

А.Л. Суздалева

СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ  
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Москва  
ИД «ЭНЕРГИЯ»  
2016

УДК 504  
ББК 20.1  
С 893

С 893 Суздалева А.Л.

**Создание управляемых природно-технических систем – М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2016. – 160 с.**

В монографии изложены научные основы создания управляемых природно-технических систем (ПТС), которые рассматриваются как эффективный инструмент сохранения благоприятной экологической ситуации. Представлена разработанная автором классификация управляемых ПТС. Описаны методы их создания и объединения в иерархические структуры. Современная техногенно трансформированная биосфера, обозначаемая термином «биотехносфера», рассматривается как управляемая ПТС глобального масштаба. Показаны возможности целенаправленно создаваемых ПТС для предупреждения и предотвращения негативных изменений в состоянии основных компонентов окружающей среды – атмосферы, гидросферы, педосферы и литосферы.

Библиография: 218 названий.

**Suzdaleva A.L.**

**Creation of managed natural-technical systems. — М.: ID ENERGIYA, 2016. — 160 p.**

The monograph is explained the scientific basis for the creation of managed natural-technical systems (NTS), which are dealt with as an effective instrument for conservation of favourable ecological situation. Here is presented the developed by the author classification of controlled NTS. The methods of creating NTS and combining in a hierarchical structure were proposed. The modern technologically transformed biosphere, denoted by the term "Biotechnosphere", is considered as the managed NTS of a global scale. In monograph is described possibilities of purposefully creation NTS for warning and prevention of adverse changes in the status of basic components of the environment – atmosphere, hydrosphere, pedosphere and lithosphere.

References: 218 items.

ISBN 978-5-98908-448-7

© Суздалева А.Л., 2016  
© ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	8
ГЛАВА I. ЦЕЛИ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС .....	11
1.1. Основные виды ПТС и их классификация .....	11
1.2. Общая схема создания управляемых ПТС .....	18
1.3. ПТС как структурный элемент биотехносферы .....	21
1.4. Историческое развитие процесса техногенеза окружающей среды и формирования ПТС.....	27
ГЛАВА II. ТЕХНОГНЕЗ АТМОСФЕРЫ .....	30
2.1. Структура и основные свойства воздушной среды	30
2.2. Парниковый эффект и возможности управляемых ПТС по предотвращению его развития .....	33
2.3. Управляемые ПТС как способ борьбы с глобальным загрязнением воздушной среды.....	44
ГЛАВА III. ТЕХНОГЕНЕЗ ГИДРОСФЕРЫ .....	59
3.1. Основные части гидросферы и особенности изучения процессов их техногенеза .....	59
3.2. Использование управляемых ПТС для предотвращения истощения водных ресурсов.....	61
3.3. Зарегулирование речного стока как основа для создания региональных управляемых ПТС.....	71
3.4. Создание управляемых ПТС при освоении глубинных ресурсов Мирового океана .....	83
ГЛАВА IV. ТЕХНОГНЕЗ ПЕДОСФЕРЫ.....	92

4.1. Общая характеристика современного состояния почвенного покрова, его экологические функции и степень деградации .....	92
4.2. Возможности управляемых ПТС для предотвращения процессов почвенной эрозии .....	100
4.3. Борьба с истощением почв как функция управляемых ПТС .....	105
4.4. Урбанизация почвенного покрова при создании управляемых ПТС .....	111
ГЛАВА V. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ.....	121
5.1. Литосфера и ее экологические функции .....	121
5.2. Нарушения ресурсной экологической функции литосферы и меры по их минимизации на основе создания управляемых ПТС.....	125
5.3. Нарушение геодинамической, геохимической, геофизической функций литосферы и возможности управления этими процессами на основе создания управляемых ПТС .....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	141
СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	143

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Продолжающееся увеличение численности населения Земли, совершенствование техники и технологий, ускоряющееся потребление ограниченных природных ресурсов, катастрофическое влияние человека на климат требуют перехода к принципиально новой парадигме взаимоотношений человеческого общества с предоставляющей ему обитель планетой Земля. Радует, что автор такой парадигмы – наш отечественный ученый доктор биологических наук, профессор Антонина Львовна Суздалева. Авторитетный специалист в своей очередной монографии пришла к глубокому пониманию основных проблем взаимодействия человечества с ограниченной по своим ресурсам средой обитания, к констатации необходимости осознанного управления этой средой во имя сохранения условий, необходимых для дальнейшего существования планетарного биоразнообразия.

В монографии А.Л. Суздалевой присутствуют все основные достоинства, свойственные выдающейся научной работе – актуальность, научная новизна и возможность внедрения результатов в практику. Но все же главным ее достижением является развиваемая автором принципиально новая парадигма экологического мышления. Как и любая новая мировоззренческая позиция, взгляды А.Л. Суздалевой вступают в противоречие со сложившимися стереотипами. Мы привыкли рассматривать природу как некую данность, имеющую важнейшее значение не только для нас, но и наших потомков, для которых ее необходимо сохранить. Поэтому высказанное А.Л. Суздалевой суждение о том, что естественной природы уже не существует, вызывает неприятие. Но, как известно, «факты — вещь упрямая», и ученые должны воспринимать реальность такой, какой она есть. За попытки научно обосновывать иллюзии, угодные признанным авторитетам или общественному мнению, нередко приходится расплачиваться весьма дорогой ценой.

Глобализация процесса техногенеза биосферы уже не вызывает сомнений у большинства специалистов. Парниковый

эффект и перенос загрязнителей атмосферными потоками не оставили незатронутыми ни одного участка нашей планеты. В обозримом будущем воздействие человеческой деятельности будет только усиливаться. Весьма вероятно возникновение кризисов, обусловленных дефицитом природных ресурсов. Примером таких явлений может служить описанный в монографии «мировой кризис водопотребления», наступление которого прогнозируется уже в ближайшие годы.

Ограждать «островки экологического благополучия» от губительного техногенного воздействия с помощью традиционной природоохранной политики становится все труднее. И вот здесь смена мировоззренческой позиции, выдвигаемая А.Л. Суздалевой, может стать весьма плодотворной. Целенаправленно поддерживая природно-технические системы, мы получаем возможность управлять процессом техногенеза окружающей среды и, как это ни парадоксально звучит, использовать его для сохранения участков планеты, еще не утративших свой естественный облик и биоразнообразие.

Изучение природно-технических систем осуществляется различными специалистами в течение уже нескольких десятилетий. Но эти работы носят в подавляющем большинстве описательный характер. Главная же научная заслуга А.Л. Суздалевой заключается в том, что она предлагает не пассивно воспринимать природно-технические системы в качестве побочного продукта техногенеза, а активно участвовать в их формировании, превращая в эффективный инструмент управления экологическими условиями.

В отдельных главах монографии обоснованы возможности целенаправленно создаваемых природно-технических систем для предотвращения негативных процессов, протекающих в атмосфере, гидросфере, педосфере и литосфере. В своем большинстве это лишь идеи, но идеи, которые могут стать основой целого комплекса перспективных технических концепций, разработка которых, в свою очередь, сформирует базу для создания конкретных проектов. Реализация этих в полном смысле инновационных разработок потребует междисциплинарного подхода, объединения усилий специалистов

экологического и инженерно-технического профиля во имя достижения общих целей.

Подводя итог, можно с уверенностью предположить, что знакомство с монографией А.Л. Суздальной будет полезным для широкого круга читателей, стремящихся в своей деятельности выйти за рамки проторенных путей решения различных экологических и технических проблем.

Доктор технических наук, профессор  
кафедры гидравлики и гидротехнического  
строительства ФГБОУ ВО «Московский  
государственный строительный  
университет»,  
почетный член Российской академии  
архитектуры и строительных наук

В.В. Волшаник

## **ВВЕДЕНИЕ**

Природно-технической системой (ПТС) является любая совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, состояние и функционирование которых взаимосвязаны. Они возникают во всех случаях, когда человеческая деятельность или ее продукты внедряются в природную среду и вступают во взаимодействие с ее элементами. Совокупность подобных процессов, вызывающих трансформацию окружающей среды, обозначается обобщающим термином «техногенез».

Произошедшая на современном этапе глобализация процессов техногенеза привела к тому, что сейчас практически все существующие экосистемы, в той или иной мере, превратились в природно-технические системы. Говоря о естественных экосистемах, мы, как правило, имеем в виду те из них, в которых техногенное воздействие еще не привело к заметным изменениям.

Техногенез окружающей среды может происходить в виде нежелательной трансформации условий и рассматриваться как побочный продукт различных видов человеческой деятельности. Но он может осуществляться и как целенаправленное изменение окружающей среды. Например, это происходит при ирригации пустынь или осушении болот. В соответствии с этим, возникающие в процессе техногенеза окружающей среды природно-технические системы условно можно разделить на две основные категории: неуправляемые и управляемые.

Существование спонтанно формирующихся неуправляемых ПТС практически всегда сопровождается ухудшением состояния окружающей среды. Частично сохранившиеся в них естественные механизмы самоочищения и самовосстановления уже не способны противостоять внешним негативным воздействиям, уровень которых на участках, подверженных интенсивному техногенезу, как правило, возрастает.

Экологическая ситуация в управляемых ПТС определяется характером целей, которые преследуются при их создании. Состояние окружающей среды в этих системах формируется и поддерживается работой специальных инженерно-технических



объектов и устройств, а также комплексом спланированных мероприятий с использованием различных технических средств. Такие ПТС обладают принципиально иными возможностями защиты от внешних неблагоприятных воздействий. Это особенно актуально на современном этапе, когда сила и частота катастроф различного рода постоянно возрастает. Например, развитие многих чрезвычайных ситуаций, обусловленных аномальными паводками, удается избежать, благодаря регулированию речного стока гидроэлектростанциями, которые можно рассматривать как центральное звено, потенциально управляемых ПТС.

Таким образом, целенаправленное формирование управляемых ПТС можно рассматривать как одну из форм охраны окружающей среды. При этом следует особо подчеркнуть, что это не очередная попытка, «не дожидаясь милостей от природы», переделать ее по собственному усмотрению. Основной целью в данном случае является разработка механизмов, способных воспрепятствовать экологической деградации окружающей среды, в условиях постоянно возрастающей антропогенной нагрузки, обусловленной ростом народонаселения планеты, объема мирового производства и урбанизации.

Уже сейчас создание управляемых ПТС, как способ сохранения благоприятных экологических условий, постепенно получает все большее распространение. Примером могут служить даже некоторые особо охраняемые природные объекты. Их существование поддерживается только благодаря работе искусственно созданных систем водоснабжения и водоотведения, а также постоянно проводимых мероприятий с использованием технических средств (формирование противопожарных просек и др.). Однако подобные решения носят сугубо локальный и эмпирический характер. Выход данного перспективного направления на качественно новый уровень возможен только при развитии общетеоретической базы научных основ создания управляемых ПТС.

