видов. Основой для биологических инвазий являются участки среды с благоприятными для жизни организмов условиями, но отделенные от них преградами, которые Л.А. Зенкевич (1940) называл «**импедитными**» (от *греч.* – непроходимые). Биологические инвазии могут происходить и в силу естественных причин (Романова и др., 2016). Однако в ходе технологического развития нашей цивилизации частота подобных явлений многократно возросла. Для их обозначения нами был предложен специальный термин «**техногенные биологические инвазии**» (Суздалева и др., 2015). Основную роль в преодолении организмами-вселенцами импедитных преград сыграло развитие транспортных перевозок. Но не менее важное значение имеет и непреднамеренное создание человеком благоприятных условий для развития организмов в новых для них районах (например, выращивание сельскохозяйственных культур, служащих им кормовой базой).

❖ **Генетический биотехногенез** является результатом эволюционных процессов, в ходе которых появляются новые формы организмов,

приспособленных к обитанию в техногенно трансформированной среде. Как и другие эволюционные процессы, данные явления протекают в течение длительного времени. Поэтому результаты генетического биотехногенеза в полной мере смогут проявиться только в отдаленном будущем. Но отдельные примеры, указывающие на саму возможность подобных явлений, существуют уже сейчас. Широко известен феномен появления в зоне промышленного загрязнения темноокрашенных бабочек, позволяющих им быть незаметными на закопченных стволах деревьев (Одум, 1968). В природной среде представители этого вида имеют светлую окраску. Темноокрашенные особи встречаются лишь изредка, но в условиях загрязненной среды шансы их выживания существенно возрастают.

Границы между различными формами биотехногенеза нередко установить трудно. Так, системный техногенез обычно неотделим от биотического. Вместе с тем, как уже указывалось выше, исчезновение отдельных видов (биотический техногенез) может не сопровождаться значимым изменением структурно-функциональной организации экосистемы, т.е. системным биотехногенезом. Этологический техногенез в большинстве случаев трудно отделим от топологического: изменение поведения животных, как правило, является приспособительной реакцией на существование в техногенной среде. То же можно сказать и о генетическом биотехногенезе – направлении отбора определенных геномов в данном случае определяется характером техногенной трансформации их биотопов.

Таким образом, последствия биотехногенеза весьма многообразны. Различна и значимость его отдельных форм в трансформации планетарной экосистемы. Принципиально отличен характер экологической опасности этих процессов и их воздействия на условия жизнедеятельности людей, а также характер возможных мер по их предотвращению. Ограниченный объем монографии не позволяет детально рассмотреть все эти проблемы. По этой причине в последующих разделах мы остановимся только на некоторых из

них, в совокупности дающих возможность получить непредвзятое общее представление о проблеме биотехногенеза.

7.2. Биотехногенез и возможные пути сохранения биоразнообразия

Наиболее опасное проявление биотехногенеза заключается в создании угроз биоразнообразию, т.е. угроз исчезновения видов живых организмов в пределах отдельных участков окружающей среды или даже их полного вымирания. По мере развития человеческой цивилизации подобные негативные явления получают все более широкое распространение. На протяжении последних столетий технологическое развитие человеческой цивилизации сопровождалось все более ускоряющейся невосполнимой утратой биологического разнообразия. Так, если в период 1600 – 1700 годов в результате человеческой деятельности в среднем за десятилетие исчезал один вид, то с 1850 года по 1950 год усредненное время вымирания одного вида сократилось до одного года (Smith et al., 1993; Global ..., 1995). Подобные явления происходили повсеместно и постепенно стали значимым фактором техногенной трансформации биосферы.

Невосполнимая утрата системой какого-либо элемента нарушает ее структурно-функциональную организацию. Увеличение частоты таких событий по достижению определенного предела влечет за собой деградацию и уничтожение системы. В полной мере это относится и к биосистемам. К настоящему времени уже существует достаточное количество примеров деградации экосистем по причине обеднения их видового состава (Горюнова, 2006).

Биоразнообразие – это не только экологический показатель, но и важный фактор экономического развития многих территорий, для которых особое значение имеют рыболовство, различные формы лесного и

охотничьего хозяйства, рекреационный потенциал⁵⁹. Снижение его уровня нередко нарушает исторически сложившиеся условия жизнедеятельности населения (Примак, 2002).

В неуправляемой биотехносфере по мере неуклонного роста масштабов техногенного воздействия на окружающую среду негативные проявления биотического техногенеза получают все большее распространение и представляют собой все большую опасность как с экологической, так и экономической точки зрения.

Проблема сохранения биоразнообразия уже несколько десятилетий рассматривается как одна из важнейших задач как на международном, так и на национальном уровне. В 1992 году на конференции ООН в Рио-де-Жанейро была принята «Конвенция о биологическом разнообразии», требующая от подписавших ее стран активных действий по решению проблем в этой области. В Российской Федерации разработана и действует Национальная стратегия сохранения биоразнообразия (Национальная..., 2001).

Эти меры уже дали практические результаты. Благодаря им удалось предотвратить исчезновение нескольких тысяч видов живых организмов. Но рост техногенного воздействия также усиливается. В результате непрекращающегося увеличения численности народонаселения планеты сокращается площадь сохранившихся участков природной среды. Это требует поиска новых путей сохранения биоразнообразия. Однако прежде чем перейти к рассмотрению этих возможностей, необходимо уточнить некоторые терминологические и методологические вопросы.

Несмотря на широкое использование термина «биоразнообразие» (BioDiversity), использование его общепринятого в настоящее время определения при решении практических проблем нередко вызывает определенные трудности. Считается, что впервые словосочетание

⁵⁹ Для обозначения этих видов деятельности в настоящее время используются термин «экосистемные услуги» (Сохранение, 2015).

«биологическое разнообразие» использовал Г. Бэйтс в 1892 году в работе «Натуралист на Амазонке», описывая случай, когда он во время часовой экскурсии в южноамериканской сельве встретил около 700 видов бабочек. Но широко употребительным данное понятие стало лишь начиная с середины XX века, причем вкладываемый в него разными авторами смысл имел существенные отличия.

Обобщенного понимания термина «биоразнообразии» во многом удалось достичь благодаря классификации его форм, предложенной американским экологом Робертом Уиттекером (Whittaker, 1970; 1972).

В соответствии с ней различают:

- ✓ **альфа-разнообразие** – разнообразие видов определенного биологического сообщества, местообитания;
- ✓ **бета-разнообразие** – разнообразие различных видов биологических сообществ;
- ✓ **гамма-разнообразие** – биологическое разнообразие на территориальном уровне, соизмеримом с ландшафтом или ландшафтной зоной. Показатели гамма-разнообразия одновременно отражают уровень альфа- и бета-разнообразия.

Официально определение термина «биоразнообразии» было закреплено в тексте международного соглашения «Конвенция о биологическом разнообразии». В статье 2 этого документа приводится следующее определение: «Биологическое разнообразие означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются, это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем».

Подобное понимание биоразнообразия отражает полноту аспектов данной проблемы. Вместе с тем его применение на практике сопряжено как минимум с двумя трудноразрешимыми проблемами. Во-первых, видовое и внутривидовое разнообразие многих групп организмов сложно оценить по

причине его недостаточной изученности. Во-вторых, исследование разнообразия многих групп возможно только при привлечении узких специалистов. Причем большинство из них способно тщательно исследовать лишь относительно небольшой участок среды. В результате материалы по биоразнообразию, как правило, носят мозаичный характер. Глубина исследования и полнота материалов по отдельным таксономическим группам существенно различны. Так, при оценке гамма-разнообразия в большинстве случаев используют данные по крупным млекопитающим и птицам, виды и подвиды которых хорошо изучены, а учет их численности относительно легко осуществлять на уровне ландшафтов.

Вместе с тем малозаметные организмы, исследование которых требует сложной техники (например, почвенная мезофауна⁶⁰), нередко играют в экосистеме значительно большую роль, чем копытные млекопитающие или хищные птицы. Но меры по сохранению биоразнообразия разрабатываются только в отношении последних. Поэтому основной результат этой деятельности заключается в предотвращении вымирания ряда крупноразмерных форм животных и растений (табл. 9). Подобный подход опирается на традиционную ограничительную природоохранную парадигму. Например, ограничение сроков охоты или запрещение ее в отношении какого-то вида антилоп, как правило, относительно быстро приводит к восстановлению их численности. Значительно сложнее восстановить биоразнообразие почвенных членистоногих на эродированных землях. В этом случае необходимо активное воссоздание утрачиваемых элементов экосистемы и меры, обеспечивающие их благополучное состояние в длительной перспективе.

⁶⁰ Совокупность мелких почвенных животных, главным образом членистоногих, размером 0,1 – 2,0 мм. Их жизнедеятельность является важнейшим фактором процессов формирования структуры и плодородия верхних горизонтов почвенного покрова.

Таблица 9

**Основные формы и значимые проявления биотехногенеза,
возможные способы их контролирования и предотвращения**

Основные формы и значимые проявления биотехногенеза	Основные направления решения проблемы в рамках ограничительной парадигмы		Основные направления решения проблемы в рамках креативной парадигмы	
	Действия	Результат	Действия	Результат
<i>Снижение биоразнообразия</i>	Ограничение угроз биоразнообразию	Предотвращение вымирания ряда крупноразмерных форм животных и растений	Контроль процессов биотехногенеза при создании управляемых ПТС	Постоянное и систематическое контролирование угроз биоразнообразию
<i>Урбанизационный биотехногенез</i>	Реализация программ по развитию желательных компонентов урбобиоты и меры по уничтожению ее нежелательных форм	Обеспечение существования организованных резортов и элементов городского озеленения. Периодическое уничтожение нежелательных видов	Системное формирование урбобиоты как элемента управляемой ПТС (урбосистемы)	Функционирование урбоценозов как механизмов управления условиями среды, а в перспективе – как механизмов управления биотехносферой
<i>Инвазионный биотехногенез</i>	Создание преград для распространения потенциальных инвайдеров и их уничтожение при обнаружении факта вселения	Задержка инвазии на определенный срок. Периодическое уничтожение инвайдеров в тех случаях, когда это возможно	Управление техногенными инвазиями как элемент управления ПТС	Контролируемое включение инвайдеров в биологические сообщества. Локализация и уничтожению опасных инвайдеров.

Необходимость разработки мер, основанных на креативной парадигме охраны окружающей среды, подкрепляется также анализом факторов, *создающих угрозу биоразнообразию, т.е. факторов биотического техногенеза*. Эти техногенные воздействия, хотя и обладают спецификой, обусловленной местными особенностями, проявляются на всех участках планеты (Примак, 2002). *На территории Российской Федерации в качестве этих факторов рассматриваются* (Сохранение..., 2015):

1. Разрушение местообитаний животных и растений. Особенно значимые последствия воздействия данного фактора проявляются при освоении новых регионов.

2. Химическое загрязнение окружающей среды.

3. Фрагментация ландшафтов и «островизация» природных экосистем.

4. Трансформация традиционного агроландшафта.

5. Угроза трансформации аборигенного биоразнообразия за счет инвазий чужеродных видов.

6. Угрозы биоразнообразию, связанные с высоким уровнем браконьерства и переэксплуатацией биологических ресурсов.

7. Угрозы лесному биоразнообразию в связи с лесными пожарами и другими антропогенными воздействиями, повреждениями вредными организмами и болезнями леса.

Программы по сохранению биоразнообразия строятся в форме комплекса отдельных мероприятий, каждое из которых направлено на смягчение воздействия конкретной угрозы. На практике эти меры в большинстве случаев носят временный и разобщенный характер, поскольку лишены единой организационной основы. По этой причине их результат нередко дает лишь кратковременный эффект, часто ограниченный сроками приемки в эксплуатацию производственных объектов или их комплексов.

После документальной фиксации факта, что все природоохранные требования на данный момент соблюдены в полном объеме, внимание к ним ослабевает. Далее следует период отчетов, составляемых не на основе

реальных материалов, а в соответствии с установленным регламентом их составления. Повторное серьезное внимание ситуация привлекает нередко только тогда, когда в составе биоты уже произошли значимые изменения.