В монографии впервые обобщен практический опыт, накопленный в данной области, а также предлагаемые технические решения, которые могут быть использованы при

создании управляемых ПТС. В ней также предпринята попытка проанализировать возможности использования управляемых ПТС для борьбы с процессами и явлениями, вызывающими в современном мире деградацию основных компонентов планетарной экологической системы – атмосферы, гидросферы, педосферы и литосферы.

Работа по созданию управляемых ПТС может быть успешной только в том случае, если она изначально будет носить междисциплинарный характер и базироваться на объединении во имя общей цели усилий как специалистов в области экологии, так и в области технических наук. Монография предназначена для широкого круга читателей, интересующихся поисками инновационных решений актуальных экологических проблем. Материалы монографии могут быть также использованы в процессе преподавания в ВУЗах обширного комплекса учебных дисциплин, в т.ч. таких как инженерная экология, техногенная безопасность, геоэкология, природообустройство, экологический менеджмент.

# ГЛАВА I. ЦЕЛИ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС

## 1.1. Основные виды ПТС и их классификация

Существующие ПТС представляют собой обширную категорию систем, отличающихся по своим условиям создания, масштабам, механизму функционирования и генезису.

Рассматривая **классификацию ПТС по их масштабам** необходимо определить критерий, исходя из которого, 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 изучать на общепланетарном уровне. Следует 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 также 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 подразумевается 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

ограничительному контролю за деятельностью входящих в них субъектов хозяйственной деятельности способны лишь замедлить такой процесс. Например, это происходит, когда органы исполнительной власти, осуществляющие контроль за сбросами группы предприятий, формирующих промышленную зону, ограничиваются установлением для каждого из них нормативно допустимого сброса (НДС). Формально, отвечая по отдельности требованиям природоохранных нормативов, эти ограничения не обеспечивают сохранения благополучной экологической ситуации в водных объектах. Реки, протекающие через эти зоны, постепенно превращаются в сточные каналы. Изменить ситуацию может только создание систем водоочистки, которые следует рассматривать как элемент управления ПТС.

Состояние **управляемых ПТС** постоянно регулируется с целью поддержания в них безопасных условий для жизнедеятельности человека и благоприятной экологической ситуации. Управление параметрами этих систем осуществляется или работой специального инженерно-технического объекта, или согласованной работой 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 (Волшаник и др., 2003; Безносков и др., 2006; Волшаник, Суздалева, 2008). 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, прокладки и расчистки 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 целью основного регулирования условий окружающей среды и сохранения благоприятной экологической ситуации;
- **оптимизационные управляемые ПТС** – в качестве регуляторов которых используются подвергшиеся экологической оптимизации инженерно-технических 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, которые можно превратить в экологические регуляторы, управляя режимом работы или внося в их конструкцию определенные изменения. Эти меры, обозначаемые термином *«экологическая оптимизация»* (Суздалева, Горюнова, 2014а), могут осуществляться как при проектировании инженерно-технических объектов, так и в ходе их эксплуатации.

Особую категорию управляемых ПТС составляют **«исторические природно-технические системы»**, целью создания которых является сохранение памятников истории и культуры в совокупности со свойственной им окружающей средой. О значении, которое придается такой деятельности, свидетельствует тот факт, что это пока единственный вид ПТС, статус которого закреплен в действующей нормативно-правовой базе РФ. Так, в п. 3.1.9 ГОСТ Р 56891.4-2016<sup>1</sup> дано следующее определение: «историческая природно-техническая система (ИПТС) – природно-техническая система, в которой искусственной подсистемой является историческое сооружение». В качестве разновидности ИПТС можно

---

<sup>1</sup>ГОСТ Р 56891.4-2016 Сохранение объектов культурного наследия. Термины и определения. Часть 4. Исторические территории и историко-культурные ландшафты.

рассматривать «историческую гидросистему», которая, согласно п. 3.2.14. ГОСТ Р 56891.4-2016, представляет собой «единовременно или эволюционно сложившийся на исторической территории комплекс водоемов и гидротехнических инженерных сооружений». В странах Западной Европы такими ИПТС в настоящее время являются не только старинные водяные мельницы, но и ГЭС, построенные в начале XX века (Суздалева, 2016). Но в качестве экологических регуляторов эти гидротехнические сооружения используются только в комплексе с другими инженерно-техническими устройствами и систематическими мерами по поддержанию благополучного состояния окружающей среды (Волшаник, Суздалева, 2008).

ПТС можно **классифицировать по их генезису**, т.е. происхождению и механизму формирования. С этой точки зрения можно выделить модификационные и конструкционные ПТС. **Модификационные ПТС** возникают в результате техногенеза природной среды, изначально не предусматривающего создание системы по управлению ее состоянием. 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, который можно рассматривать как один из видов управляемых ПТС (Суздалева, 2014). Если подобная деятельность не осуществляется или проводится бессистемно, остатки лесного массива закономерно превращается 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 ни с какими-либо видами технической деятельности, экосистемы тропических лесов или арктических озер трансформируются в результате развития парникового эффекта и иных техногенных факторов, способных оказывать дистантное 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 они будут обозначаться 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 поднимаемых проблем это можно рассматривать и как попытку установления контроля над сохранившимися экосистемами, удаленными от промышленных зон 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 ПТС** 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 растительности<sup>2</sup>, либо практически исчезают по причине отсутствия полива и других мер, необходимых для поддержки 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, 2014а). Этим термином обозначается вид техногенеза, при котором в ходе человеческой деятельности возникает новый природно-техногенный объект с целенаправленно формируемыми благоприятными экологическими условиями.

---

<sup>2</sup>Растительность, формирующаяся на мусоре и свалках (Реймерс, 1990).

## 1.2. ОБЩАЯ СХЕМА СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС

Процесс создания управляемых ПТС окружающей среды можно представить в виде обобщенной схемы, включающей следующие последовательно выполняемые этапы:

**1 этап. Создание экологического регулятора ПТС**, т.е. экологическая оптимизация конкретного инженерно-технического объекта, способного выполнять данную функцию или разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих устойчивое сохранения благоприятной экологической ситуации на определенном участке. Экологический регулятор может быть:

- **индивидуальным**, т.е. представляющим собой единый объект – центральное звено, от которого зависят все остальные элементы управляемой ПТС. Его нельзя разделить на несколько частей, выполняющих в полном объеме функцию экологического регулятора. Примером может служить экологически оптимизированная ГЭС, от режима работы которой зависит обширный комплекс объектов в ее верхнем и нижнем бьефах, а также на прилегающей территории;

- **групповым**, состоящим из группы технологически связанных объектов, которые могут играть роль нескольких самостоятельных экологических регуляторов или объединяться, составляя единый регулятор. Примером может служить, каскад ГЭС;

- **комплексным**, при котором управление ПТС происходит в результате работы объектов, которые между собой технологически не связаны, но их скоординированная деятельность, управляемая из единого центра, может выполнять функцию экологического регулятора. Примером является деятельность комплекса городских служб и работа коммунальных объектов, обеспечивающих уборку улиц и вывоз мусора, водоснабжение, водоотведение и иные мероприятия, проведение которых обеспечивает стабильность благоприятной экологической ситуации в ПТС (урбосистеме), образующейся в пределах городской застройки.

**2 этап. Установление основных параметров управляемой ПТС** – границ системы и функций, выполняемых ее

регулятором. Границей управляемой ПТС является черта, за пределами которой ее регулятор не способен оказывать значимое влияние на экологическую обстановку. Исходя из наблюдаемой степени значимости регуляторной функции установить четкие границы управляемой ПТС во многих случаях затруднительно. Размеры зоны значимого воздействия регулятора могут изменяться, например, в зависимости от гидрометеорологических условий. Поэтому границы управляемых ПТС необходимо официально фиксировать, включая в нее только участки, в которых регулятор с высокой долей вероятности способен:

- оперативно предотвращать развитие негативных процессов и явлений, создающих угрозу ухудшения экологических условий, т.е. выполнять *природоохранную функцию*;
- обеспечивать защиту элементов системы от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Эту задачу регулятора можно обозначить термином *«средозащитная функция»*.

**3 этап. Субъективизация элементов управляемой ПТС** – установление круга юридических лиц, ответственных за объекты, являющиеся элементами ПТС, и заинтересованные в сохранении благоприятных экологических условий на участках их размещения. Для обозначения этих лиц в современной научной литературе используется термин *«стейкхолдеры»*. Субъективизация должна в полной мере распространяться и на участки природной среды, находящиеся в границах управляемой ПТС и становящиеся ее элементами. У каждого такого участка также существует физическое лицо или организация, несущая ответственность за его состояние.

**4 этап. Формирование управляемой ПТС**, т.е. установление официальных взаимоотношений между ее регулятором и стейкхолдерами. В их основе могут лежать различные процессы и явления. Например, экологически оптимизированная ГЭС может защищать объекты, входящие в ПТС, от затопления и подтопления, обеспечивать устойчивую работу источников водоснабжения и т.п. Упорядочение этих отношений требует выработки обобщающего критерия, дающего возможность оценить масштаб и функции регулятора.

Сложность заключается в том, что такой критерий должен быть применим к самым различным категориям объектов от завода до озера. Исходя из смысла поставленной задачи, критерий должен отражать связь компонентов системы в единое целое, характеризовать степень зависимости регулируемых объектов от регулятора. Для этой цели может быть использован показатель, который можно обозначить как «*индекс зависимости-уязвимости*» (*ИЗУ*) (Федоров, Суздалева, 2014а), отражающий реальную и/или потенциальную зависимость влияния регулятора на выход процесса, осуществляющегося на конкретном объекте. Термины «процесс» и «выход процесса» в данном случае следует трактовать в самом широком смысле. Для предприятий «процесс» – это производственный процесс, выходом которого является объем (стоимость) продукции. Для экосистем под «выходом процесса» целесообразно понимать их продуктивность (при условии стабильности их структурно-функциональной организации). Для свалки «выходом процесса» могут являться накопленные на ней отходы, а показатель ИЗУ для данного объекта будет отражать вероятность их неконтролируемого распространения в среде, например, при наводнении. При этом следует еще раз подчеркнуть, что показатель ИЗУ не отражает состояние самого объекта, хотя и зависит от него. В общей форме вычисление ИЗУ должно осуществляться по следующему алгоритму:

$$ИЗУ \subset f(P, D, S)$$

где P – вероятность воздействия на выход процесса;

D – выход процесса;

S – показатель, характеризующий значимость воздействия на выход процесса (экологическую и/или социально-экологическую опасность).

Важнейшим условием формирования управляемых ПТС является **экономическая обоснованность** данной деятельности. Выполнение функций экологического регулятора требует дополнительных затрат. Очевидно, что на практике существование управляемой ПТС возможно только при условии, когда эти затраты не только компенсируются, но и приносят финансовую выгоду. Данная задача может быть

решена в форме экологического страхования стейкхолдеров, исходя из расчета ИЗУ.

**5 этап. Разработка механизма взаимодействия управляемой ПТС с аналогичными системами.** Результатом может стать создание уже упоминавшегося комплексного регулятора из каскада ГЭС. Другие более сложные примеры решения этой задачи будут рассмотрены в последующих частях монографии, в т.ч. в главе III при описании принципов экологически ориентированного проектирования систем межрегионального перераспределения водных ресурсов.

### **1.3. ПТС КАК СТРУКТУРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ БИОТЕХНОСФЕРЫ**

Общие тенденции формирования ПТС нельзя рассматривать в отрыве от процесса глобального техногенеза, в результате которого возникшая в процессе естественного развития биосфера Земли переходит в состояние, для обозначения которого нередко используется термин «*биотехносфера*». Несмотря на то, что в научной литературе данный термин 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 это понятие в несколько иной интерпретации использовалось 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.

Являясь результатом неуправляемого глобального техногенеза, сопровождающегося повсеместным разрушением различных компонентов природной среды и связей между ними, биотехносфера на современном этапе еще не утратила свою целостность как единая система. Но состав формирующих ее элементов и характер их взаимосвязи все больше отличаются от существовавших в естественной биосфере.

Для описания процесса формирования биотехносферы необходимо уточнить некоторые понятия. Под ***структурно-функциональной организацией биотехносферы*** в монографии понимается комплекс материальных тел (структурных элементов данной системы), связанных в единое целое вещественными и энергетическими потоками (функциональными связями).

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, по своему генезису разнородны. Они образуют своеобразную мозаику из взаимодействующих сохранившихся экосистем и различного рода ПТС (неуправляемых и управляемых). Примером может служить речной бассейн с зарегулированным стоком. В целом он является потенциально управляемой ПТС. Значительная часть водосборной площади подобного речного бассейна может быть занята сохранившимися экосистемами, например, экосистемами озерно-болотных ландшафтов. Водохранилища многих ГЭС уже сейчас можно рассматривать как регулируемые ПТС. На некоторых из них, например, систематически осуществляются так называемые ***«санитарные» и «экологические попуски вод»***, регулирующие экологическую ситуацию на расположенных ниже по течению обширных участках реки и прилегающих к ним территориях (Суздалева, Горюнова, 2014а). К категории регулируемых ПТС можно отнести и большинство гидромелиоративных систем, созданных на базе этого бассейна. На базе других гидротехнических сооружений, режим работы которых не корректировался в процессе экологической

оптимизации, формируются потенциально управляемые ПТС. Некоторые участки водотоков, подвергшиеся различным формам техногенеза, не позволяющим использовать созданные техногенные объекты для регулирования экологической ситуации, являются неуправляемыми ПТС. Например, это спрямленные участки русел с облицованными мелководьями, не допускающими развития на них пояса высшей водной растительности. Все эти экосистемы и ПТС являются элементами (подсистемами) ПТС, 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 ПТС, 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 привлек к себе только цикл углерода. В результате развития парникового эффекта происходит 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 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 исчерпание запасов минерального сырья для производства фосфорных удобрений грозит резким снижением урожайности сельскохозяйственных культур и резким усилением продовольственного кризиса. 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 ПТС, 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 способно обеспечить устойчивое развитие человечества и сохранение биоразнообразия других форм жизни.

Как уже указывалось ранее, подавляющее большинство существующих в настоящее время управляемых ПТС по масштабам можно отнести к категории локальных. Очевидно, что даже большое количество подобных систем неспособно остановить деградацию биотехносферы. Основную роль в этом процессе должны сыграть региональные управляемые ПТС, начинающие формироваться в настоящее время. 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 ближайшие годы по прогнозам специалистов наступит так называемый «мировой кризис



водопотребления», т.е. острый дефицит пресной воды в ряде густонаселенных регионов (Данилов-Данильян, 2009). 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 иерархии экосистем, ранее существовавшей, иерархией управляемых ПТС 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, заключающееся в необходимости построения глобальной системы управления окружающей средой и высоким риском крупномасштабного ухудшения состояния среды в ходе данного процесса, 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 нашем случае такими объектами являются ПТС 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 ПТС на базе ГЭС позволяет отработать механизмы управления ими, которые можно использовать уже на уровне гидроэнергетического каскада. Создание систем межбассейновой переброски вод станет экологически оправданным только в том случае, если объем транспортируемых вод будет рассчитываться с учетом экологических интересов региональной ПТС – донора этой

системы. Например, когда переброске в другой регион будет подлежать избыток воды, создающий в речном бассейне, из которого он изымается, угрозу нежелательного наводнения. 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 ПТС, 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 ПТС. 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. результатами анализа перспектив развития экологической ситуации в случае отказа реализации проекта. Подобный подход, в полной мере соответствующий законодательным нормам проведения государственной экологической экспертизы проектов, 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 ПТС.

#### **1.4. ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНОГЕНЕЗА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ФОРМИРОВАНИЯ ПТС**

Человеческая деятельность приводила к трансформации значительных участков природной среды в ПТС, 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 долгое время он носил ограниченный характер. Еще в период промышленной революции VIII-XIX вв. человечество могло сосуществовать с почти безжизненными и бесконтрольно загрязняемыми промзонами. 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 в., когда процессы техногенеза окружающей среды сначала приобрели межрегиональный, а затем и глобальный характер, т.е. с началом 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 промзон.

Интенсивное хозяйственное освоение все новых территорий и их природных ресурсов, сопровождающиеся урбанизацией значительных участков, лишила многие виды организмов значительной части среды их обитания. Причиной этого было, например, зарегулирование стока речных бассейнов и загрязнение их вод. Основной угрозой утраты биоразнообразия постепенно становится не хищнический промысел организмов как ранее, а утрата их 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, использующихся в качестве источников водоснабжения и др. Кроме того, большое 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 ПТС, позволяющих поддерживать и регулировать состояние окружающей среды, не допуская ее ухудшение до уровня, оказывающего негативное воздействие на человека и другие организмы.

Процессы техногенеза в атмосфере, гидросфере, педосфере и литосфере имеют свою специфику (Трифонов, Девисилов, 2010). Различны и возможные подходы к улучшению их состояния, на основе создания управляемых ПТС. По этой причине этим вопросам в монографии посвящены несколько последующих глав.

## ГЛАВА II. ТЕХНОГНЕЗ АТМОСФЕРЫ

### 2.1. СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

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

Основными свойствами атмосферы являются:

❖ **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, 10-12 км над умеренными широтами и 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 часть атмосферы, постоянно населенную живыми организмами. 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.

❖ **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 ( $-93,2^{\circ}\text{C}$ ) была отмечена в Антарктиде 10 августа 2010 г., а абсолютный рекорд экстремально высокой температуры воздуха ( $+70,7^{\circ}\text{C}$ ) был зафиксирован в 2005 году в солончаковой пустыне Деште-Лут на юго-западе Ирана. Однако для большинства участков земной поверхности диапазон изменений

температуры воздуха в прилегающих нижних слоях атмосферы значительно более узок.

В атмосфере постоянно находится в среднем около 13 тыс. км<sup>3</sup> 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 интенсивностью процессов испарения, конденсации (выпадения атмосферных осадков) и горизонтального переноса. Данная система отличается высокой динамичностью. Водяной пар в атмосфере в среднем обновляется<sup>3</sup> 43 раз в год или каждые 8,5 суток. Общее количество влаги в атмосфере огромно – среднее количество ежегодно выпадающих осадков превышает 500 Тт<sup>4</sup>, что эквивалентно слою воды высотой более 1 м.

❖ **Детерминированная высокоскоростная динамичность<sup>5</sup>.** 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 атмосферой циркуляции могут оказать весьма значимое изменение экологических условий на значительных участках планеты. Временные флуктуации вызывают погодные аномалии. Устойчивые изменения в характере атмосферной циркуляции способны вызвать изменения климата

---

<sup>3</sup> Под обновлением в данном случае понимается циклический процесс, включающий конденсацию пара, выпадение влаги из атмосферы и ее испарение с поверхности Земли.

<sup>4</sup>Тт – 1 терагонна составляет 1 тыс. млрд. тонн.

<sup>5</sup> Детерминированной динамичностью обладает и гидросфера и, в определенном смысле, даже верхние слои литосферы. Говоря о высокоскоростной динамичности атмосферы следует подчеркнуть, что и здесь эти процессы происходят с многократно более высокой скоростью.

становящиеся, например, причиной опустынивания обширных территорий.

❖ **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).

❖ **Чувствительность и масштабность реакции на катастрофические явления** как природного, так и техногенного 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. Например, при сильных вулканических извержениях или падениях крупных метеоритов химический и механический состав<sup>6</sup> значительной части атмосферы изменяются в течение нескольких часов. По достижению 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 кратеров (астроблем), а прослеживаются практически по всей планете (Alvarez et al., 1980). Это произошло в результате выпадения аэрозолей, образовавшихся при ударах метеоритов о Землю, разнесенных атмосферными потоками. Аналогичным образом проявляется и воздействие техногенных факторов.

---

<sup>6</sup> Под термином механический состав атмосферы мы понимаем присутствие в ней химически инертных твердых аэрозолей.



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 многих техногенных воздействий в течение кратчайшего времени достигают значительных масштабов и могут иметь катастрофические последствия. Ограничительные природоохранные мероприятия в настоящее время уже нередко не способны предотвратить подобные события. Необходимо активное вмешательство в эти процессы в виде создания управляемых ПТС, несущих природоохранную и средозащитную функции. Рассмотрим их возможности в сфере противодействия развития парникового эффекта и глобализации загрязнения воздушной среды.