Однако следует обратить внимание, что по своей сути все эти «угрозы биоразнообразию» есть не что иное, как различные аспекты формирования природно-технических систем. Так, разрушение местообитаний организмов при освоении новых регионов – это результат неуправляемой трансформации сохранившихся экосистем в природно-технические системы. **«Островитизация»** (опасность, которой заключается в изоляции небольших групп организмов, неспособных поддерживать стабильную численность в отсутствие возможности осуществлять миграционные процессы и обмениваться генетическим материалом с другими группами) возникает при прокладке различных коммуникаций и в результате градостроительной деятельности, также приводящей к формированию природно-технических систем.

Таким образом, сохранение биоразнообразия – это во многом проблема не упреждения различных форм биотехногенеза (что нереально), а проблема разработки эффективного управления ими. Такую возможность дает создание управляемых природно-технических систем. Очевидно, что их функционирование не может предотвратить все «угрозы биоразнообразию», но придает этой деятельности стабильный и системный характер. Следует отметить, что некоторые из уже существующих в той или иной мере управляемых природно-технических систем отличаются высоким уровнем биоразнообразия. Например, исследованные нами водоемы-охладители АЭС по разнообразию водной биоты не уступали природным водным объектам того же региона (Суздалева, Горюнова, 2014 а). Кроме того, экологические регуляторы управляемых природно-технических систем, обеспечивающие стабильность благоприятной экологической ситуации, одновременно способствуют сохранению биоразнообразия групп организмов, выпадающих по причине своей малозаметности и недостаточной изученности из поля

зрения специалистов, занятых решением данных проблем традиционными методами.

7.3. Урбанизационный биотехногенез

По определению Г.М. Лаппо (1997), городская среда – это совокупность условий для жизнедеятельности населения. То есть основное отличие «урбанизированных территорий» от «неурбанизированных» заключается в том, что первые из них являются продуктом целенаправленной трансформации природной среды с целью приспособления ее для проживания людей. В результате возникает так называемая урбосистема – участок трансформированной природной среды, в пределах которого люди по возможности изолированы от неблагоприятных природных воздействий и иных нежелательных явлений. Вместе с тем человек всегда испытывал потребность контакта с природой. Первоначально эта потребность реализовалась в форме сохранения участков естественной среды вблизи городских поселений (священных рощ, заповедных лесов и др.). По мере роста городов подобные объекты стали включаться в состав застройки (парки и др.). Экологические условия урбосистем в той или иной мере всегда были управляемы путем создания специальной инфраструктуры (водоснабжения, канализации и др.), поскольку в противном случае проживание в них стало бы невозможным. Необходимые ресурсы для жизни городов поступали из окружающей их среды, в нее же сбрасывались и продукты жизнедеятельности. Таким образом, урбанизированные территории изначально представляют собой управляемые природно-технические системы (ПТС), состоящие из комплекса взаимосвязанных природных, природно-техногенных и техногенных объектов (Суздалева, 2014).

Современный этап развития цивилизации характеризуется стремительно расширяющимся освоением новых территорий. В отличие от

предшествующих эпох, урбанизация территорий происходит даже в том случае, если их основным предназначением является развитие сельскохозяйственного производства. Этому требуют как организация производства, так и потребности современного человека в развитии инфраструктуры. Различия между урбанизационным и аграрным биотехногенезом постепенно начинают носить все более условный характер.

Другой чертой современного характера урбанизации новых территорий является их системность – их трансформация, как правило, осуществляется одновременно по нескольким взаимосвязанным направлениям: строительство производственных объектов, обустройство селитебных и рекреационных территорий⁶¹, отвечающих перечисленным выше требованиям, а также создание сети транспортных коммуникаций.

Таким образом, в отличие от предшествующих эпох, урбанизация новых участков биосферы происходит не в форме расширяющейся городской застройки, а постепенно охватывает все пригодное для жизни человека пространство. В процесс урбанизации вовлекаются и участки, ранее рассматривавшиеся как не предназначенные для нормальной жизнедеятельности. Процесс урбанизации всегда сопровождается интенсивным биотехногенезом. Все большее количество видов растений и животных начинает осваивать урбосистемы. Этот процесс обозначается термином «*синантропизация*». В ходе ее многие организмы не только приспособляются к условиям городской и промышленной застройки, но и находят на этих участках более благоприятную среду для своего развития.

Биота современных урбанизированных территорий (*урбобиота*) достаточно разнообразна. Так, к концу XX века на территории г. Москвы постоянно обитало более 50 видов птиц (Благосклонов, Буданова, 1977). При этом на урбанизированных территориях некоторые виды осваивают не

⁶¹ Для обозначения совокупности этих различных по своему составу и происхождению объектов ранее нами был предложен специальный термин «*организованные городские резорты*» (Суздалева и др., 2012).

свойственные им биотопы. Во многом это становится возможным благодаря изменению характера поведения и образа жизни⁶². Например, летом на газонах Воробьевского шоссе в районе Московского государственного университета можно было увидеть обыкновенных и сизых чаек. Здесь же во время весеннего пролета останавливались и даже спаривались кряквы, серые и другие утки (Симкин, 1977)

Расширение площади участков современной жилой и промышленной застройки и повышение в ней значимости техногенных факторов⁶³ сопровождается увеличением числа вида растений и животных, сумевших приспособиться к существованию в этих условиях. При этом урбобиота – это не обедненный вариант биоты, окружающей урбанизированную территорию естественных ландшафтов. Ее формирование происходит под влиянием двух разнонаправленных процессов. Первый – это исчезновение ряда видов, свойственных естественным условиям местообитаний данного региона, не выдерживающих химического или шумового загрязнения, а также трансформации биотопов. Второй заключается в обогащении видового состава либо случайно привнесенными сорными, либо целенаправленно интродуцированными формами. В совокупности они обозначаются как «*адвентивные виды*» (от лат. *adventicius* - пришлый, чуждый), т.е. виды живых организмов, которые не свойственны данной местности, но распространились благодаря деятельности человека, в т.ч. и в результате создания для них специфических техногенных местообитаний (Клауснитцер, 1990). Так, дикие предки городских голубей, освоивших различные здания и сооружения, обитали в скалистых ландшафтах. В ходе урбанизации количество адвентивных видов в составе урбобиоты имеет тенденцию к

⁶² Эти явления ранее были обозначены нами термином «этологический биотехногенез» (Глава 7).

⁶³ Об увеличении значимости техногенных факторов можно судить, например, сравнив условия Москвы начала XX в., имевшей многочисленные индивидуальные домовладения с огородами и садами, и в настоящее время. Воздействие промышленных выбросов в значительной мере ослаблялось поступлением незагрязненного воздуха с территорий, окружающих город, протяженность которого была на порядок меньше. Автотранспорт практически отсутствовал, а запечатывание городских почв носило мозаичный характер.

увеличению. Так, если в начале XIX века в Москве насчитывалось 50 адвентивных видов растений, то в настоящее время их более 300 (Чичев, 1985). Аналогичные явления отмечаются и в других городах (Ильминских, 2011).

Обитающие на урбанизированных территориях растения и животные образуют своеобразные биологические сообщества – *урбоценозы*. По своему составу они весьма разнообразны и отражают характер мозаичности условий современной жилой и промышленной застройки (Клауснитцер, 1990). Своеобразные урбоценозы формируются на обочинах дорог, свалках, кладбищах и даже в районах оживленных улиц. Специфичность экологических ниш урбанизированных территорий обуславливает возникновение схожести состава их урбобиоты. Так, 15% видов растений являются общими для всех городов Европы (Фролов, 1998). Это число было бы еще выше, если бы сравнивались только центры городов.

Урбанизационный биотехногенез порождает комплекс проблем, требующих отдельного рассмотрения:

1. Заселяя постоянно расширяющиеся в пространстве урбосистемы, формирующиеся в них биологические сообщества-урбоценозы начинают играть все более значимую роль в функционировании планетарной экосистемы (Тетиор, 2006). Таким образом, ***урбанизационный биотехногенез (как и аграрный) превращается в один из факторов формирования биотехносферы***. Этот процесс следует отличать от воздействия на трансформацию биосферы урбанизации как таковой. Урбанизация – это один из видов техногенной трансформации окружающей среды, сопровождающийся уничтожением естественных биологических сообществ и экосистем. В результате же урбанизационного биотехногенеза происходит возникновение новых биологических сообществ, начинающих играть все большую роль в вещественных и энергетических потоках. Например, в настоящее время трудно подсчитать, какова доля наземной растительности, произрастающей на урбанизированных территориях. Но

можно предположить, что в некоторых странах Западной Европы занимаемая ею площадь и общая биопродуктивность уже сопоставимы с аналогичными показателями, характеризующими сохранившиеся природные экосистемы этих регионов.

2. Нередко спонтанно формирующиеся урбоценозы значительно ухудшают видеозэкологические свойства городской территории, создают предпосылки для возникновения неорганизованных свалок. Это могут быть заросли рудеральной растительности, появившейся на городских пустырях, или участки урбосистем, на которых строительство жилых и производственных объектов по тем или иным причинам не осуществляется (поймы малых городских рек и др.). Отдельную проблему представляет собой стихийное использование городским населением подобных участков в качестве мест массового отдыха. Для их обозначения нами ранее был предложен термин «*неорганизованные городские резорты*» (Суздалева и др., 2012). В этих же местах нередко формируются поселения лиц без определенного места жительства. Все это способствует возникновению неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановки.

3. Некоторые организмы, активно заселяющие убосистемы, оказывают нежелательное воздействие на условия существования в них людей. Например, грызуны – переносчики опасных инфекций и кровососущие насекомые. К ним можно отнести и стаи бродячих собак, проявляющих агрессию по отношению к людям.

4. Ряд видов способен обитать на поверхности и внутри различных технических устройств, создавая так называемые *биопомехи*, т.е. связанные с жизнедеятельностью этих организмов неполадки, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций. Другие организмы вызывают *биоповреждения*, заключающиеся в механическом и химическом разрушении материалов и изделий.

5. Массовое развитие некоторых организмов иногда вызывает интенсивное загрязнение городской и промышленной застройки продуктами

их жизнедеятельности. Для обозначения данного явления был даже предложен специальный термин «зоогенное загрязнение» (Авилова и др., 1994).

По перечисленным выше причинам восприятие явлений урбанизационного биотехногенеза специалистами носит двойственный характер. В целом рост биоразнообразия в городах и повышение уровня их озеленения рассматриваются как позитивные явления. Во многих городах разрабатываются и реализуются программы по развитию в них желательных компонентов урбобиоты. Одновременно предпринимаются меры по борьбе с ее нежелательной частью. Практически все эти действия вписываются в ограничительную парадигму охраны окружающей среды. Их цель – повысить до определенного уровня позитивные воздействия, оказываемые урбобиотой на человека, и ограничить негативные (табл. 9). Как правило, эти меры носят частный характер, т.е. проводятся в отношении определенного объекта или их группы и преследуют конкретную сиюминутную цель. Именно этим объясняется кратковременность, а иногда – и полный провал подобной деятельности. Примером может служить попытка вселения ланей в московский лесопарк Лосиный остров, которые были быстро уничтожены бродячими собаками (Карасева и др., 1995). Избежать подобных событий можно путем системного формирования урбобиоты, т.е. рассматривая ее как элемент управляемой природно-технической системы. При подобном подходе состав урбоценозов формируется не как попытка внедрить в урбосистему фрагменты естественных биоценозов и не как акклиматизация набора видов, который хотелось бы видеть в городских парках и других видах организованных городских резортов (Суздалева и др., 2012), а как создание сообщества организмов, вписывающихся в условия целенаправленно формируемой управляемой системы. Это подразумевает:

- формирование набора урбоценозов, каждый из которых способен устойчиво существовать на определенном участке городской или промышленной застройки⁶⁴;

- разработку механизмов биоманипуляции (управления биологическими объектами), направленных на улучшение экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации, а также обеспечения их стабильности.

В условиях непрерывного расширения площади урбанизированных территорий и повышения их значимости в структурно-функциональной организации планетарной экосистемы деятельность по созданию управляемых природно-технических систем на базе урбосистем может рассматриваться как разработка одного из механизмов управления биотехносферой (Суздалева, 2014).