## **2.2. ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС 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 ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), тропосферный озон ( $\text{O}_3$ ) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Существует и другие вещества, имеющие чисто техногенное происхождение, например, галогенуглероды, 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 (1750 год) концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере выросла на треть (Всемирная..., 2003), причем основной рост пришелся на последние десятилетия XX века. Точность измерения концентрации CO<sub>2</sub> 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 непрерывающимся ростом населения и его потребностей, а, следовательно, расширением производственной сферы. В период 2000-2010 гг. ежегодные выбросы парниковых газов возросли на 2,2% в год (Кокорин, 2014). Это больше чем в три предшествующих десятилетия (1970-2000 гг.), в течение которых данный показатель составлял 1,3% в год. В настоящее время основную долю техногенных парниковых составляет CO<sub>2</sub> (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°C, то в отсутствие парникового эффекта этот показатель равнялся бы  $-19^\circ\text{C}$  то есть на 33°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 их 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*<sup>7</sup> считаются различные виды добываемого ископаемого топлива, сжигание которого обуславливает эмиссию CO<sub>2</sub>, 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 процессами разложения, сопровождается затопление земель при организации водохранилищ.

---

<sup>7</sup> 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.).

Время жизни в атмосфере химически устойчивых парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) составляет от нескольких десятилетий до 100 лет и более. Так, из попадающего в атмосферу  $\text{CO}_2$  лишь 30% 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  $\text{CO}_2$  поглощаются растениями в процессе фотосинтеза. Но значительная часть создаваемого ими органического вещества вновь окисляется в процессе жизнедеятельности растений до  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  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).

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.

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

- перераспределение ресурсов питьевой воды, связанное со спровоцированными потеплением изменениями в характере атмосферной и океанической циркуляции;
- 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 (Безносков, 1998а; Суздалева Горюнова, 2014б, Суздалева, 2015а). 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. Неминуемым следствием кризиса водопотребления станет продовольственный кризис тех же масштабов.

Очевидно, что полностью предотвратить происходящие глобальные климатические флуктуации нереально, поскольку в их развитие уже включились факторы, неподдающиеся 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 ПТС 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 и 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  $\text{CO}_2$ , а также связывание атмосферного углерода в болотных массивах, сохранить многие из которых 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 ПТС, функционирование которых обеспечивает природно-техногенный сток 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. Однако непредвзятый анализ ситуации приводит к заключению, что приоритет данного направления объясняется не результативностью предпринимаемых в рамках его 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 легко выполнимую задачу, чем реальное контролирование количества парниковых газов в атмосфере. Данная деятельность позволяет быстро и обосновано 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 автором 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.** Это 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**. Поскольку основным веществом, искусственно изымаемым из атмосферы, является  $\text{CO}_2$ , используемые для



этого технологии также обозначаются термином «*технологии секвестрации углекислого газа*» (Череповицын и др., 2013). Уже предложено несколько способ захвата  $\text{CO}_2$ , в т.ч. и непосредственно в процессе сжигания топлива. После этого следует процесс компрессии и транспортирование  $\text{CO}_2$ , 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 являются:

➤ ***Сохранение в составе управляемых ПТС болотных массивов, поглощающих на длительный срок значительное количества 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  $\text{CO}_2$  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 ПТС,

позволяющие сосуществовать техногенным объектам и болотным массивам, например, превращая их в экологические резерваты. В этой связи следует отметить, 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  $\text{CO}_2$  и эмиссии  $\text{CH}_4$ , планируя дренаж болот с учетом данных факторов и регулируя обеспечение их подпитку 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  $\text{CO}_2$ .*** 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 последующем все это может быть использовано как сырье для биотоплива, в описанной выше технологии BECCS (Семенов, 2012). Кроме того, биоуголь, полученный путем пиролиза растительной массы, может вноситься в землю в качестве удобрения (Елдышев, 2009).

Данное направление упоминается в программных документах 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  $\text{CO}_2$  и 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 железомарганцевых конкреций, предполагают подъем к поверхности моря с глубины огромных объемов вод. Используемым природным ресурсом является и сама вода из глубинных слоев (Безносос, 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  $\text{CO}_2$ . 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 2.1 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 (Суздалева и др., 1998/1999). Полученная водорослевая масса может быть использована как корм при выращивании различных морских организмов, так и для производства биотоплива по технологии BECCS.

**Таблица 2.1. Масса фитопланктона, которая может вырасти на обработанных глубинных водах, используемых для охлаждения блока АЭС мощностью 1000 МВт и масса связанного в ней атмосферного углерода**

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

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

### **2.3. УПРАВЛЯЕМЫЕ ПТС КАК СПОСОБ БОРЬБЫ С ГЛОБАЛЬНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

Согласно определению, данному в статье 1 ФЗ «Об охране окружающей среды»<sup>8</sup>, под загрязнением воздушной среды 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 возникающие в ней в количествах, выходящих за рамки предельных

<sup>8</sup>Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ.

естественных колебаний или среднего природного фона. Подразумевается, что эти явления оказывают негативное воздействие на качество среды и здоровье человека.

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

Загрязнение атмосферы происходит одновременно в виде нескольких процессов, природа агентов которых принципиальна различается. К наиболее значимым из них, достигшим к настоящему времени глобальных масштабов или закономерно приближающихся 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 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 обусловленных ими негативных экологических последствий и мер, направленных 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 в штате Невада (США) уже через несколько дней (12.03.1955) в значительных количествах выпали в Ленинградской области (Пивоваров, Михалев, 2004). После взрыва в Сахаре 13.02.1966 продукты деления были обнаружены 17.02.1966 в Крыму.

Таким образом, в результате открытых испытаний ядерного и термоядерного оружия, продолжавшихся около 40 лет, произошло практически необратимое изменение радионуклидного состава атмосферы<sup>9</sup>. 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 ( $^{222}\text{Rn}$ ). Радиоактивное загрязнение среды происходит и при внесении в почву некоторых видов минеральных удобрений. В последующем, часть из них 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 учета. Их совокупный вклад в глобальное радиоактивное загрязнение атмосферы, не менее значим, чем последствия аварий на радиационно-опасных объектах.

---

<sup>9</sup> 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».

❖ **Механическое загрязнение атмосферы** обусловлено присутствием в ней различных частиц техногенного происхождения, которые при анализе их воздействия на окружающую среду следует рассматривать как химически инертные. Подобное искусственное абстрагирование 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 покрова<sup>10</sup>.

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.);

---

<sup>10</sup> Например, такие крупномасштабные явления, получившие название «черных ураганов», происходили в XIX веке в США при широкомасштабной распахке прерий (Одум, 1968). Столетие спустя, подобные нежелательные эффекты сопровождали освоение целины в СССР.

- 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 атмосфере<sup>11</sup>. 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 огромного количества аэрозолей в южном полушарии приводил к значимому похолоданию, захватившему 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

---

<sup>11</sup>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.



(Воздействие..., 2013). 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..., 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 регионах (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..., 2007). В обозримом будущем эта цифра, вероятно, буде 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, сопровождающимся ростом количества неконтролируемых источников загрязнения среды (Суздалева, 2014; Суздалева, Гальцова, 2015).

❖ **Тепловое загрязнение атмосферы**, вызываемое ее непосредственным подогревом. Значительная часть неиспользуемых человеком энергетических ресурсов рассеивается в форме тепловой энергии. В связи с этим высказывалось мнение, что чем более высокими темпами будет развиваться энергетика, тем большее количество тепла будет поступать в окружающую среду (Будыко, 1962). По этой причине данный феномен ранее обозначался термином «энергетическое» загрязнение<sup>12</sup>. 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

---

<sup>12</sup>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.

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 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 также 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 региональный и более крупный масштабы. В этой ситуации, негативные явления, обусловленные тепловым загрязнением атмосферы, выйдут на новый, еще малоизученный уровень. Например, можно ожидать воздействие 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, как правило, 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 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 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; Трифионов, Девисилов, 2010).

Актуальность и масштабность проблем вторичного загрязнения неуклонно возрастают. Технологическое развитие сопровождается выбросом в атмосферу новых, ранее не присутствовавших 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 влекут за собой глобализацию процессов ее вторичного загрязнения.

Следует отметить, что взгляд на явления вторичного загрязнения лишь как на одну из форм глобального техногенеза является упрощением проблемы, приводящим 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 таких 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 загрязнителей<sup>13</sup>. 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 выбросов<sup>14</sup>. Если оценивать результативность данных мер на уровне отдельного хозяйствующего субъекта<sup>15</sup>, 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 радиоактивного<sup>16</sup>) возрастает. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, снижение количества выбросов атмосферных загрязнителей при внедрении новых технологий,

---

<sup>13</sup> 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.

<sup>14</sup> В экологической литературе и природоохранных стандартах в совокупности эти меры обозначаются как «внедрение наилучших доступных технологий».

<sup>15</sup> Согласно действующим международным стандартам, регламентирующим внедрение и деятельность систем экологического менеджмента (ISO 14001 и др.), предусматривается оценка эффекта именно на уровне конкретных организаций.

<sup>16</sup> 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.

как правило, носит лишь относительный характер. Иными словами, 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 малых предприятиях и тем более при осуществлении индивидуальной деятельности вопросу контролирования атмосферных выбросов внимания почти уделяется. Так, расчет объема и состава выбросов в организациях, функционирующих на территории РФ, осуществляется согласно технических нормативам<sup>17</sup>. 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

---

<sup>17</sup> 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... (ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 14.05.1999 г. № 96-ФЗ, статья 1).

организаций истинная цель этой деятельности заключается не в стремлении изменить экологическую ситуацию, а в формировании своего позитивного экологического имиджа (Суздалева, 2016). 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 подразумевают всю совокупность *мелкомасштабных и неорганизованных*<sup>18</sup> объектов, функционирование которых сопровождается эмиссией вредных веществ. Количество загрязнителей, продуцируемых каждым таким источником, весьма невелико. Источники рассредоточены в пространстве и поэтому трудно контролируемы. Однако общий объем таких выбросов играет значимую роль. Диффузное загрязнение 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 урбанизации ее поверхности придает процессам диффузного загрязнения атмосферы все большую значимость. Его источником становится каждый построенный дом, выпущенный автомобиль или трактор. Внедрение в эти области более экологически безопасных технологий (например, распространение в развитых странах электромобилей) не смогут 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

---

<sup>18</sup> 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.



нереально как по финансовым, так и 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 организацию системы диффузно размещенных в среде поглотителей загрязнения<sup>19</sup>. 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. м<sup>3</sup> 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 ПТС. В данном контексте задачей управления является создание контролируемого баланса процесса эмиссии и стока загрязнителей, рассредоточенных в воздушной среде.

---

<sup>19</sup> Под диффузным размещением 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, источники диффузного загрязнения – автомобили – движутся по дорогам, вдоль которых необходимо организовывать объекты диффузного поглощения загрязнителей.

### *Придание управляемой ПТС 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 проектов компоновки растительных фильтров. Необходимо также учесть 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 можно отдавать предпочтение видам растительности, наиболее эффективно поглощающим загрязнители. Таким образом, целесообразно зональное устройство воздушно-растительного фильтра, в каждой из зон которого происходит определенный этап очистки.

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

Таким образом, снижение уровня загрязнения воздушной среды может быть достигнуто как созданием оптимизационных управляемых ПТС (на базе существующих растительных насаждений), так и специализированных (включающих технологические цепочки по обработке растительной массы с накопленными в ней загрязнителями). 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 ПТС, но также системами регионального и большего масштабов.

## ГЛАВА III. ТЕХНОГЕНЕЗ ГИДРОСФЕРЫ

### 3.1. 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 различаются, 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 км<sup>3</sup> (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 высоко динамичную 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 обуславливает саму возможность существования практически всех биогеохимических циклов, обеспечивающих 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, 2014а). С одной стороны, это обусловлено 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 принципиальные различия их использования и, следовательно, характера оказываемого техногенного воздействия. Для примера можно сравнить эксплуатацию ресурсов морских и континентальных водных объектов.

В настоящее время уже существует ряд аспектов техногенеза гидросферы, значимые проявления которых либо достигли глобальных масштабов, либо выйдут на этот уровень в обозримом будущем. Некоторые из них, например техногенные истощения 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 ближайшие годы, уделяется значительно меньше внимания, а имеющаяся информация носит фрагментарный характер. Их примером может служить интенсивно развивающееся освоение ресурсов глубинных слоев Мирового океана.

Также как и в предшествующей главе, описание возможностей создания управляемых ПТС будет ограничено их использованием для предотвращения отдельных негативных аспектов техногенеза гидросферы. Следует отметить, что 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 как фактор истощения запасов водных ресурсов, а миграция загрязнителей в водной

среде – как один из биогеохимических процессов, в результате которых биосфера превращается в биотехносферу.

### **3.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ИТС ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИСТОЩЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Определение, данное 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», 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 и как водохозяйственного показателя, и как экологического фактора постоянно возрастает. В определении, приведенном в Федеральном законе, указывается, что истощение вод может появляться не только как тенденция 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 описанными выше механизмами истощения вод, ***все формы данного явления можно разделить на две категории:***

➤ ***Количественное истощение вод***, то есть уменьшение объема запасов пресных вод.

➤ ***Качественное истощение вод***<sup>20</sup>, причиной которого является их загрязнение, в результате которого часть водных запасов пресных вод становятся непригодными для обеспечения нужд человека и существующих на их основе природных объектов.

***Важнейшим фактором количественного 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, ограничены. 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

---

<sup>20</sup>Данный термин был предложен А. В. Поддубным (2002).

необходимых водохозяйственных потребностей, но 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 проблемы истощения вод достигают в регионах со слабо развитой 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), в результате которого большие массы людей не будут обеспечены пресной водой, в объемах необходимых для их жизнедеятельности, в т.ч. и для удовлетворения потребностей сельскохозяйственного производства. Это, в свою

очередь, 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 и еще приблизительно 1 млрд человек находится в состоянии так называемого **водного стресса**, т.е. испытывают дефицит воды время от времени.

Значение **истощения вод как фактора, нарушающего безопасность жизнедеятельности людей**, постоянно усиливается. Как уже указывалось, наибольшей остроты данная проблема достигает в экономически слабо развитых 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 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 ..., 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 связанным 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 гг. здесь погибло от вызванного засухами голода около 1,2 млн человек. Если бы эти события произошли бы 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.

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

Для устойчивого развития необходимо активное вмешательство в процессы формирования водных ресурсов. Глобальные климатические изменения привели к перераспределению количества осадков и изменению водности в подавляющем большинстве участков планеты. Во многих случаях это уже в ближайшем будущем вызовет катастрофические социальные и экологические последствия (табл. 3.1). 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 влагоемкими продуктами подразумевается такие, изготовление которых требует затрат 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.

**Таблица 3.1. Воздействия, обусловленные развитием парникового эффекта и их прогнозируемые последствия (по Кокорин, 2014).**

Регион	Наблюдаемые эффекты (сочетание изменений климата и неправильной хозяйственной деятельности)	Ожидаемые проблемы	Примечания
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Африка	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.
Европа	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.

**Продолжение таблицы 3.1.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Азия	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.
Австралия	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.
Северная Америка, включая Мексику	Аномальные осадки, волны жары, наводнения. Рост ущерба от тропических циклонов. 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.

### Окончание таблицы 3.1.

1	2	3	4
Центральная и Южная Америка	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.
Арктика и Антарктика	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 $\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$ . Угроза проникновения новых видов, негативно влияющих на местные.
Малые острова	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.

Подобное паллиативное решение проблемы, сдерживая до определенного момента наступление кризиса мирового водопотребления, только усугубляют его (Суздалева, Горюнова, 2015).

Разрешить данную проблему можно 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 по межрегиональной переброске вод, невзирая ни на какую критику в плане нанесения вреда окружающей среде, будут осуществлены. Если экологи своевременно не разработают своих предложений, позволяющих 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 и 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 последствий «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 пресных вод будет представлять собой не превращение естественной речной экосистемы в природно-техногенный объект, а реконструкцию уже давно сформировавшихся ПТС. Вопрос заключается в том, останутся ли эти ПТС прежними, или станут управляемыми. В первом случае игнорирование экологических проблем на начальном этапе 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. Этот объем вод, переброска которого за пределы речного бассейна ликвидирует угрозу нанесения экономического и экологического ущерба, можно обозначить как **«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 использующих 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*, которые следует рассматривать как управляемые конструкционные ПТС межрегионального масштаба.

### **3.3. ЗАРЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС**

Под регулированием речного стока понимается его искусственное перераспределение<sup>21</sup> в соответствии с нуждами водопотребления и водопользования (Иванов, Неговская, 1979; Железняков и др., 1984; Савичев и др., 2009). Как правило, это происходит в форме аккумуляирования вод во время паводков и последующего контролируемого расхода накопленного водного объема в межливневый период. Основными регуляторами речного стока служат водохранилища, создаваемые подпруживанием рек плотинами с гидротехническими сооружениями,

---

<sup>21</sup>Существует также такое понятие как «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 при употреблении термина «регулирование стока» имеется в виду его искусственное (точнее – техногенное) регулирование.

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.

Как уже указывалось выше, в настоящее время сток большинства водных систем целенаправленно регулируется. Входящие в них водотоки и водоемы превратились из природных объектов в элементы ПТС, экологическое состояние которых определяется комплексом как естественных, так 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 реофилов<sup>22</sup>. 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 далеко выходят за пределы самих зарегулированных водных объектов, приобретая в ряде случаев межрегиональные масштабы.

Следует отметить, что процесс техногенеза водных систем, обусловленный их зарегулированием, уже привел к практически необратимым последствиям. Восстановления исходного состояния водных объектов (существовавшего 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 уровня управляемости ПТС зарегулированных водных систем и эффективности мер по их экологической оптимизации.

Основная часть крупных водохранилищ, выступающих в качестве регуляторов речного стока, создавалась при строительстве объектов гидроэнергетики (ГЭС и

---

<sup>22</sup>Организмы, живущие в водных объектах с постоянным течением.

гидроэнергетических каскадов)<sup>23</sup>. По этой причине в сознании людей сформировалось устойчивое мнение о том, что строительство и эксплуатация ГЭС – это один из видов деятельности, наносящих значительный ущерб природной среде. В свое время такой взгляд на проблему был в значительной мере оправдан, что стало причиной разработки многочисленных мер, направленных на ограничения негативных эффектов, обусловленных строительством и эксплуатацией объектов гидроэнергетики. Эти действия давали ощутимый результат лишь в отдельных случаях. Например, благодаря новым подходам к проектированию ГЭС, были значительно сокращены площади затопляемых земель при организации водохранилищ, и повышена эффективность мер по защите их берегов от разрушительного воздействия эрозии и абразии (Асарин, 1982; Троицкий 2003; 2006). В других случаях, например при многочисленных попытках сделать плотины ГЭС проходимыми для мигрирующих видов рыб, удовлетворительного практического эффекта достичь не удалось.

Вместе с тем, ГЭС и гидроэнергетические каскады – это инженерно-технические объекты в наибольшей степени пригодные для использования в качестве экологических регуляторов (Безносов и др., 2007а; Федоров, Суздалева, 2014а, б). **Работа по их по экологической оптимизации с целью создания управляемых ПТС может одновременно проводиться в нескольких различных направлениях** (Суздалева Горюнова, 2014а). Среди них наиболее значимыми как с экологической, так и социальной точки зрения являются:

**1. Формирование регулируемых водохозяйственных систем, обеспечивающих интересы всех групп водопользователей**, включая в их число и природные объекты. Существование многих природных объектов в условиях происходящих климатических изменений становится

---

<sup>23</sup>Некоторые водохранилища создаются также для обеспечения водой оросительных систем. Но в большинстве случаев эта функция водохранилищ совмещается с их использованием для производства электроэнергии.

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 удовлетворение в полном объеме всех требований водопользователей в маловодных, а иногда даже и в средневодных условиях невозможно, поэтому режим 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». Таким образом, существующие водохозяйственные системы отчасти являются реализацией на практике идеи управляемых оптимизационных ПТС, регуляторами которых, как правило, являются объекты гидроэнергетики.

Вместе с тем, постоянно возникающие конфликтные ситуации свидетельствуют о том, что эти возможности регулирования стока реализуются не в полной мере. Основная причина сложившейся ситуации заключается в недостаточной разработанности научной базы, необходимой для создания управляемых ПТС. Еще большие трудности возникают при попытках внедрить научные достижения в этой области в практическую деятельность. 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

НПУ<sup>24</sup> 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 пониженного значения НПУ Чебоксарского водохранилища, а также недоучетом в проекте ГЭС вероятности подтопления территории Нижнего Новгород и, наконец, выдачей местными органами власти разрешений на застройку затопляемых участков. Эта и многие другие конфликтные ситуации не возникали, если бы объекты гидроэнергетики на этапе их проектирования рассматривались 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 попадает в водные системы. Миграция большинства агентов химического загрязнения во многом определяется движением водных потоков, в которые они попадают. На современном этапе многие водохранилища превратились в депозитарии загрязнителей (Авакян и др., 1994; Большая Волга ..., 1994; Эдельштейн, 1998). Это дает возможность контролировать данный процесс. Например, предотвращать распространение поллютантов и осуществлять очистку локализованных загрязненных вод 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

---

<sup>24</sup>НПУ – нормальный подпорный уровень, т.е. наивысший уровень водохранилища у плотины ГЭС, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации.