7.4. Инвазионный биотехногенез

Техногенная трансформация биосферы оказывает разнонаправленное воздействие на размеры области распространения отдельных видов, т.е. на их биологические ареалы.

Ареалы распространения многих видов под воздействием техногенеза сокращаются. Эти организмы не способны без специальных мер приспособиться к обитанию в природно-технических системах, возникающих на месте естественных экосистем.

В то же время обширный комплекс разнообразных организмов в результате техногенеза, напротив, смог расселиться в новые районы. Условия для развития некоторых видов в ПТС оказались даже более благоприятными, чем в естественной среде их обитания. Например, в ПТС могут отсутствовать

⁶⁴ Подобный подход отчасти уже реализуется в тех случаях, когда подбор биологических объектов при составлении планов озеленения городов и промышленных зон осуществляется с учетом существующего уровня загрязненности почв и атмосферного воздуха.

конкуренты и хищники. Нередко в них происходит образование новых легко доступных пищевых ресурсов, возникающих в результате выращивания сельскохозяйственных культур или образования свалок пищевых отходов. По этим причинам многие ПТС представляют собой объекты, в которые могут вселиться и найти условия для своего массового развития новые, ранее не встречавшиеся в этом регионе виды организмов.

В экологии проникновение и последующее развитие в каком-то регионе нового, ранее не обитавшего здесь вида обозначают термином **«биологическая инвазия»**. Еще в самых первых работах, посвященных систематическому изучению этих явлений, под этим понятием подразумевался комплекс разнородных процессов – от самостоятельного, без участия человека, расселения организмов, до их целенаправленной интродукции хозяйственно-ценных видов (Elton, 1958). Однако наиболее значимые последствия, причем не только экологические, но и экономические, имели неконтролируемые инвазии, происходящие в ходе различных форм человеческой деятельности (транспортных перевозок, гидротехнических систем, соединяющих водные бассейны, и др.). В связи с этим представляется целесообразным использование для их обозначения специального термина – **«техногенная инвазия»**, под которым подразумевается инвазия, происходящая благодаря осуществлению человеческой деятельности с применением техники, но не являющаяся целенаправленным мероприятием по вселению организма в новые для него местообитания (Суздалева и др., 2015).

Виды-вселенцы или **«инвайдеры»**, развиваясь в новых местообитаниях и вытесняя аборигенов, разрушают существовавшие биоценозы. По этой причине инвазиям нередко сопутствует снижение таксономического разнообразия (Алимов, Богуцкая, 2004). Некоторые из инвайдеров становятся вредителями сельского хозяйства, создают биологические помехи при эксплуатации технического оборудования. Наносимый такими видами экономический ущерб достигает огромных масштабов. Так, вселение в США

двустворчатого моллюска дрейссены, являющегося массовым видом-обрастателем в системах водоснабжения, нанесло убытки, ежегодно составляющие несколько сот миллионов долларов.

Иногда спровоцированное транспортными перевозками появление инвайдеров-вредителей приводило к социальным катастрофам. Из них наибольшую известность получил так называемый «великий голод в Ирландии» или «Ирландский картофельный голод». Эти события происходили в Ирландии в 1845 – 1849 годах. Их причиной стала гибель урожая картофеля, пораженного грибоподобным микроорганизмом фитофторой, привезенной на судах из Южной Америки вместе с посадочным материалом (Курсанов, 1923; Попкова, 1972). В XIX веке картофель уже превратился в одну из основных сельскохозяйственных культур Ирландии. Поэтому распространение фитофтороза, по разным оценкам, стало причиной смерти от голода от 500 тыс. до 1,5 млн человек. Еще более 1,5 млн человек было вынуждено эмигрировать. В результате к 1851 году население Ирландии сократилось на 30%.

На современном этапе техногенные инвазии вредителей сельского хозяйства являются фактором, усугубляющим мировой продовольственный кризис и ускоряющим темпы инфляционных процессов.

Экономический и экологический ущерб, наносимый биологическими инвазиями, обуславливает необходимость различных мер по их предотвращению. В 2004 году была принята «Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими». В 2012 году к ней присоединилась Российская Федерация. Однако предлагаемые меры в большинстве своем носят «карантинный» или «дезинфекционный» характер. Это либо создание дополнительных преград для распространения потенциальных инвайдеров, либо их уничтожение при обнаружении факта их вселения в новое местообитание (табл. 9). Иными словами, в этой сфере также господствует ограничительная парадигма. Разработанные на ее основе мероприятия дают лишь временный эффект. При сохранении «технической

возможности» расширить ареал своего распространения инвайдер будет постоянно осуществлять попытки освоить этот путь расселения. Его периодическое уничтожение в новом местообитании, как правило, проводится с помощью экологически опасных химических препаратов. Подобные меры, даже в случае успеха, способны предотвратить лишь единичные случаи расселения инвайдера. Причем возможности этого метода ограничены. Он применим в сельском и иногда в лесном хозяйстве. Борьба с инвазиями водных организмов таким образом нельзя. Поэтому, например, в отношении дрейссены специалистами было высказано мнение, что если в пригодном для ее обитания водном объекте этот вид в данный момент отсутствует, то его появление в нем, несмотря на предпринимаемые карантинные меры, – это лишь вопрос времени (Старобогатов, Андреева, 1994).

Условия внедрения инвайдеров в естественные экосистемы и в природно-технические системы существенно отличаются (Суздалева и др., 2015). В природной среде техногенная инвазия обычно происходит в форме преодоления вселенцем с помощью человека физико-географических барьеров – «импедитных преград». Внедрение нового вида-вселенца в экосистему в той или иной мере вызывает нарушение ее структуры, сложившейся в процессе ее естественной эволюции⁶⁵.

В отличие от этого техногенная инвазия в природно-технические системы – это внедрение нового вида в уже преобразованную человеком среду. Биота этой среды сложилась и существует в условиях ее техногенеза. Иными словами, это «техногенный процесс, происходящий на фоне техногенеза». Его результат можно обозначить как «вторичный биотический техногенез», т.е. вселение нового вида в сообщества, которые сами являются продуктом «первичного биотического техногенеза», в ходе которого

⁶⁵ В этой связи следует отметить, что процесс техногенной инвазии, с нашей точки зрения, представляет собой одну из форм техногенеза, а именно – разновидность биотического техногенеза. Следовательно, участок окружающей среды, в котором произошли подобные явления, уже можно считать техногенно трансформированным.

изначально существовавшая на данном участке биота уже подверглась изменениям. Так, насекомые-вредители сельского хозяйства распространяются в агробиоценозах, возникших на месте уничтоженных естественных экосистем и являющихся разновидностью природно-технических систем. Подобные случаи неправомерно рассматривать как распространение вида-вселенца в форме «внедрения» или «замещения». Это один из аспектов процесса формирования специфической технобиоты конкретной природно-технической системы.

Неконтролируемые изменения технобиоты представляют собой не меньшую опасность, чем техногенные инвазии в природной среде. Они могут не только нанести значительный экономический ущерб и вызвать нежелательное изменение экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки. Например, инвайдеры, создающие биопомехи в работе технических средств или способные вызвать биоповреждения материалов, создают условия для аварий на опасных производственных объектах.

По характеру экологического механизма среди техногенных инвазий можно выделить несколько отдельных видов (Суздалева и др., 2015):

1. Трансимпедитные техногенные инвазии, заключающиеся в транспортировке видов-вселенцев с помощью технических средств через непреодолимые (импедитные) преграды.

2. Базисно-трофические техногенные инвазии имеют двухступенчатый экологический механизм. Сначала искусственно создается кормовая база для будущего инвайдера. Именно этот фактор и обуславливает возможность последующей инвазии. До этого распространение вида-вселенца ограничивалось не импедитными преградами, а отсутствием необходимых пищевых ресурсов за пределами его ареала. Примером таких инвайдеров является перелетная саранча, мигрирующая далеко за пределы своего ареала по посевам сельскохозяйственных культур.

3. Креативно-биотопическая техногенная инвазия происходит при искусственном создании комплекса условий, пригодных для массового

развития какого-то организма. В отличие от предшествующего вида инвазий, пищевые ресурсы в данном случае играют второстепенную роль. На первое место выходят иные факторы, например тепловое загрязнение среды, являющееся необходимым условием техногенных инвазий термофильных организмов (Безносков, Суздалева, 2001в).

4. Техноклиматические инвазии связаны с развитием парникового эффекта, делающим возможным расширение ареалов некоторых видов. Очевидно, что техногенными инвазиями подобные явления можно считать только в случае принятия точки зрения, согласно которой наблюдающиеся глобальные климатические тренды являются продуктом техногенеза, а обширные участки окружающей среды, условия которых в результате данных процессов претерпели значительные изменения – участками глобальной природно-технической системы – биотехносферы.

5. Техногенная стимуляция патогенных организмов – особый вид инвазии, заключающийся в создании в природно-технических системах условий для распространения возбудителей заболеваний человека, животных и растений. Образование людских поселений и накопление в окружающей среде продуктов их жизнедеятельности всегда являлось фактором ухудшения санитарно-эпидемиологической обстановки. Патогенные организмы, развивающиеся в подобных условиях, можно рассматривать как компоненты урбобиоты, а их распространение по цепи взаимосвязанных урбосистем – как особый вид техногенных инвазий. Сюда же можно отнести и явление **«вторичного роста патогенных микроорганизмов»**, т.е. их размножение вне организма-хозяина в условиях техногенного подогрева среды, например, в водоемах-охладителях АЭС (Суздалева и др., 1999; Суздалева 1996; 2001; 2002). Аналогичные явления наблюдаются и при эксплуатации градирен, когда с потоками теплого влажного воздуха из них в атмосферу поступают аэрозоли с болезнетворными микроорганизмами. Еще большую опасность в этом плане представляют собой объекты микробиологического производства.

Очевидно, что за исключением трансимпедитных техногенных инвазий, все остальные из перечисленных выше явлений происходят не в естественной, а техногенно трансформированной среде. Иными словами, во всех этих случаях внедрение инвайдеров происходит не в экосистемы, а в природно-технические системы. Полное предотвращение этих явлений, как правило, представляет собой нереальную задачу. Вместе с тем управление ПТС дает возможность смягчить негативные последствия базисно-трофических, креативно-биотопических, техноклиматических инвазий, а также техногенной стимуляции патогенных организмов (табл. 9). Данная деятельность рассматривается нами как управление техногенными инвазиями, что, в свою очередь, представляет собой один из элементов управления природно-техническими системами.

Меры по управлению процессами инвазионного биотехногенеза неминуемо будут носить принципиально различный характер. Например, одной из причин базисно-трофических миграций является образование свалок. В данном случае эффективной мерой является ускорение работы технологической цепочки сбора и утилизации бытовых отходов, а также ее совершенствование, делающее недоступными эти ресурсы для потребления организмами.

Участки, потенциально пригодные для техногенной стимуляции патогенных организмов, должны быть своевременно выявлены. После чего необходимо осуществление инженерно-технических мероприятий, исключающих неконтролируемое распространение из них патогенных микроорганизмов.

При работе с креативно-биотопическими и техноклиматическими инвазиями прежде всего необходим непредвзятый анализ их экологических и социально-экономических последствий. Многие из них неизбежны, как неизбежно распространение техногенеза окружающей среды и глобальные климатические изменения. Поэтому основная работа в этом направлении должна осуществляться в целенаправленном формировании технобиоты,

вред от включения в состав которой инвайдеров был бы минимален. В наибольшей степени негативные последствия вселения нового вида проявляются на первых этапах освоения им новой среды. В этой связи следует вспомнить о классической схеме развития популяции инвайдеров, предложенной Л.А. Зенкевичем (1940). После первой фазы малозаметного развития обычно наступает вторая фаза чрезвычайно бурного размножения («вспышка развития»), что обуславливается в основном отсутствием в новом ареале естественных врагов. Когда в результате массового развития происходит полное освоение ресурсов нового местообитания, наступает 3-я фаза – фаза замедления темпов роста численности инвайдера. После этого некоторое время вид-вселенец может существовать при тех же высоких показателях плотности (4-я фаза). В это время его негативное воздействие на биологические сообщества и экономический вред достигают максимума. На пятой фазе происходит сначала слабое уменьшение численности популяции, а когда на 6-й фазе появляются естественные враги, наблюдается резкое снижение численности популяции. В 7-й фазе темп снижения замедляется и, наконец, в 8-й фазе она устанавливается на некотором более или менее длительно постоянном уровне, который, как правило, многократно ниже, чем на 3–4-й фазах.