эвтрофирования Каспийского моря повысилась более чем в 2 раза. Кроме того, тысячи тонн тяжелых металлов, которые в настоящее время аккумулируются в донных отложениях водохранилищ, в значительной мере осаждались бы 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, временно 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, например, 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. Так, 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, удастся 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 наводнения приводят к ухудшению санитарно-эпидемиологической и эпизоотической обстановки (Эльпинер, 2003; 2009). 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*** регулирование водного режима рек и водохранилищ и разработка превентивных мер по предотвращению ЧС и снижению их последствий. Данное направление экологической оптимизации включает весьма широкий спектр мероприятий:

- разработку режима пропусков 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, Оксюк, 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 (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 затопления 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 км<sup>3</sup> (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. км<sup>2</sup>, а с учетом подпруженных озер – 600 тыс. км<sup>2</sup> (Сухоруких, 2006). Берега большинства из них быстро заселяются. Процессы урбанизации и зарегулирования водных бассейнов взаимосвязаны и взаимообусловлены. Для населения многих индустриальных городов, например, расположенных 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 потенциалы 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.

### 3.4. СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБИННЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА

Отличительной чертой современного этапа освоения ресурсов являются ширящиеся 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. В процесс техногенеза вовлекается вся расположенная над ними толща вод. Происходит крупномасштабное нарушение структуры слоев воды – *техногенная дестратификация* моря. Как свидетельствуют геологические и палеонтологические материалы, подобные события, ранее происходившие в силу различных естественных причин, вызывали катастрофические изменения экологических условий глобального масштаба, сопровождавшиеся массовой гибелью морских и наземных организмов (Безносков, 1998б; 2000а). Последствия крупномасштабной дестратификации 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 глубинных слоев океана накопившихся там 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 остатки водорослей, оседая на дно, образовали мощные отложения, превратившиеся впоследствии в залежи писчего 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 парниковому эффекту<sup>25</sup>, наблюдающемуся сейчас. Это событие рассматривается в качестве одной из возможных причин вымирания динозавров и многих других групп организмов, существовавших в конце мелового периода.

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. По этой причине подъем холодных глубинных вод на относительно небольшом по площади участке океана способен привести к изменению 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 глубинных слоев океана могут привести к весьма опасным экологическим и социальным последствиям даже в тех случаях, когда они не сопровождаются традиционными формами воздействия на

---

<sup>25</sup>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.

окружающую среду. Оценка их последствий, прежде всего, строится на определении сопутствующих этой деятельности традиционных форм загрязнения морской среды и связанных с ними возможных воздействиях 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 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, привлекающего 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.

Поэтому своевременная разработка методов управления процессами техногенной дестратификации Мирового океана, использование которых смогло бы предотвратить катастрофические последствия сопутствующие данной деятельности, в настоящее время является 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 случаи, когда целью этой деятельности является непосредственно подъем к поверхности глубинных вод. Сюда относятся различные системы так

называемого *искусственного апвеллинга*<sup>26</sup>, использующие богатые биогенами глубинные воды для повышения продуктивности хозяйств морской аквакультуры (Пшеничный, 1986; 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; Безносков, 2003). Кроме того, как правило, глубинные воды содержат значительно меньшее количество личинок организмов-образователей, 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,

---

<sup>26</sup>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 промысла морских биоресурсов. В отличие от техногенных подъемов глубинных вод, естественные апвеллинги являются одним из элементов исторически сложившейся системы океанической циркуляции.

подводных тоннелей и, особенно, подводных взрывных работ. Следует иметь в виду, что в некоторых случаях для подъема весьма большого объема глубинных вод достаточно произвести небольшое локальное нарушение в структуре вод в зоне *термопикноклина*<sup>27</sup> (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

---

<sup>27</sup>Слой на границе двух водных масс, в котором наблюдается резкое изменение температуры (термоклин) и/или плотности вод (пикноклин).

период 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 апвеллингов 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 такие явления в целом можно квалифицировать, как достаточно распространенную форму техногенеза, способную стать причиной ухудшения состояния окружающей среды и нарушить условия жизнедеятельности населения на значительных участках, вплоть до возникновения негативных последствий глобального масштаба (Безносков, 1998а). Стартовым событием таких процессов может стать относительно небольшое нарушения стратификации, затрагивающее участок моря площадью в несколько десятков км<sup>2</sup> (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 ближайшем будущем.

**Подъем глубинных вод** в значительных масштабах способен вызвать аномальное изменение гидрометеорологических условий, затрагивающие удаленные на большие расстояния регионы, а также **может сопровождаться следующими явлениями**, способными иметь негативные последствия:

❖ Понижением температуры поверхностного слоя моря и массовой гибелью теплолюбивых видов рыб и планктонных организмов (Безносков, Суздалева, 2001а). С экологической точки зрения искусственное понижение температуры воды может рассматриваться как разновидность физического загрязнения среды (Безносков, Суздалева, 2001б).



❖ Изменением химического состава поверхностных вод. Это может заключаться в резком повышении концентрации биогенных элементов и провоцировать процессы эвтрофирования. В ряде случаев глубинные воды могут содержать и высокотоксичные вещества (например, сероводород).

❖ Изменением физико-химических условий на участках техногенного подъема глубинных вод, провоцирующим нежелательные вспышки развития некоторых видов организмов. Например, планктонные водоросли вызывают возникновение «красных приливов», сопровождающихся массовой гибелью морской биоты и представляющих 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, то есть с решением вопроса, 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 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, а также эффекты ими вызванные по своей сути не отличаются от эффектов, которыми сопровождаются аналогичные виды химического, физического и биологического загрязнения. В связи с этим для оценки отдельных воздействий, обусловленных нарушением стратификации вод, могут применяться уже

разработанные и широко используемые нормативы (ПДК, НДС 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.

Вместе с тем, любой искусственно спровоцированный подъем глубинных вод следует рассматривать как формирование ПТС. 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 ПТС, как и любые другие, могут быть неуправляемыми и управляемыми. Стихийно складывающиеся в районах подъема глубинных вод неуправляемые ПТС практически неизбежно будут вызывать описанные выше различные формы деградации окружающей среды.

Иной сценарий развития ситуации может быть реализован при создании на участках подъема глубинных управляемых ПТС, включающих использование холодных вод для получения электроэнергии<sup>28</sup> и комплексы аквакультуры, поглощающие из них избыток биогенов и токсичные вещества. В настоящее время в данной области уже реализован ряд проектов. Например, в США подобные энергобиопродукционные комплексы 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. раздел 2.2).

---

<sup>28</sup>Производство энергии 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 IV. ТЕХНОГНЕЗ ПЕДОСФЕРЫ

### 4.1. 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 их 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. Вместе 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 влияние протекающие в педосфере процессы оказывают на верхние слои литосферы Земли (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. 4.1). Так, альbedo – показатель, характеризующий способности 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, ведущие к пополнению почвенной массы – процессы почвообразования, 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 спровоцированные 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 небольших участках, занимаемых под поселения и посадки сельскохозяйственных культур. В ряде случаев эти процессы охватывали обширные регионы. Так, некоторые специалисты связывают с распашкой земель (по сути, с техногенезом) не только возникновение пустыни Сахара, но и образование сельвы бассейна р. Амазонки, на некоторые участки которой «еще не ступала нога человека». По мнению ученых, первопричиной этого являлась интенсивная эрозия почв, спровоцированная примитивными формами земледелия в верховьях р. Амазонки (Гумилев, 2007). И это, в свою очередь, стало причиной отложения мощных наносов в нижних частях ее бассейна, подпруживания ее стока и заболачивание огромной территории – современной амазонской сельвы.

**Таблица 4.1. 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
Поглощение и отражение солнечной энергии	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
Регулирование влагооборота атмосферы	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)
Регулирование газового состава и режима атмосферы	Фактор биологической продуктивности рек и водоемов	Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие слои литосферы	Связующее звено биологического и геологического круговорота веществ	Сохранение почвенного покрова Земли (педосферы) как основы жизни человечества

**Окончание таблицы 4.1.**

Взаимосвязанные с атмосферой	Взаимосвязанные с гидросферой	Взаимосвязанные с литосферой	Взаимосвязанные с биосферой	Взаимосвязанные с историей и современной цивилизацией
Источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу	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	Сохранение почвенного покрова Земли (педосферы) как основы жизни человечества



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. В тот период даже в центральных частях города значительная часть почв, ныне почти полностью запечатанная асфальтобетонными покрытиями, еще сохраняла свои естественные черты и свойства, использовалась под сады и огороды.

Мировое сообщество уже давно обратило внимание на глобализацию процессов деградации почвенного покрова (Добровольский, 2002). В 1972 г. 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 г. Международная организация по продовольствию (ФАО) приняла в 1982 г. 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 ЮНЕП<sup>29</sup> в 1990 г., было установлено, что процессами деградации уже охвачена площадь около 2 млрд. гектаров. Из них: 55,6% подвержены водной эрозии; 27,9% – ветровой эрозии; 12,2% – воздействию химических факторов (засолению, загрязнению, истощению элементами питания); 4,2% – физическому воздействию (уплотнению и подтоплению).

Характеризуя масштабы деградации почв, необходимо указать на то, что за период развития человеческой цивилизации

---

<sup>29</sup>ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде или (англ. UNEP, United Nations Environment Programme), утвержденная резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН №2997 от 15 декабря 1972 года (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.

уже было утрачено около 2 млрд. га плодородных почв. На некогда 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 1,5 млрд га.

Процесс утраты плодородных почв продолжается и в настоящее время. Ежегодно из сельскохозяйственного использования выбывает около 8 млн га за счет отчуждения на другие хозяйственные нужды и около 7 млн га – в результате различных процессов деградации. Таким образом, каждый год человечество в конце XX в. теряло около 15 млн га продуктивных угодий (Романова и др., 1993). При этом установлено, что процесс деградации почв идет с возрастающей скоростью: во второй 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 принципиальное 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. С этим связано то, что в мерах по предотвращению деградации почвенного покрова доминирует не ограничительная, креативно-ограничительная 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, препятствующих утрате принадлежащих им земель. Наиболее

древними способами является 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 ПТС.

Специалисты насчитывают более 30 типов деградации почвенного покрова (Орешкин, 2010). Столь большое количество форм, которые принимает данный процесс, обусловлен 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 обуславливает неоднозначность понимания самого термина «деградация почв» различными специалистами (Добровольский, 2002). В связи с этим следует отметить, что в монографии данный феномен трактуется в соответствие 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»<sup>30</sup>

Ограниченный объем монографии не позволяет проанализировать причины и последствия всех форм техногенной деградации почвенного покрова, а также возможности управляемых ПТС в данной области. Рассмотрим только наиболее значимые процессы и явления, к которым следует отнести:

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

---

<sup>30</sup> ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения», таблица 1, пункт 77.