Первые 7 фаз этой схемы Л.А. Зенкевич называл периодом освоения, а 8-ю фазу – периодом стабилизации. В этот период происходит не только стабилизация численности инвайдера, но и стабилизация биологических сообществ, в состав которых он включился.

Описанная выше схема может быть скорректирована путем вселения биологических врагов инвайдера при получении информации о его появлении⁶⁶. Как правило, мониторинг окружающей среды позволяет получить такие данные на второй фазе, когда началось интенсивное размножение вселившегося вида. Но своевременное вселение его биологического врага позволяет перевести процесс развития вселенца из

⁶⁶ Подобные меры мы также рассматриваем как одну из форм биотического техногенеза.

второй фазы в восьмую, минуя периоды его вспышки численности, наносящие максимальный экологический и экономический ущерб. Примером может служить вселение в Курчатовское водохранилище, использующееся как водоем-охладитель Курской АЭС, черного амура – вида рыб, основу питания которого составляют моллюски. Это мероприятие, осуществленное после появления в данном водном объекте дрейссены, привело к многократному снижению численности моллюсков в большинстве участков акватории (Попов, 2002).

Но биологическая борьба с инвайдерами путем интродукции других инвайдеров может иметь нежелательные побочные эффекты, которые необходимо оценивать, прежде чем реализовывать подобные планы. Например, нами при проведении в тот же период биолого-химического мониторинга Курчатовского водохранилища было установлено, что черный амур также нанес значимый урон популяциям беззубок и перловиц. Однако черный амур является теплолюбивой формой, расселение которой за пределы постоянно искусственно подогреваемого водоема-охладителя невозможно. Поэтому в данном случае экологическая опасность побочных эффектов от появления еще одного инвайдера носила локальный характер.

Таким образом, ***управление процессом инвазионного биотехногенеза должно включать:***

- ✓ прогноз и мониторинг техногенных инвазий;
- ✓ своевременное включение в состав технобиоты видов организмов, способных стабилизировать численность инвайдера на уровне, минимизирующем возможные ущербы;
- ✓ создание условий, при которых вселение нового вида может иметь позитивные последствия. Например, некоторые теплолюбивые виды рыб становятся в новых местообитаниях объектом промысла.

Управление природно-техническими системами в плане работы с инвайдерами преследует две различные цели:

- ❖ Контролирование процесса включения инвайдеров в биологические сообщества с минимальным экологическим и экономическим ущербом.
- ❖ Своевременная, основанная на данных мониторинга и прогноза техногенных инвазий, разработка инженерно-технических мер по возможной локализации и уничтожению инвайдеров, появление и развитие которых создает угрозу для здоровья человека или может нанести значимый экологический и экономический вред. Прежде всего это относится к техногенной стимуляции патогенных организмов, а также распространению опасных видов в результате техноклиматических инвазий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биосфера Земли в настоящее время находится в процессе техногенной трансформации, разрушающей все составляющие ее структурные элементы и нарушающей баланс связей, обеспечивавших их системное взаимодействие. Как свидетельствуют материалы монографии, глобальный техногенез характеризуется высокой динамичностью и многоплановостью. Формирующаяся на наших глазах биотехносфера, в отличие от биосферы, не является стабильной системой. Уже достаточно отчетливо обозначились основные направления ее деградации, некоторые из которых уже приняли практически необратимый характер, как, например, деградация почвенного покрова или урбанизация обширных территорий, еще в недалеком прошлом занятых естественными экосистемами.

Все более актуальным становится вопрос: что же необходимо предпринять для сохранения биоразнообразия еще сохранившихся экосистем и обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человечества, численность которого неуклонно возрастает? В данной проблеме изначально заложено внутреннее противоречие. Именно человек, стремясь обеспечить для себя наиболее благоприятные условия жизни, в течение многих веков оказывал разрушающее воздействие на все новые и новые участки природной среды. Негативный характер экологических последствий своей деятельности человек осознал еще в глубокой древности. Именно тогда и зародилась ограничительная парадигма природоохранной деятельности. Первоначально она проявлялась в форме организации заповедных охотничьих угодий для различных властителей. Впоследствии она развилась в законодательно закрепленные системы запретов на загрязнение среды и ограничений в характере использования природных ресурсов.

Данная парадигма господствует в природоохранной деятельности и в настоящее время. На ее основе была создана распространившаяся в научном сообществе иллюзия о возможности разделения среды обитания на

отделенные друг от друга ограничительными барьерами «техносферу» и «экосферу». То есть создание некоего островка или системы островков экологического благополучия, сосуществующих с деградирующим под воздействием избыточной техногенной нагрузки остальным пространством окружающей среды. Но в биотехносфере, как и в любой другой системе, деградация одних элементов неотвратимо скажется на всех остальных. По этой причине возможности ограничительной парадигмы во многих аспектах уже исчерпаны. Так, островки экосферы нельзя защитить от негативного воздействия гидрометеорологических флуктуаций, порожденных парниковым эффектом, и глобального загрязнения воздушной среды.

Обсуждая вопрос о техногенной трансформации планетарной экосистемы, необходимо также вспомнить и о том, что опасность представляет не только само по себе ухудшение глобальной экологической ситуации, но и развитие тесно связанного с этим процессом комплекса уже проявляющихся мировых социально-экологических кризисов: продовольственного, водопотребления и перенаселения.

Все это обуславливает необходимость смены парадигмы природоохранной деятельности. Ограничительная парадигма должна уступить приоритет креативной. При этом следует еще раз подчеркнуть, что в данном случае это не означает отказа от ограничительных мер, а лишь перемену видения основного пути дальнейшего развития.

Креативная парадигма предполагает активное вмешательство в процессы техногенеза окружающей среды с использованием всего имеющегося арсенала инженерно-технических средств. Основным методом в данном случае является создание природно-технических систем (ПТС) различного вида. Дальнейшее развитие биотехносферы в соответствии с креативной парадигмой должно осуществляться методом восходящего проектирования и включать следующие этапы:

✓ создание локальных ПТС, задачей которых является стабилизация благоприятных экологических условий или активное предотвращение

негативных последствий техногенеза на ограниченной территории или акватории;

- ✓ постепенное объединение локальных ПТС в региональные с включением в их структурно-функциональную организацию в качестве отдельных элементов «сохранившихся экосистем»;
- ✓ формирование иерархии ПТС, постепенно заменяющих иерархию слагавших биосферу экосистем;
- ✓ создание глобальной ПТС в виде управляемой биотехносферы, способной обеспечить на практике провозглашенный ООН принцип «устойчивого развития» человеческой цивилизации.

Очевидно, что реализация идей, заложенных в креативной парадигме природоохранной деятельности, будет носить длительный и во многом противоречивый характер. Создание управляемой биотехносферы – это построение новой системы, а не попытка сохранить деградирующую биосферу. Реализация этой идеи невозможна без междисциплинарного подхода к решению проблем. Для решения многих задач потребуется выработка компромиссных решений, основанных на развитии синкретического мышления у специалистов различных областей.

В настоящее время креативная парадигма находится на самых первых стадиях своего становления. Разработка системного управления биотехносферой – это задача будущего. В монографии же обсуждаются лишь некоторые из аспектов управления основными элементами биотехносферы, направленные на решение отдельных наиболее актуальных проблем (табл. 10). Степень их обоснованности и возможности практического использования на современном этапе существенно различны.

Механизмы управления основными элементами биотехносферы

Элемент биотехносферы	Объект управления	Механизм управления	Ожидаемый результат	Современный уровень состояния проблемы
<i>Атмосфера</i>	Парниковый эффект	Создание управляемых ПТС, регулирующих сток избытка парниковых газов	Управление балансом процессов эмиссии и стока парниковых газов	Создание технической концепции
	Разрушение озонового слоя	Ингибирование процессов разрушения озона в стратосфере	Управление балансом процессов синтеза и распада озона в стратосфере	Выдвижение научной идеи
	Глобальное загрязнение атмосферы	Создание управляемых ПТС, регулирующих уровень дисперсного загрязнения воздуха	Устойчивое сохранение качества воздушной среды	Создание технической концепции
<i>Гидросфера</i>	Истощение водных ресурсов	Создание управляемых ПТС межрегионального перераспределения ресурсов пресной воды	Управление балансом процессов пополнения ресурсов пресной воды и их расхода	Развитие научной идеи
	Зарегулирование речного стока	Использование объектов гидроэнергетики как экологических регуляторов управляемых ПТС регионального масштаба	Устойчивое развитие обширных регионов на основе управления условиями окружающей среды	Внедрение в практику
	Нарушение стратификации Мирового океана	Создание управляемых ПТС на участках техногенного подъема глубинных вод	Создание механизма управления региональными и глобальными климатическими процессами	Выдвижение научной идеи

Продолжение таблицы 10

Элемент биотехносферы	Объект управления	Механизм управления	Ожидаемый результат	Современный уровень состояния проблемы
<i>Педосфера</i>	Эрозия почв	Агротехнические и мелиоративные мероприятия как функция управляемых ПТС	Контролирование интенсивности процессов водной и ветровой эрозии	Создание технической концепции
	Истощение почв	Сохранение и восстановление плодородия почв в зонах влияния управляемых ПТС	Устойчивое сохранение почв на основе моделей управления почвенного плодородия	Создание технической концепции
	Урбанизация почвенного покрова	Управление состоянием почвенного покрова как элементом урбосистемы	Максимально возможная реализация экологических функций почвенного покрова на урбанизированных территориях	Создание технической концепции
<i>Литосфера</i>	Ресурсная экологическая функция литосферы	Создание управляемых ПТС, обеспечивающих рациональное использование ресурсов и их частичное восполнение	Стабилизация состояния ресурсной базы, необходимой для устойчивого развития	Разработка проектов
	Геодинамическая, геохимическая и геофизическая экологические функции литосферы	Системный подход к контролю нарушений экологических функций на основе создания региональных управляемых ПТС	Недопущение нарушений экологических функций литосферы	Развитие научной идеи

Окончание таблицы 10

Элемент биотехносферы	Объект управления	Механизм управления	Ожидаемый результат	Современный уровень состояния проблемы
Живое вещество	Биоразнообразие	Контроль процессов биотехногенеза при создании управляемых ПТС	Постоянное и систематическое контролирование угроз биоразнообразию	Разработка проектов
	Урбанизационный биотехногенез	Системное формирование урбобиоты как элемента управляемой ПТС (урбосистемы)	Функционирование урбосенотозов как механизмов управления условиями среды, а в перспективе – как механизмов управления биотехносферой	Развитие научной идеи; выдвижение научной идеи
	Инвазионный биотехногенез	Управление техногенными инвазиями как элемент управления ПТС	Контролируемое включение инвайдеров в биологические сообщества. Локализация и уничтожение опасных инвайдеров.	Развитие научной идеи

Обобщить эти материалы можно опираясь на схему развития и реализации научных идей, включающую следующие этапы:

- ✓ выдвижение научной идеи, т.е. формулирование новой проблемы, требующей решения, или предложение нового пути решения уже существующей проблемы;
- ✓ развитие научной идеи, обоснование целесообразности ее дальнейшего развития и ее углубленной разработки по одному или нескольким направлениям;
- ✓ создание технической концепции, воплощающей научные идеи в инновационные инженерно-технические решения;
- ✓ разработка проектов, включающих инженерно-технические решения;
- ✓ внедрение в практику путем создания (реконструкции) объектов, при которых была использована новая научная идея и разработанные на ее основе инженерно-технические решения.

В соответствии с этой схемой можно оценить уровень современного развития рассмотренных в монографии идей.

СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

Агробиота – совокупность видов организмов, населяющих участки сельскохозяйственной деятельности. Разновидность технобиоты.

Биогены (биогенные элементы; биофильные элементы) – химические элементы, содержание которых в среде определяет уровень биопродуктивности растений.

Примечание. Наибольшее значение имеют фосфор и азот в форме доступных для растений соединений (фосфатов и нитратов).

Биообрастание – возникновение на поверхности и внутри контактирующих с водой технических объектов сообществ прикрепленных организмов.

Примечания:

1. Сообщества обрастания представляют собой один из видов техноценозов.

2. Биообрастание – это одна из главных причин возникновения биопомех при эксплуатации оборудования в водной среде.

Биопомехи – затруднения в работе различных инженерно-технических объектов, прямо или косвенно обусловленные жизнедеятельностью живых организмов.

Биоповреждения – различные виды разрушения или нежелательного изменения свойств материалов, вызванные жизнедеятельностью живых организмов.

Биотехногенез – процесс техногенной трансформации биологического компонента биосферы (живых организмов и биологических систем).

Биотехносфера – состояние биосферы Земли, условия в которой формируются при значимом воздействии техногенных факторов.

Примечание. Под структурно-функциональной организацией биотехносферы мы подразумеваем комплекс материальных тел (структурных элементов данной системы), связанных в единое целое вещественными и энергетическими потоками (функциональными связями).

Восходящее проектирование – создание отдельных объектов, изначально предназначенных для последующего объединения в единую систему.

Глобальный техногенез – вид техногенеза, при котором в качестве зоны его проявления рассматривается планета в целом, т.е. Земля, включая околоземное космическое пространство.

Примечание. Примерами отдельных аспектов глобального техногенеза могут служить «парниковый эффект», разрушение озонового слоя, изменение изотопного состава атмосферы.

Инвайдеры – виды, вселяющиеся в новые для них участки окружающей среды.

Искусственный апвеллинг – осуществляемый в ходе различных видов человеческой деятельности подъем к поверхности водного объекта холодных и богатых биогенами глубинных вод

Креативная парадигма природоохранной деятельности – мировоззренческая позиция, в соответствии с которой охрана окружающей среды должна основываться на создании управляемых природно-технических систем, обеспечивающих устойчивое сохранение благоприятной экологической ситуации.

Примечание. Креативная парадигма допускает активное воздействие человека на природные процессы и их целенаправленное корректирование.

Креативный техногенез – вид техногенеза, при котором в ходе человеческой деятельности возникает новый природно-техногенный объект с целенаправленно формируемыми благоприятными экологическими условиями.

Культуробиота – совокупность видов организмов, населяющих резорты. Разновидность технобиоты.

Мобильные водные ресурсы (МВР) – объем вод, переброска которого за пределы речного бассейна ликвидирует угрозу нанесения экономического и экологического ущербов в результате наводнений

Ноосфера – гипотетическое состояние биосферы, непосредственно управляемой научной мыслью.

Ограничительная парадигма природоохранной деятельности – мировоззренческая позиция, в соответствии с которой охрана окружающей

среды заключается в мерах по ее изоляции от неблагоприятных техногенных воздействий или хотя бы их ограничения.

Примечание. В соответствии с ограничительной парадигмой человечество должно стремиться к минимизации воздействия на естественный ход природных процессов.

Озоновая дыра – локальное уменьшение концентрации озона в озоновом слое Земли.

Озоновый слой – слой атмосферы с повышенным содержанием озона, расположенный в верхних слоях атмосферы (в стратосфере). В нем задерживается значительная часть ультрафиолетового излучения, идущего от Солнца, что обеспечивает саму возможность существования жизни на поверхности планеты.

Парадигма – в сфере научной деятельности – это совокупность убеждений, мировоззренческих позиций и методологических основ решения проблем, принятых в рамках устоявшейся научной традиции в той или иной области в определенный период времени.

Парниковый эффект – повышение температуры приземных слоев атмосферы в результате поглощения в них длинноволнового (инфракрасного) излучения, исходящего от нагреваемой Солнцем земной поверхности. Это происходит благодаря наличию в воздушной среде ряда веществ, которые называют парниковыми газами, основными из которых считаются диоксид углерода и метан.

Природно-техническая система (ПТС) – любая совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, состояние и функционирование которых взаимосвязаны и/или взаимозависимы.

Примечание. Состояние управляемых ПТС постоянно регулируется экологическими регуляторами с целью поддержания в них безопасных условий для жизнедеятельности человека и благоприятной экологической ситуации.

Резорт – участок, использующийся для массового отдыха.

Примечание.

1. Резорты могут быть неорганизованными (возникшими стихийно) и организованными.

2. В отличие от курорта, резорт может иметь небольшие размеры (поляна для пикников, сквер и т.п.) и не нести оздоровительной функции.

Сохранившиеся экосистемы – экосистемы, структурно-функциональная организация которых еще не претерпела принципиальных изменений в условиях глобального техногенеза.

Стейкхолдеры – любые лица, группы или организации, которые могут воздействовать на осуществляемую деятельность или, напротив, сами испытывать ее воздействие.

Технобиота – совокупность видов организмов (микроорганизмов, растений и животных), населяющих техногенные и природно-техногенные объекты.

Примечание. Разновидностями технобиоты являются урбобиота, агробиота и культуробиота.

Техногенез – процесс трансформации окружающей среды, прямо или косвенно обусловленный различными техногенными воздействиями, связанными с функционированием отдельных хозяйствующих субъектов и их комплексов, а также с существованием бесхозных, недействующих объектов.

Техногенные воздействия – См. **Техногенные факторы (воздействия)**.

Техногенные образования – материальные объекты, возникшие как побочные продукты технической деятельности.

Техногенные объекты – материальные объекты, образовавшиеся как продукты целенаправленной технической деятельности.

Техногенные факторы (воздействия) – любые воздействия на окружающую среду, прямо или косвенно обусловленные технической деятельностью.

Техносфера – совокупность техногенных объектов и участков, подвергшихся коренному преобразованию в процессе производственной деятельности.

Примечание. Техносферу можно рассматривать как совокупность участков биотехносферы, в которых процессы техногенеза окружающей среды и вызванная ими ее деградация достигли своего наивысшего развития.

Техноценоз – биологическое сообщество, сформировавшееся на основе инженерно-технического объекта или системы.

Примечание. Примерами техноценозов являются биообрастания и урбоценозы.

Урбоценоз – биологическое сообщество, сформировавшееся на урбанизированной территории. Разновидность техноценоза.

Урбобиота – совокупность видов организмов, населяющих урбанизированные территории. Разновидность технобиоты.

Экологическая оптимизация – модернизация режима работы технических объектов и инженерно-технических систем, а также и их конструктивно-компоновочных особенностей, усиливающих значимость позитивных аспектов техногенеза при одновременном снижении негативных.

Примечание. Экологическая оптимизация осуществляется с целью создания экологического регулятора и управляемой ПТС, формирующейся на его основе.

Экологический регулятор – инженерно-технический объект, работа которого обеспечивает управление состоянием природно-технической системы.

Примечание. Экологическим регулятором может являться группа скоординировано работающих инженерно-технических объектов, а также систематически проводимые мероприятия (вывоз мусора и т.п.).

Экосфера – часть биосферы, не испытавшая значимой техногенной трансформации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Авакян А.Б. Наводнения. Концепция защиты // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 5. С. 40–46.

Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Майрановский Ф.Г. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. №2. С. 144–153.

Авакян А.Б., Литвинов А.С., Ривьер И.К. Опыт 60-летней эксплуатации Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. №1. С. 5–16.

Авакян А.Б., Подольский С.А. К вопросу о влиянии водохранилищ на животных // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. №2. С. 141–151.

Авилова И.В., Корбут В.В., Фокин С.Ю. Урбанизированная популяция водоплавающих (*Anas platyrhynchos*) г. Москвы. М.: Изд. МГУ, 1994. 175 с.

Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его изменения. С-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. 288 с.

Алексеев А.С. Глобальные биотические кризисы и массовые вымирания в фанерозойской истории Земли // Биотические события на основных рубежах фанерозоя. – М.: Изд. МГУ, 1989. – С.22–47.

Алексеев А.С., Бадюков Д.Д., Назаров М.А. Граница мела и палеогена и некоторые события на этом рубеже. // Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. – Л.: Наука, 1990. – С.8–24.

Алексеев В.А., Дожингер Л.С. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение // Лесоведение. – 1981. – № 5. –С. 64–71.

Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г. Под ред. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. – М.: Товарищество научных изданий КМК. 2004. –436 с.

Альварес У., Азаро Ф. Удар из космоса. // В мире науки. 1990. №12. С.32–39.

Анисимов О.А., Лавров С.А., Ренёва С.А. Оценка изменения эмиссии парниковых газов из многолетнемерзлых болот криолитозоны России в условиях глобального потепления // Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – С. 114–138.

Апплби Л.Дж., Девелл Л., Мишра Ю.К., Войс Э.Х. Источники // Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Мир после Чернобыля. – М.: Мир, 1999. – С.13–55.

Асарин А.Е. Новое в водохозяйственном проектировании и современные требования к охране окружающей среды // Теория и методы управления ресурсами суши. – М.: Наука, 1982. – С.89–85.

Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водно-энергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.

Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза. – М.: Мир, 1978. – 463 с.

Ахмедов Р.Б. Возобновляемые горючие энергоресурсы океанов и морей. // Техничко-экономические и экологические аспекты использования энергии океана. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1985. – С.35–40.

Бадяев В.В., Егоров Ю.А., Казаков С.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. – М.: Атомэнергоиздат, 1990. – 224 с.

Безносков В.Н. Нарушение гидрологической структуры морских водоемов как причина экологических катастроф в настоящем, будущем и ... в прошлом // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 3. М.: ПИН РАН, 1998а. С.55–59.

Безносков В.Н. Крупномасштабное нарушение гидрологической структуры океана как стартовое событие биотического кризиса. // Докл. РАН. 1998б. Т.361. №4. С. 562–563.

Безносков В.Н. Крупномасштабные нарушения гидрологической структуры океана, биотические кризисы и их фиксация в геологической летописи // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2000а. Т.8. №3. С.3–13.

Безносков В.Н. Экологические последствия нарушения стратификации моря // Автореф. док. диссертации. 11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов (по биол. наукам). – М.: МГУ, 2000б. – 42 с.

Безносков В.Н. Экологические последствия эксплуатации глубинных водозаборов // Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. Вып. 12. – М.: Изд. ОАО «НИИЭС», 2003. – С.418–428.

Безносков В.Н., Горюнова С.В., Колесникова Е.Л., Суздалева А.А. Эволюция малых городских водных объектов и выбор историко-экологического прототипа для проектов их обустройства // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2006. №2(14). С.36–42.

Безносков В.Н., Горюнова С.В., Кучкина М.А., Попов А.В., Седакин В.П., Суздалева А.А. Экологическая оптимизация гидротехнических сооружений: основные направления и концептуальные принципы // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2007. №4. С.41–53.

Безносков В.Н., Железный Б.В. Критический объем нарушения стратификации океана способного вызвать крупномасштабное изменение баланса продукционно-деструкционных процессов и биогеохимического цикла углерода. // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы Вып.4. М.: Изд-во ПИН РАН, 2000. С.87–92.

Безносков В.Н., Никитенков Б.Ф., Железный Б.В., Суздалева А.Л., Пшеничный Б.П. Искусственный рециклинг биогенов путем утилизации глубинных вод в морских и континентальных водоемах // Природообустройство и экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации. М.: Изд. Московского гос. ун-та природообустройства, 1999. С.63–64.

Безносков В.Н., Родионов Б.В., Суздалева А.Л. Формирование экологического имиджа промышленных объектов // Экология производства. 2007. №1 (30). С.22–26.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Воздействие подъема глубинных вод на зоопланктон и личинок рыб поверхностного слоя моря // Океанология. 2001а. Т.41. №6. С.870–873.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Понижение температуры поверхностного слоя водоемов как вид термального загрязнения среды // Водные ресурсы. 2001б. Т.28. №4. С.438–440.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Экзотические виды фитобентоса и зообентоса водоемов-охладителей АЭС как биоиндикаторы теплового загрязнения // Вестник МГУ. Серия 16 Биология. 2001в. №3. С.27–31.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Возможные изменения водной биоты в период глобального потепления климата // Водные ресурсы. 2004. Т.31. №4. С.498–503.