## 4.2. ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ

Согласно общепринятому определению, *эрозия почвы* – это разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов почвы в результате действия воды и ветра<sup>31</sup>. 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 характеризуются двумя основными показателями: *интенсивностью смыва (или сдувания)*, выражаемой в т/га в год, и *мощностью утраченного слоя почвы в единицу времени* (мм/год). (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*. Эрозия, происходящую под воздействием техногенных факторов и приводящая к значимому изменению окружающей среды, в соответствии с принятыми определениями процесса техногенеза, следует рассматривать как одну из его форм – *почвенный техногенез* (Суздаева, 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.

На современном этапе водная эрозия является основным по своей значимости фактором деградации почв. На ее долю

---

<sup>31</sup> ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения», таблица 1, пункт 78.

приходится 83% от общей площади территорий с деградировавшим почвенным покровом (Добровольский, 2002).

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.

По своим масштабам в настоящее время преобладает водная эрозия. Она распространена на площади 1094 млн. га, тогда как ветровая эрозия – на площади в 549 млн. га (Добровольский, 2002). 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 смыл 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 коей 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 г. 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 га. Происшедшее 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 г. в США была организована Государственная служба охраны почв, а в 1939 г. был 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 гг. прошлого века после распашки больших площадей целинных земель на юге Западной Сибири, в северном Казахстане и Поволжье.

Следует остановиться еще на одном аспекте последствий ветровой эрозии. Обусловленные ей 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 эродируемые ветром почвы загрязненных территорий.

Даже в наиболее экономически развитых странах, несмотря на предпринимаемые меры, процессы техногенной эрозии почвенного покрова протекают интенсивно. 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 по причине ветровой эрозии утрачивается 20-40 т почвы/га, что в 20-40 раз превышает объемы естественного восстановления почвенного покрова.

Как уже указывалось выше, при решении проблем сохранения почвенного покрова приоритетное значение имеют инженерно-технические меры, которые в данной области обычно обозначаются терминами «агротехнические» и

«мелиоративные мероприятия»<sup>32</sup>. В полной мере это относится к борьбе с техногенной эрозией почв. Ограничительные меры, например, запрещение размещения пропашных культур на склонах, как правило, носят частный характер. Их использование наиболее эффективно в тех случаях, когда ускоренная эрозия почвы еще не началась, но угроза развития этого процесса уже существует.

**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 противозэрозионных террас.

❖ **Почвозащитные севообороты.** Они заключаются в учете факторов, усиливающих или снижающих интенсивность эрозии почв, при планировании закономерной смены сельскохозяйственных культур на возделываемых площадях (составлении севооборотов). 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 посеvy многолетних трав, промежуточных подсеvных культур, которые хорошо защищают почву от разрушения. Так, на склонах крутизной до 3-5° со слабо- и среднесмытыми почвами, где проявляется опасность проявления эрозии, предпочтение в севооборотах отдают травам и однолетним культурам сплошного сева. На более крутых склонах (крутизна 5-10°), в основном со средне- и

---

<sup>32</sup>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.

сильноэродированными почвами, в севооборотах увеличивают посевы многолетних трав и промежуточных культур, которые хорошо защищают почву от эрозии.

❖ **Агротехнические противоэрозионные мероприятия.** Наиболее распространенным 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 вод, стекающих по склонам. Еще одним из агротехнических противоэрозионных приемов на склоновых землях является замена 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 внутрипочвенный, для распыления концентрированных струй водного потока и уменьшения их скорости, для осадения 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 эрозии и 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 ПТС предполагает придание этой деятельности системного характера и возможности оперативного управления ею. Последнее особенно важно в условиях развития чрезвычайных ситуаций, многие виды которых прямо или косвенно провоцирует 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 ПТС.

#### **4.3. БОРЬБА С ИСТОЩЕНИЕМ ПОЧВ КАК ФУНКЦИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС**

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)<sup>33</sup>. 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.

---

<sup>33</sup> ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения», таблица 1, пункт 79.

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 почв своих полезных свойств с точки зрения ее использования в растениеводстве. Плодородие – это интегральная оценка не только реальной, 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, как 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 зависят плодородие почвы (Муравин, 2003) или, в более широком смысле, – ее биологическая активность, на которую ссылаются 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 и 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, мелиорация, 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 группы или вида 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 о других компонентов окружающей среды почвенный покров принципиально нельзя оградить от широкомасштабной техногенной трансформации. Для того чтобы существовать человечество вынужденно 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. По этой причине 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 обуженным, не учитывающим некоторых весьма важных аспектов. Плодородие почв – это основа биологической продуктивности большинства наземных экосистем. Их истощение может быть не связано с сельскохозяйственной деятельностью<sup>34</sup>, но вызывать деградацию обширных участков окружающей среды. Прогнозируя последствия подобных явлений, следует учитывать, что требования к почве существенно различаются у растений, формирующих природные фитоценозы, и у растений, входящих в целенаправленно созданные агроценозы.

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

Истощение почв вызывается сами 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 –

---

<sup>34</sup> Например, снижение биологической активности почв может быть вызвано изменением уровня грунтовых вод под воздействием различных техногенных факторов.

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

Предотвращение продовольственного кризиса идет двумя основными путями. Первый из них – интенсификация сельскохозяйственного производства, второй – расширение площади возделываемых земель. Оба направления представляют собой 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 ширящуюся деградацию наземных систем, биологическая активность почв, на которых они существует, снижается вследствие различных негативных техногенных воздействий, прежде всего их загрязнения.

Например, бурение нефтегазопромысловых скважин сопровождается образованием значительного количества отходов (буровых шлам 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, 1992).

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 ПТС. 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, необходимых 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 ПТС. Особенно эффективно, использование подобной природоохранной методологии может быть при крупномасштабном хозяйственном освоении новых регионов (Суздаева, Гальцова, 2015). Для этого централизованное планирование деятельности на первых этапах освоения территории должно осуществляться с учетом долговременных перспектив развития экологической ситуации (Суздаева, 2014). Еще более важно обеспечить преемственность работы органов управления состоянием окружающей среды на разных этапах освоения территории<sup>35</sup>. По

---

<sup>35</sup> В случае освоения нефтегазовых месторождений это непрерывность деятельности по защите почвенного покрова от истощений и иных форм деградации от момента бурения первых разведочных скважин до создания инфраструктуры частично урбанизируемой территории. В настоящее в число основных направлений систем экологического менеджмента (СЭМ)

сути, это одно из условий реализации на практике провозглашенного ООН «принципа устойчивого развития».

#### 4.4. УРБАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ СОЗДАНИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС

Под термином **«урбанизация почвенного покрова»** мы понимаем всю совокупность разнородных процессов, в результате и 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»**<sup>36</sup>.

---

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.

<sup>36</sup> 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, этим понятию нельзя использовать для обозначения значительных участков почвенного покрова, находящегося под транспортными коммуникациями, нередко удаленных от городских поселений на значительное расстояния или почв промзон, аэропортов и иных объектов техносферы, вынесенных за их пределы.

Например, на практике нередко возникает проблема: что еще можно считать трансформированной или насыпной почвой, а что уже является новым чисто техногенным образованием<sup>37</sup>? 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: 1) лесные природные (участки городских лесов); 2) парковые природные; 3) природно-искусственные парков, садов, бульваров и внутриквартальных посадок; 4) искусственные 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, составлявшая эти слои, в основном сохранилась?

---

<sup>37</sup> 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. 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, находящиеся на урбанизированных территориях и способные оказать значимое влияние на формирование экологических условий.**

Наиболее полно различные виды урбанизированных почв описаны в работе **М.Н. Строгановой** с соавторами (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**, **индустриземы** и **интруземы**. Экраноземы или экранированные почвы формируются под асфальтобетонными покрытиями или сооружениями. Их также обозначают термином «запечатанные почвы». Индустриземы – это почвы, сильно загрязненные тяжелыми металлами и другими токсичными веществами, которые предельно сокращает биоразнообразие почвенной биоты. Интруземы – почвы, пропитанные органическими маслобензиновыми жидкостями. Особую разновидность почв этой категории представляют собой **культуросемы** – городские почвы фруктовых и ботанических садов, старых огородов. Они характеризуются большой мощностью искусственно созданного плодородного слоя, как правило, также мощностью 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 покровом<sup>38</sup>. Создание конструктоземов – это конструирование почв по полному профилю, т.е. с различными

---

<sup>38</sup> К реплантоземам следует также отнести образования, формирующиеся в результате отсыпки плодородного слоя на урбаноземы (интруземы и индустриземы), практически утратившие свои природные свойства. Подобный тип почвенного покрова более распространен на урбанизированных территориях, чем «классические» реплантоземы, образующиеся после уничтожения всего почвенного профиля.

слоями, выполняющими функции, свойственные слоям естественных почв, но могущими иметь иной состав. Конструктозем представляет собой не рекультивированную почву, а ее искусственный аналог.

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

➤ **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.

➤ Почвенный, точнее **почвенно-растительный покров** урбанизированных территорий – **это** не только важнейший фактор формирования экологических условий на участках компактного проживания и жизнедеятельности значительной части населения планеты, это и **важнейший социально-психологический фактор** (Суздалева, 2014; 2016). Жизнь на замусоренной, вытоптанной и неухоженной земле способствует росту комплекса психологических фрустраций и деприваций<sup>39</sup>, выливающихся в рост общественного недовольства. Этот же фактор способен стать причиной роста не только психических расстройств, но и других заболеваний (Филин, 1997).

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

- восстановление и оптимизацию рассмотренных ранее его экологических функций, способствующих улучшению условий окружающей среды;

---

<sup>39</sup>В силу специфики этих явлений для их обозначения целесообразно использовать специальные термины «экологическая фрустрация» и «экологическая депривация» (Суздалева, 2015б).

- улучшение видеоэкологического потенциала урбанизированных территорий и их социальной привлекательности<sup>40</sup>.

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 ГОСТ Р 54003-2010<sup>41</sup> (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 биологических 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, утраченного в ходе градостроительной деятельности (табл. 5.2). Обычно итогом такой деятельности является создание реплантоземов и их последующее озеленение. В последующий период предпринимаются ограничительные меры, направленные на предотвращение действий, способных интенсифицировать эрозию почвенного покрова, его замусоривание или отравление

---

<sup>40</sup> Видеоэкологический потенциал – зрительно-психологическое воздействие, которое состояние территории оказывает на человека; социальная привлекательность района – степень его позитивного имиджа как селитебной территории (Суздалева, 2016).