Безносков В.Н., Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Дестратификационное загрязнение среды // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998/1999. №3. С.85–90.

Берлянд М.Е., Кондратьев К.Я. Города и климат планеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 39 с.

Благосклонов К.Н., Буданова Л.А. Птицы г. Москвы, их охрана и привлечение // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов Московской области. М.: Московский филиал Географического общества СССР, 1977. С.104–105.

Болгов М.В., Фролова Н.Л. Водный режим реки Аргунь и озера Далайнор в условиях антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2012. №4. С.21–29.

Большая Волга: проблемы и перспективы. – М., Ульяновск: Мейкер, 1994. – 215 с.

Будыко М.И. Некоторые пути воздействия на климат. «Метеорология и гидрология», 1962, № 2. С.3–8.

Будыко М.И. Глобальная экология. – М.: Мысль, 1977. – 327 с.

Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. – М.: Гидрометеиздат, 1986. –160 с.

Буторин Н.В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. – Л.: Наука, 1969. – 322 с.

Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 62–71.

Вернадский В.И. Избранные сочинения. – М.: АН СССР, 1960. Т. 4. –651 с.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 2001. – 376 с.

Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера.– М.: Айрис-пресс,2012.– 576 с.

Виноградов М.Е. Современные тенденции изменения экосистемы Черного моря // Вестник АН СССР. 1987. №10. С.56–67.

Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. – М.: Наука, 1970. – 220 с.

Вода для продовольствия. Вода для жизни. Комплексная оценка управления водой в сельском хозяйстве // Международный Институт Управления Водой. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute, 2007. 56 с. /<http://www.earthscan.co.uk>

Вода России. Социально-экологические водные проблемы / Под науч. ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2000. –364 с.

Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду. – М: Наука, 1986. – 367 с.

Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии // Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ [WHO]), Publications WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2013, 20 с. /<http://www.euro.who.int/PubRequest?language=Russian>

Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 192 с.

Волшаник В.В., Пешнин А.Г., Родионов В.Б., Юрченко А.Н., Амирова Н.Н., Доркина И.В. Инженерные пути решения проблемы улучшения экологического состояния прудов и малых рек // Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. Вып. 12. ОАО "НИИЭС". М.:2003. С.367–377.

Волшаник В.В., Суздалева А.А. Классификация городских водных объектов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. –112 с.

Воробьева Л.Б., Степанова С.А. Физико-химические процессы в техносфере: учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 115 с.

Всемирная метеорологическая организация. Наш будущий климат. ВМО. № 952. Женева, Швейцария, 2003. – 37 с.

Глобальная экологическая перспектива: ГЕО-4, Программа ООН по окружающей среде, 2007. 572 с. /<http://www.unep.org>

Гершанович Д.Е. Экологическая роль искусственных рифов в море. // Искусств. рифы для рыбн. хозяйства. Тез. докл. Всесоюзн. конф. М.: 1987. С.10–13.

Глобальные факторы риска для здоровья. Смертность и бремя болезней, обусловленные некоторыми основными факторами риска. Всемирная организация здравоохранения, 2015 г. 70 с. (<http://www.who.int>).

Говорушко С.М., Горбатенко Л.В. Трансграничное водопользование в бассейне р. Амур // Вестник ДВО РАН. 2013. №2. С.74–83.

Горюнова С.В. Закономерности процесса антропогенной деградации водных объектов. Дисс. докт. биол. наук. – М.: МГУ, 2006. – 322 с.

Горюнова С.В. Роль видеоэкологии в создании безопасной образовательной среды // Безопасность и образование: качество, эффективность, перспективы. Сб. научных статей Региональной научно-практ. конф. – МГПУ, 2009. 210с. – С.162–167.

Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Сельскохозяйственные науки. 2002. №8. С.10–16.

Горюнова С.В., Суздалева А.Л. Общая схема развития процесса антропогенной деградации водных объектов // Материалы IX Международной научно-практической конференции: «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени» (Россия, г.Екатеринбург, 16-17.05.2015) Национальная ассоциация ученых (НАУ), ежемесячный научный журнал, № 4 (9). 2015, Ч. 2. – С.92–95.

Гофман В.Р. Экологические и социальные аспекты безопасности жизнедеятельности. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 547 с.

Грановская Н.В., Наставкин А.В., Мещанинов Ф.В. Техногенные месторождения полезных ископаемых. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013. – 93с.

Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. – М.: Айрис-пресс, 2007. – 560 с.

Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. – М.: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. – 88 с.

Данилов-Данильян В.И., Арский Ю.М., Вяхирев Р.И., Залиханов М.Ч., Кондратьев К.Я., Лосев К.С. Экологический энциклопедический словарь. –М.: Издательский дом «Ноосфера», 2002. – 930 с.

Данилов-Данильян В.И., Горшков В.Г., Арский Ю.М., Лосев К.С. Окружающая среда между прошлым и будущим: мир и Россия. – М.: Космоинформ, 1994. – 133 с.

Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

Даценко Ю.С. Оценка влияния каскада Волжских водохранилищ на среднесуточный вынос фосфора в Каспий // Водные ресурсы. 2002. Т.29. С.636–638.

Добровольский Г.В. География и палеогеография коры выветривания СССР. – М.: Мысль, 1969. – 277 с.

Добровольский Г.В. Под ред. Деградация и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

Добровольский Г.В. Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. 2008. №2. С. 192–203.

Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. – М.: ГЕОС, 2010. – 190 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). – М.: Наука, 1990. – 261 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Учение об экологических функциях почв. – Москва: Изд-во МГУ, 2006. – 365 с.

Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.

Дьяков С.А., Жоголев Н.А. Особенности формирования зон дефицита общего содержания озона в атмосфере над районом города Воронеж // Гелиофизические исследования. 2014. Вып. 9. С. 35–39.

Елдышев Ю.Н. Парниковые газы: эффекты и проекты // Экология и жизнь. 2009. № 9(94). С.48–56.

Елохина С.Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 187 с.

Ершов Э.Д. Под ред. Основы геокриологии. Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 768 с.

Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984. – 205 с.

Заварзин Г.А. Цикл углерода в природных экосистемах России // Природа. 1994. № 7. С. 15–18.

Заварзин Г.А. Какосфера. Философия и публицистика. – М.: Ruthenica, 2011. – 460 с.

Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. – М.: Научный мир, 2001. – 328 с.

Земляницкий Л.Т., Полтавская И.А., Желдакова Г.Г. Подготовка городских почво-грунтов для озеленения. – М.: 1962. – 30 с.

Зенкевич Л.А. Об акклиматизации в Каспийском море новых кормовых (для рыб) беспозвоночных и теоретические к ней предпосылки. // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1940. Т.39. Вып. 1. С.18–30.

Иванов А.Н., Неговская Т.А. Гидрология и регулирование стока. – М.: Колос, 1979. – 205 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.

Израэль Ю. А., Груза Г. В., Катцов В. М., Мелешко В. П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. 2001. №5. С. 5–21.

Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наук думка, 1978. – С. 246.

Илькун Г.М. Отфильтрование воздуха от поллютантов древесными растениями // Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. – Таллин: АН ЭССР, 1982. – С. 135–138.

Ильминских Н.Г. Обзор работ по флоре и растительности городов // Географический вестник. 2011. №1. С. 49–65.

Исидоров В.А. "Озоновый кризис" и возможные экологические последствия его разрешения // Российский химический журнал. 2001. Т.45. №1. С.43–54.

Карасева Е. В., Куликов В. Ф., Мелкова В. К. и др. Экологические формы млекопитающих крупного города на примере Москвы // Экологические исследования в Москве и Московской области: Животный мир. – М.: Наука, 1995. – С. 71–96.

Карнаухов А.В. К вопросу об устойчивости химического состава атмосферы и теплового баланса Земли // Биофизика. 1994. Том 39. Вып.1. С. 148–154.

Кароль И.Л., Решетников А.И., Махоткина Е.Л., Парамонова Н.Н., Покровский О. М. Изменения содержания парниковых газов и аэрозоля в атмосфере и их влияние на климат // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том I. Изменения климата. Росгидромет, 2008. С.88–111.

Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

Киселев А.А., Решетников А.И. Метан в российской Арктике: результаты наблюдений и расчетов // Проблемы Арктики и Антарктики, 2013. №2(96). С.5–15.

Клауснитцер Б. Экология городской фауны. – М.: Мир, 1990. – 246 с.

Ковалева Г.В., Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В., Майорова Л.П., Матвеевко Т.И., Семаль В.А., Морозова Г.Ю. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах. – Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. – 159 с.

Ковда В.А., Розанов Б.Г. Под ред. Почвоведение. Ч. 1. Почва и почвообразование. – М.: Высшая школа., 1988. – 400 с.

Кожевников Г.П. Промысловые рыбы Волжско-Камских водохранилищ // Изв. ГосНИОРХ. 1978. Т.138 Водохранилища Волжско-Камского каскада и их рыбохозяйственное значение. С. 30-45.

Кокорин А.О. Изменение климата: Обзор состояния научных знаний об антропогенном изменении климата. – М.: РРЭЦ, GOF, WWF-России, 2005. – 20с.

Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.

Кокорин А. О., Бердин В. Х., Грицевич И. Г., Федоров Ю. Н. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс: Справочное пособие. – М: WWF-России, 2004. – 136 с.

Кондратьев К.Я., Донченко В.К. Экодинамика и геополитика. Т.1. Спб.: РФФИ, 1999. 1032 с.

Коробков В.А. Экологические аспекты энергетики океана. // Техникоэкономические и экологические аспекты использования энергии океана. – Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР. 1985. – С. 3–14.

Корчагин В.В., Корчагина Г.В. Современная экология. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. –158 с.

Кузнецов А.П., Троцюк В.Я. О масштабах бассейновых "захоронений" органического вещества в морских осадках // Известия РАН. Сер. биол. 1995. N5. С.606–611.

Кун Т. Структура научных революций. – М.: АСТ, 2015. – 320 с.

Курбатова А.С., Башкин В.Н. Отв. ред. Экологические функции городских почв. – М.: Смоленск: Маджента, 2004. – 232 с.

Курсанов Л.И. История и современное состояние изучения *Phytophthora infestans de Bary* // Тр. секции по микологии и фитопатологии Русского ботанического об-ва, 1923. С. 107–116.

Куртийо В.Э. Вулканическое извержение // В мире науки. 1990. №12. С.39–47.

Кучерявый В.А. Урбозоологические основы и принципы интродукции и фитомелиорации (на примере больших городов запада УССР): Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – М., 1991. – 40с.

Лапердин В.К., Качура Р.А. Криогенные опасности в зонах линейных природно-технических комплексов на юге Восточной Сибири // Криосфера Земли, 2009. Т. XIII. № 2. С. 27–34.

Лаппо Г.М. География городов. – М.: ВЛАДОС, 1997. – 480 с.

Ларешин В.Г., Бушуев Н.Н., Скориков В.Т., Шуравилин А.В. Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 172 с.

Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение азротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение, 1993. № 6. С. 34–41.

Литуев В. Проблемы регулирования использования водных ресурсов // Обозреватель-observer. 2008. №1. С.111–117.

Мазурин И.М., Герасимов Р.Л., Королёв А.Ф., Уткин Е.Ф. Озонобезопасные фреоны. История легенды и простое решение // Пространство и Время. 2014. № 3(17). С. 250–255.

Макаров А.Б. Техногенные месторождения минерального сырья // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №8. С. 76–80.

Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Техногенные геохимические барьеры как основа природоохранных технологий // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды Всеросс. симпозиума с междунар. участием и VIII Всеросс. чтения памяти А. Е. Ферсмана, 24–27 ноября 2008 г. Чита, Россия. – Чита, 2008 – С. 16-20.

Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А. Комплексное использование водных ресурсов и охрана водных объектов. Часть 1. Учебное пособие. – М.: МГУП, 2015. – 312 с.

Марфенин Н.Н. Устойчивое развитие человечества. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 624 с.

Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М., Усачев И.Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. – М.: Изд-во МГУ. 1995. – 125 с.

Масайтис В.Л., Назаров М.А., Бадюков Д.Д., Иванов Б.А. Импактные события на границе мела и палеогена: интерпретация данных.// Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. – М.: Наука, 1990. – С. 146–167.

Машинский Л.О. Город и природа. (Городские зеленые насаждения). – М.: Стройиздат, 1973. – 227 с.

Мауришь А.В. Некоторые вопросы прогнозирования в биотехносфере // Повышение рациональности использования природных условий и ресурсов Советской Прибалтики. Вып. 1. – Рига: ЛГУ, 1974. – С. 64–68.

Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 2007. – 463 с.

Мордухай-Болтовской Ф.Д. Процесс формирования донной фауны в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах // Тр. ИБВ. 1961. Вып. 4(7). С. 49–177.

Морозов Н.В. Экологическая биотехнология: очистка природных и сточных вод макрофитами. – Казань: Изд. КГПУ, 2001. – 395 с.

Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда. Эколого-геохимический анализ Тюменской Области. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1998. – 110 с.

МП: Монреальский протокол по проблеме веществ, разрушающих озонный слой, 1988. Бюллетень ВМО, т. 37, № 2, С. 118–121.

Муравин Э.А. Агрехимия. – М.: Колос, 2003. –384 с.

Найдин Д.П., Похиалайнен В.П., Кац Ю.И., Красилов В.А. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. – М.: Наука, 1986. – 262 с.

Национальная стратегия сохранения биоразнообразия в России. – М.: 2001. –76 с.

Никитин Е.Д., Щеглов Д.И., Никитина О.Г., Сабодина Е.П. Сохранение и восстановление природных почв и экосистем как стабилизирующего экофона биосферы // Вестник ВГУ, Серия: химия, биология, фармация, 2015. № 3. С. 64–70.

Никонов А.В. Спираль агфляции // Вопросы экономики. 2009. №4. С.21–24.

Обухов А.М. Контроль чистоты воздушного океана // Город, природа, человек. – М.: Мысль. 1982. – С. 91–108.

Одум Е. Экология. – М.: Просвещение, 1968. –168 с.

Орешкин М.В. Подходы к периодизации разрушения педосферы // Научный журнал КубГАУ, 2010. №61(07). С.1–12.

Осипов В.И. Природные катастрофы в центре внимания ученых. // Вестник РАН, 1995. Т.65. №6. С.483–495.

Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России // Экология и жизнь. 2009. №11–12 (96–97). С.6–15.

Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС. – М.: Наука, 1999. – 255 с.

Перелет Р.А. Дефицит водных ресурсов и экономика водозэффективности // В кн. «Рациональное природопользование: международные программы, российский и зарубежный опыт». – М.: Товарищество научных знаний КМК, 2010. – С. 168–181.

Петраков И.А. Мировой опыт по развитию межбассейнового перераспределения водных ресурсов. – Алматы. 2013 46с. /eessa-water.net>content/view/5493/52/lang,ru/

Петров Г.Н. Развитие подтопления земель и его прогноз вблизи крупных водохранилищ // Вод. ресурсы. 1981. № 2. С. 98–108.

Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.

Пилипенко В.Н., Федотова А.В., Перевалов С.Н., Сагалаев В.А. Экологические последствия влияния зарегулирования стока реки Волги на флору, растительность и почвенный покров дельты Волги // Вестник ОГУ. 2006. Т.2. №2. С.22–29.

Пилипчук М.Ф. Теоретические основы, методика и практика геоэкологического обеспечения разведочных и добычных работ на глубоководных месторождениях полиметаллических конкреций в Мировом океане. Автореф. дисс. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М.: МГУ, 2003. – 45 с.

Поддубный А.В. Экологические проблемы и устойчивое развитие регионов. – Владивосток: ДВГУ ТИДОТ, 2002 – 143 с.

Поликарпов Г.Г., Лазоренко Г.Е., Терещенко Н.Н. Ксенобиотические и биогенные свойства водной среды из восстановительной зоны Черного моря для морских водорослей. // Докл. АН УССР. 1986. Сер.Б. №4. С.76–79.

Полянская Л.М., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г. Микробная биомасса в почвах // Доклады Академии Наук. 1995. Т. 344. № 6. С.846–848.

- Попкова К.В.** Фитофтора картофеля. – Москва: Колос, 1972. –175 с.
- Попов А.В.** Биомелиорация водоема-охладителя с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций в работе системы водоснабжения атомной станции // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2002. – 24с.
- Постановление Правительства Российской Федерации** от 24 марта 2014 г. № 228 г. «О мерах государственного регулирования потребления и обращения веществ, разрушающих озоновый слой» // Российская газета. 2014. 26 марта.
- Потапенко А.Я.** Ультрафиолетовое излучение солнца и здоровье человека // Соросовский образовательный журнал, 2004.Т.8. №3. С.1–11.
- Примак Р.** Основы сохранения биоразнообразия. – М.: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. – 256 с.
- Пшеничный Б.П.** Искусственный апвеллинг и возможности повышения биологической продуктивности морских вод. // Антропогенные воздействия на прибрежно-морские экосистемы. – М.: Изд. ВНИРО, 1986. – С.71–79.
- Пшеничный Б.П., Шевченко В.В.** Перспективы повышения биологической продуктивности вод путем создания искусственного апвеллинга // Вопросы ихтиологии. 1989. Т. 29. № 2. С. 333–335.
- Раткович Д.Я., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В.** О нерестовых попусках воды в нижний бьеф Волгоградской ГЭС // Водные ресурсы. 2003. Т 30. №4. С.426– 442.
- Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Иванов С.И.** Современные научные проблемы совершенствования методологии оценки риска здоровья населения // Гигиена и санитария, 2005. № 2. С. 7–10.
- Ревич Б.А.** «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России. – М.: Акрополь, Общественная палата РФ, 2007. – 192 с.
- Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.** Экологическая эпидемиология. – М.: Академия, 2004. –384 с.
- Реймерс Н.Ф.** Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- Розанов Б.Г., Таргульян В.О., Орлов Д.С.** Глобальные тенденции изменения почв и почвенного покрова // Почвоведение. 1989. № 5. С. 5–18.
- Романова Е.П., Горюнова С.В., Кузнецова С.П.** Многолетняя динамика инвазийных видов зоопланктона в Саратовском водохранилище // Гетеротрофное звено внутренних и контурных сообществ пресноводных экосистем. - Ярославль: Филигрань, 2016. 140с. (РАН, Институт биологии внутренних вод им. И.Д.Папанина. Труды, вып.74 (77). – С.93–99
- Романова Э.П., Куракова Л.И., Ермаков Ю.Г.** Природные ресурсы мира. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 57 с.

Рязанова Н.И. Влияние природных и техногенных факторов на активизацию оползневых процессов // Строительство и техногенная безопасность. 2006. Вып.15-16. С.52-54.

Савенко В.С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы // Итоги науки и техники. Серия «Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов». Т. 31. – М.: ВИНТИ, 1991. – 212 с.

Савичев О.Г., Краснощеков С.Ю., Наливайко Н.Г. Регулирование речного стока. – Томск: Изд. Томск. политехнич. ун-та, 2009. – 114 с.

Савкин В.М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирский экологический журнал, 2000. №2. С.109–121.

Савченко Н.В. Природа озер западно-сибирской Субарктики // География и природные ресурсы. 1992. №1 С.85–92.

Сагд Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Самойлова К.А. Клеточные и молекулярные механизмы биологических эффектов УФ-излучения. – Киев: Наук. думка, 1982. – 246 с.

Семенов С.М. Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С.10–17.

Семенов С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. №2. С. 103–126

Сергейчик С.А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды. – Минск: Наука и техника, 1984. –168 с.

Сидоренко А.В. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР // Общество и природная среда. – М.: Знание, 1980. С. 32–43.

Симкин Г.Н. Изменение видового состава и поведение птиц большого города. // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов Московской области. М.: Московск. филиал Геогр. об-ва СССР, 1977. С.109–111.

Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. – М: Изд-во МГУ, 2002. – 506 с.

Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации. Пятый национальный доклад. – М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015. – 124 с.

Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.

Старобогатов Я.И., Андреева С.И. Ареал и его история // Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (*Bivalvia*, *Dreissenidae*). Систематика, экология, практическое значение. – М.: Наука, 1994. – С. 47–55.

Стржижовский А.Д. Влияние ультрафиолетовой радиации повышенной интенсивности на растения: вероятные последствия разрушения стратосферного озона // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т.6. № 39. С. 683–692.

Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Городские почвы: опыт изучения и систематика // Почвоведение. 1992. №7. С.16–24.

Строганова М.Н., Агаркова М.Г., Мягкова А.Д. Почвы города Москвы: тревоги и надежды // Почва, город, экология. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997а. – С.179–265.

Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва, город, экология. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997б. – С.15–88.

Суздалева А.Л. Бактериопланктон водоемов-охладителей Курской и Калининской АЭС // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М: МГУ, 1996. – 23с.

Суздалева А.Л. Унифицированная методика исследования экологического состояния водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций // Региональная экология. 2000. №1–2. С.58–61.

Суздалева А.Л. Развитие условно-патогенных микроорганизмов в районах сброса подогретых вод атомных электростанций // Гигиена и санитария. 2001. № 4. С. 15–17.

Суздалева А.Л. Структура и экологическое состояние природно-техногенных систем водоемов-охладителей АЭС // Диссертация ... докт. биол. наук. – М.: МГУ, 2002. – 449 с.

Суздалева А.Л. Современный характер урбанизации и необходимость комплексного решения проблем экологической безопасности, безопасности жизнедеятельности и охраны труда // Экология урбанизированных территорий. 2014. №2. С.12–16.

Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство при организации рынка ресурсов пресной воды // Гидротехническое строительство. 2015а. №9. С. 48–54.

Суздалева А.Л. Экологические фрустрации и депривации как основа восприятия условий окружающей среды населением урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. 2015б. №3. С.12–17.

Суздалева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем. – М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2016а. – 160 с.

Суздалева А.Л. Формирование экологического имиджа производственной организации и ее продукции. – М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2016б. – 416 с.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Изменение гидрологической структуры водоемов и сукцессия водных биоценозов при их превращении в водоемы-охладители атомной (тепловой) электростанции // Инженерная экология. 2000. №2. С.47–55.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Резортология: предмет изучения, востребованность и основополагающие принципы // Экология и развитие общества. 2012. №1(3). С.23–27.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В. Биологические инвазии в природно-технических системах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 3. С. 67–78.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В., Пшеничный Б.П. Оценка влияния глубинных водозаборов электростанций на биологическую продуктивность морских экосистем // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998/1999. №3. С.52–57.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Кучкина М.А. Экологический мониторинг водных объектов и экоаудит водопользователей как основа борьбы с биопомехами в системах техводоснабжения // Безопасность энергетических сооружений. Научно-технический и производственный сборник. Вып. 14. М.: Изд. ОАО «НИИЭС», 2004. С.189–206.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Пшеничный Б.П. Применение глубинных водозаборов для компенсации промышленных выбросов углекислого газа в атмосферу // Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. – М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. – С.62-63.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Суздалева А.А. Экологические и социально-экологические основы проектирования городских резортов // Экология урбанизированных территорий. 2012. №3. С. 29–34.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Эль-Шаир Хаям И.А. Концепция экологической безопасности объектов гидроэнергетики // Гидротехника. №4(21)/2010– №1(22)/2011. С. 22–25.

Суздалева А.Л., Гальцова А.Л. Адаптация системы экологического менеджмента ООО «Газпром бурение» как градообразующей организации // Экология урбанизированных территорий. 2015. №1. С. 47–49.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2014а. – 456 с.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Экологические основы формирования международного рынка ресурсов пресной воды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2014б. №4. С.92–105.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Окна Овертона в развитии современной концепции биосферы и решении глобальных экологических проблем // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. Т.7. №4. С. 429–449.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безносков В.Н., Побединский Н.А. Проблема санитарно-микробиологического состояния термальных вод при использовании их в сельском хозяйстве // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Сельское хозяйство. 1999. №5. С.34–38.

Суздалева А.Л., Смирнова А.М. Роль природно-технических систем в создании управляемой биотехносферы // Естественные и технические науки. 2016 №6(96). С.98–100.

Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. – М.: Геоинформцентр, 2002. – 250с.

Сухоруких Ю.И. Под ред. Основы инженерной биологии с элементами ландшафтного планирования: Учебное пособие для студентов биологических и технических специальностей. – Майкоп: Т-во научн. изданий КМК, 2006. – 281 с.

Тетиор А.Н. Городская экология: учебное пособие для вузов. – М: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.

Тимченко В.М., Окснюк О.П. Кислородный режим речных участков днепровских водохранилищ в зимний период и его улучшение попусками ГЭС // Гидробиологический журнал. 2002.Т.38. № 6. С. 89–98.

Трифонов К.И., Девисилов В.А. Физико-химические процессы в техносфере. – М.: Изд-во: Форум, Инфра-М, 2010. – 240 с.

Троицкий А.В. Природоохранные проблемы в гидроэнергетике // Энергия. 2003. №5. С. 29–34.

Троицкий А.В. Обеспечение экологической безопасности ГЭС // «Экология в энергетике -2006» Сб. докладов III Междунар. научно-практ. конф. – М.: ОАО ВТИ, 2006. – С. 24–27.

Трофимов В.Т. Под. ред. Экологические функции литосферы. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 2000. – 432 с.

Трофимов В.Т. Под. ред. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза. – М.: Изд-во «Академическая наука» – Геомаркетинг, 2014. – 566 с.

Трофимов В.Т., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д., Харькина М.А. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. – М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.

Трофимов В.Т., Харькина М.А., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д. Техногенная трансформация экологических функций абиотических сфер земли на территории промышленно-городских агломераций и ее последствия // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Геол. 2015. Т.90. Вып.4. С.60–79

Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза.– М.: Наука, 1987. – 335 с.

Федоров М.П., Масликов В.И. Снижение риска наводнений в речном бассейне регулированием паводков распределенными на водосборе гидроузлами // Известия Академии наук. Энергетика. 2013. №4. С.47–52.

Федоров М.П., Суздалева А.Л. Экологическая оптимизация гидроэнергетики как альтернативная стратегия охраны окружающей среды // Гидротехническое строительство. 2014а. №3. С.10–15.

Федоров М.П., Суздалева А.Л. Гидротехническое строительство как основа устойчивого развития // Гидротехническое строительство. 2014б. №11. С.27–30.

Ферсман А.Е. Геохимия. – Л.: ОНТИ: Химтеорет, 1934. Т.2. – 354 с.

Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо. – М.: МЦ «Видеоэкология», 1997. – 320 с.

Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. – Спб.: Наука, 1998. – 328 с.

Хильми Г.Ф. Современное состояние научных концепций биосферы. // Методологические аспекты исследования биосферы. – М.: Наука, 1975. – С. 91–100.

Хомич В.А. Экология городской среды. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. 267 с.

Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Смирнова Н.В. Целесообразность применения технологий секвестрации CO₂ в России // Нефтегазовое дело. 2013. №5. С.459–473.

Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. – М.: Изд-во Дрофа, 2007. – 408 с.

Чернышенко О.В. Устойчивость и поглотительная способность насаждений в урбоэкосистемах // Лесной вестник, 1999. № 2(7). С.77–78.

Чичев А.В. Пути и способы формирования урбанофлоры в Московской области // Уч. зап. Тарт. ун-та, 1985. № 704. С. 69–73.

Чумаков Н.М. Проблемы палеоклимата в исследованиях эволюции биосферы // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. – М.: Наука, 1993. – С. 106–122.

Шарапов В.А. Охрана окружающей среды при создании и эксплуатации водохранилищ // Тр. Гидропроекта. 1979. Вып. 17. С.10–18.

Щеглов Д.И., Горбунова Н.С. Эрозия и охрана почв. Учебно-методическое пособие для вузов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2011. – 34 с.

Эдельштейн К.К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.:ГЕОС, 1998. – 277 с.

Экзогенные геологические опасности. Под ред. Кутепова В.М., Шеко А.И. – М.: Издательская фирма "КРУК", 2002. – 348 с.

Экология Новочеркасска. Проблемы и пути решения. – Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 2001. – 412 с.

Эльпинер Л.И. Сценарий возможного влияния изменения гидрологической обстановки на медико-экологическую ситуацию (к проблеме глобальных гидроклиматических изменений) // *Водные ресурсы*. 2003. Т. 30. №4. С. 473–484.

Эльпинер Л.И. Водные ресурсы, климат и здоровье // *Экология и жизнь*. 2009. №1(86). С. 80–85(<http://www.ecolife.ru>).

Aagaard K., Coachman L. K. Diverting Soviet rivers to prevent flooding might defrost the Arctic – but what about the weather? *New Scientist*. 1975. V.67, no.957, pp.13–7.

Allan J.A. Virtual water: a strategic resource. Global solutions to regional deficits *Groundwater*. 1998. 36(4), pp.545–546.

Anisimov O.A., Borzenkova I.I., Lavrov S.A., Strelchenko J.G. The current dynamics of the submarine permafrost and methane emissions on the shelf of the Eastern Arctic seas. *Ice and Snow*. 2012, no. 2. P. 97–105.

Alvarez W., Alvarez L.W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinctions: experiment and theory. *Science*. 1980. V.208, no.4448, pp.1095–1108.

Assessment of soil biodiversity policy instruments in EU-27. Final report, February 2010. European Commission DG ENV. Bio Intelligence Service. 232 p.

Caldwell M.M., Bjorn L.O., Bornman J.F., Flint S.D., Kulandaivelu G., Teramura A.H., Tevini M. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. *J. Photochem. and Photobiol.* 2003, no.46, pp. 40–52.

Climate Change. Impacts adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC), Cambridge, Cambridge University Press, 2007, 973 p.

Bridges E.M. Soils in the urban jungle. *Georg. Mag* 1989. Vol. 616, no.9, pp. 1–3.

Buck K., Taguchi S. Effect of sediment enrichment of surface phytoplankton population in the tropical north pacific ocean. *Bull. Plankton Soc. Jap.* 1983. V.30, no.2, pp.125–137.

Craul P.G. *Urban soils in landscape design*. New York: Macmillan, 1992. 396 p.

Elton C.S. *The ecology of invasions by animals and plants*. London: Methuen. 1958. –181 p.

Fraga S. Harmful algal blooms in relation to wind induced coastal upwelling and plumes. *ICES Coop. Res. Rept.* 1995, no.206, pp.35–43.

Friedlander S.K., Seinfeld J.H. A dynamical model of photochemical smog. *Environmental Science and Technology*, 1969, v. 3, no.11, pp. 1175–1184.

Gesell T.F., Prichard H.M. The technologically enhanced radiation environment. *Health Phys.* 1975, no.28, pp.361–366.

Global biodiversity assessment. Cambridge University Press, 1995. 1152p.

Gonzales-Rodriguez E., Maestrini S.Y. Nutrient enrichment of Cabo Frio (Brasil) seawater for phytoplankton mass production. *Hydrobiologia*. 1984. V. 111, no.1, pp.49–56.

Gorham, E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable response to climate warming. *Ecological Applications*, 1991. V. 1(2), pp.182–195.

Hollows F., Moran D. Cataract-the ultraviolet risk factor. *Lancet*. 1981. Vol. 2, no. 8258, pp.1249–1250.

Jordan B.R. The effect of ultraviolet-B radiation on plants: a molecular perspective. *Adv. Bot. Res.* 1996. V. 122, pp. 97–162.

Jose J.G., Pitts D.G. Wavelength dependency of cataracts in albino mice following chronic exposure. *Exp. Eye Res.* 1985. Vol. 41, no.4, pp. 545–563.

Isaacs J.D., Schmitt W.R. Ocean energy: Form and prospects. *Science*. 1980. V.207, pp.267–273.

Leone J.E. Marine biomass energy project. *Mae. Technol. Soc. J.* 1980. V.14, no.2, pp.12–31.

Liu Clark C.K. Mixing and marine environment (U.S. overview, part2): Mixing of deep.ocean water effluent plums in open ocean. *Int. OTEC/DOWA Ass. Newsletter*. 1995. V.6, no.2, pp.6–7.

Mahabe S., Stouffer R.J., Spelman M.J. Response of a coupled Ocean-Atmosphere Model to increasing atmospheric carbon dioxide. *AMBIO*. 1994. V.23, no.1, pp.44–49.

Molina M.J., Rowland F.S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 1974, V. 249, pp. 810–812.

Newman P.A., Nash E.R., Kawa R., Montzka S.A., Schauffler S.M. When will the Antarctic ozone hole recover? *Geophysical research letters*, V.33, L12814, doi:10.1029/2005GL025232, 2006, pp.1–5.

Pan-European Soil Erosion risk assessment: The PESERA map. Version explanation of special publication 73. Ispra. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 2004. – 30 p.

Paul A.J., Paul J.M., Neve R.A. Phytoplankton densities and growth of *Mytilus edulis* in an Alaskan artificial upwelling system. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 1978. V.38, no.1, pp.100–104.

Paul A.J., Paul J.M., Shoemaker P.A. Artificial upwelling and phytoplankton production in Alaska. *Mar.Sci.Commun.* 1979. V.5, no.1, pp.79–89.

Ravanat J., Douki, T., Cadet J. Direct and indirect effects of UV radiation on DNA and its components. *J. Photochem Photobiol. B.*, 2001, no.63, pp.88–102.

Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 (Executive Summary). World Meteorological Organization, Geneva: 2011. 46 p.

Stanhill G., Cohen S. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. For. Meteorol.*, 2001, no.107, pp. 155–278.

State of the World. A World watch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York, London: 1994. 265 p.

Smith F.D.M., May R.M., Pellew R., Johnson T.H., Walter K.R. How much do we know about the current extinction rate? *Trends in Ecology and Evolution*. 1993, no.6, pp.375–378.

Stommel H., Arons A.W., Blanchard D. An oceanographical curiosity: the perpetual salt fountain. *Deep-Sea Res.* 1956, no.3(2), pp.152–153.

Suzuki T. Development of large-scale artificial upwelling structures. *Bull. Mar. Sci.* 1994. V.55, no.2-3, pp.1354.

Taguchi S., Jones D., Hirata J.A., Laws E.A. Potential effect of ocean thermal conversion (OTEC) mixed water of natural phytoplankton assemblages in Hawaiian waters. *Bull. Plankton Soc. Jap.* 1987. V.34, no.2, pp.125–142.

Thomas D. Ocean Thermal Energy Conversion and the Natural Energy Laboratory of Hawaii. *OTEC in aquaculture in Hawaii. Honolulu:* 1988, pp.5-48.

Urbach F. Potential effects of altered solar ultraviolet radiation on human skin cancer. *Photochem. and Photobiol.* 1989. V. 50, no. 4, pp. 507–513.

Voulgarakis A., Naik V., Lamarque J.F., Shindell D.T., Young P., Prather M.J., Wild O., Field R., Sudo K., Szopa S., Zeng G. Analysis of present day and future OH and methane lifetime in the ACCMIP simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. Vol. 13, pp. 2563–2587.

Wilcox H.A. The ocean as a supplier of food and energy. *Experimentia*. 1982. V.38, no.1, pp.31–35.

Whittaker R.H. *Communities and ecosystems*. N.-Y.: London: Macmillan., 1970. 162 p.

Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*. 1972, no.2, pp. 213–251.

Zoltai, S.T., Martikainen P.J. Estimated extent of forested peatlands and their role in the global carbon cycle. In *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle. NATO ASI Series, Series I: Global Environmental Change*, 1996. V.40, pp. 47–58.

*Антонина Львовна Суздалева
Светлана Васильевна Горюнова*

**БИОТЕХНОСФЕРА: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Научное издание

Главный редактор: Т.Н. Веденеева

Рисунок на обложке Анны Хирш

Московский городской педагогический университет
Научно-информационный издательский центр
129226, г. Москва, 2-й Сельскохозяйственный пр., д.4