<sup>41</sup> ГОСТ Р 54003-2010 Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Общие положения

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 вместе с этим 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. Так, 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, автору 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 креативно-ограничительной концепции. В данном контексте это подразумевает:

➤ **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 подкрепленный нормативными требованиями, он не будет реализован. Современному производителю строительных работ, несомненно, значительно выгоднее заспать торфокомпостной смесью пропитанный нефтепродуктами интрузем (нефтезем), чем снимать его и вывозить на утилизацию. А потом 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), создадут 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).

➤ **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, а в ходе дальнейшего их существования в – культуроземы. Однако одновременно с ними на урбанизированных территориях обычно остаются 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, которая в данном случае рассматривается как разновидность потенциально управляемой ПТС, 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 их использует как неорганизованные места массового отдыха – «стихийные резорты» (Суздалева и др., 2012). С одной стороны, это усиливает антропогенную нагрузку и способствует деградации почвенного покрова таких участков (замусоривание и т.п.). С другой стороны, – создает материальную основу для мер по их сохранению при преобразовании в организованные места массового отдыха. Следует обратить внимание на одну интересную особенность. В данном случае процесс

формирования управляемых ПТС<sup>42</sup> 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 ПТС в управляемые. Важнейшим условием успеха такой деятельности является сохранение на этих участках природного почвенного покрова и свойственных ему экологических функций (формирование растительности, микроклимата и др.). Следует подчеркнуть, что речь идет лишь о неблагоустроенных территориях, условия которых не представляют угрозы для здоровья людей. Стихийные резорты нередко образуются и на других участках. Так, автору монографии в ходе проведения инженерно-экологических изысканий приходилось сталкиваться с организацией стихийных резортов (даже частично оборудованных для проведения пикников) на берегах открытых участках 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 состояния почвенного покрова урбанизированных территорий (создание конструкторземов и городских резортов) вписываются в креативно-ограничительную парадигму, основывающуюся на активном управлении процессом техногенеза окружающей среды.

---

<sup>42</sup> Одним из видов их являются организованные резорты, экологическое состояние которых управляется с целью создания благоприятных условий для отдыха людей.



## ГЛАВА V. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ

### 5.1. 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 взаимосвязанную 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 производстве химического опыта.

В реальности воздействие литосферы на формирование условия 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 необходимых жизни организмов и обеспечения благоприятных условий для жизнедеятельности человека естественных минеральных и органических веществ, 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 определяется 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 и сопутствующее этой деятельности образование крупномасштабных вещественных и энергетических потоков является одним из наиболее значимых факторов наблюдающейся трансформации планетарной экологической системы, превращая ее из биосферы в биотехносферу (Тютюнова, 1987). Неслучайно, 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» (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, оказывающим 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, 1998а; 2000а). Трудно переоценить значимость влияние на биосферу тектонических процессов, вызывающих изменением 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, обеспечивая 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 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. Первый путь осуществлялся вследствие тектонических процессов, сопровождающихся подъемом участков морского дна, покрытого осадочными породами и их последующей эрозией. Второй путь, включал попадание осадочных пород в расплавленную магму, подстилающую земную кору (астеносферу), и «переплавку» в ней фосфорсодержащих осадочных пород. Это происходило в зонах надвига (субдукции), в которых океаническая кора с образовавшимися на ее поверхности осадочными породами «уходила» под материковые плиты. Часть продуктов «переплавки» осадочных пород выбрасывалась на поверхность во время вулканических извержений и вновь становилась доступной для растений. По образному выражению известного американского эколога Ю. Одума (1968), если бы извержение 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 их обвалы, возникающие в результате частичного разрушения массивов горных пород в процессах их эрозии. Изменение рельефа, вызванные экзогенными геологическими процессами, способны произвести масштабные изменения окружающей среды. Например, на месте долин могут

образоваться обширные озера, возникшие при подпруживании водотоков обвалами или оползнями, а также произойти подтопление больших участков, сопровождающихся 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 м км (Тютюнова, 1987; Добровольский и др., 2010). Эта деятельность не только сопровождается ухудшением состояния окружающей среды, но и нарушает функциональные связи между отдельными компонентами биосферы.

Системный анализ техногенеза литосферы можно осуществить, рассматривая в качестве его отдельных форм различные нарушения человеком ее естественных экологических функций, классификация которых представлена в предшествующем разделе.

## **5.2. НАРУШЕНИЯ РЕСУРСНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ И МЕРЫ ПО ИХ МИНИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС**

Трансформация ресурсной экологической функции литосферы в процессе глобального техногенеза одновременно происходит по трем основным направлениям. Первое из них – это техногенное перераспределение доступных ресурсов содержащихся в земной коре 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 – 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 вследствие наблюдающихся глобальных климатических изменений, которые, по мнению большинства специалистов, 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. Устойчивый результат возможен лишь при создании управляемых ПТС, способных контролировать процессы расхода и пополнения запасов подземных вод. В качестве их регуляторов могут быть использованы экологически оптимизированные гидротехнические сооружения и гидромелиоративные системы. Создаваемые на их базе водохранилища можно спроектировать как с учетом их использования 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, рассмотренный выше 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. 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 более рациональных агротехнических способов 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 накапливать его для последующего повторного внесения в почву. Подобные пилотные проекты, давшие обнадежившие 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), использовались 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. Многими специалистами данный процесс рассматривается как грядущий экологический кризис планетарного масштаба. Способы решения данной проблемы, как правило, вырабатываются в соответствии с ограничительной парадигмой. 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 г. 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 сельские районы, благополучные с этой точки зрения. 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 – «урбанизация» (от англ. Rural – сельский и лат. Urbanus – городской). Иными словами, рассредоточение населения крупных городов (или ограничения его роста) реально только в том случае, если освоение новых территорий, как и обустройство существующих зон аграрного производства, будут осуществляться в форме их урбанизации. Например, формально дезурбанизация отмечена в ряде западноевропейских стран. Так, население Лондона сократилось с 10588 тыс. чел. в 1970 г. до 10209 тыс. чел. в 1980 г.; население Западного Берлина с 1970 по 1980 гг. уменьшилось с 2124 тыс. чел. до 1957 тыс. чел. (Хомич, 2002). Однако это происходило главным образом за счет так называемой пригородной иммиграции и сопровождалось значительным увеличением урбанизированных территорий вокруг этих городов. В научной литературе данный процесс обозначается термином «субурбанизация». Он 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. Москва 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 природные объекты. Рассматривая данную проблему, следует вспомнить, что современная городская застройка представляет собой, так называемую урбосистему, состоящую как из комплекса взаимосвязанных техногенных, природно-техногенных и природных объектов. Наличие объектов озеленения и сети резортов (Суздалева, Безносов, 2012), т.е. мест массового отдыха, включающих сохранившиеся природные объекты, – неотъемлемый атрибут не только любого современного города, но и многих промышленных зон. Иначе говоря, функционально урбанизированные территории представляют собой в той или иной степени управляемые природно-технические системы. Экологическими регуляторами в данном случае являются объекты коммунального хозяйства, постоянно осуществляющие комплекс мер по поддержанию приемлемой санитарно-гигиенической и экологической ситуации. Повышение комфортности условий жизни в городах во многом обеспечивается созданием сети резортов, повышением их качества и совершенствованием механизмов управления их состоянием (Суздалева и др., 2012). Эти участки становятся новым местообитанием многих видов животных и растений. Таким образом, создание управляемых ПТС 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 возникновения «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 невозможной существования в их пределах большинства видов организмов. Пребывание на них человека недопустимо не только из-за наличия токсичных веществ, но и из-за развития опасных экзогенных экологических 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, 2014а). Достижение устойчивых результатов этой деятельности невозможно без создания управляемых ПТС. В свою очередь для обеспечения их функционирования необходима разработка специальных экологических регуляторов в форме комплекса систематически осуществляющихся мероприятий по химической и биологической мелиорации окружающей среды, изъятия 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. В контексте рассматриваемой проблемы неразрабатываемые техногенные месторождения – это неуправляемые ПТС – 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, а меры, предпринимаемые в рамках ограничительной парадигмы, направленные на ее устранение недостаточны. Подход к планированию разработки техногенных месторождений на базе креативно-ограничительной парадигмы, подразумевает помимо этого решение ряда других проблем в форме создания управляемых ПТС. В соответствии с общей схемой их создания (см. раздел 1.2) одним из шагов 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 в состав управляемых ПТС в качестве особых компонентов техногенных месторождений, накоплений и образований 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).

### **5.3. НАРУШЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ, ГЕОХИМИЧЕСКОЙ, ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЙ ЛИТОСФЕРЫ И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭТИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПТС**

❖ **Трансформация геодинамической экологической функции литосферы.** На современном этапе основное 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. Так, в качестве одного из распространенных проявлений данного вида нарушения экологических функций литосферы являются процессы, обусловленные рассмотренными в предшествующем разделе нарушениями гидрогеологического режима, в т.ч. 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 двоякое 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, а также усиление динамической нагрузки. В европейской части России оползни, в том числе и техногенные, известны в Москве, Нижнем Новгороде, Казани, Волгограде, Ростове на Дону, Уфе, Саратове, Воронеже, 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 г. было выявлено 140 оползней с объемом смещенных пород от 1 до 14 млн м<sup>3</sup>, из которых 82 оползня были активными. Образование крупных оползней в результате возведение 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 рассматривается в качестве одного из основных явлений, включенных в «спектр неблагоприятных воздействий гидротехнического строительства на окружающую среду»<sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup>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.



Особый вид нарушения геодинамической функции вызывается деградацией массивов многолетнемерзлых пород (ММП) 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 «темокарстов» – пустот, возникающих в результате их протаивания, 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. Воркуте 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. Данный 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 в течение весьма длительного времени. Особую опасность представляет собой возведение на таких участках жилых массивов. Но на практике подобные случаи достаточно распространены. Большинство городов в предшествующий исторический период окружало кольцо свалок. Возведение новых районов нередко осуществляется именно на этих участках, где под строительными площадками захоронены массивы различных техногенных образований. На

таких территориях 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 микрорайонов Марьинского 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  $2,15 \times 10^{17}$  Дж энергии, что соответствует реализации мощности в  $6,82 \times 10^3$  МВт. Это примерно в полтора раза превышает мощность Братской ГЭС ( $4,1 \times 10^3$  МВт) и сопоставимо с мощностью Красноярской ГЭС ( $6,0 \times 10^3$  МВт). Часть этой энергии рассеивается в окружающей среде. В результате может происходить формирование техногенных электромагнитных полей по мощности многократно, иногда на несколько порядков, превышающих

свои природные аналоги. Их параметры выходят за рамки допустимых санитарных норм и способны оказывать негативное воздействие на живые организмы (Сподобаев, Кубанов, 2000).

В качестве нарушения геофизической функции литосферы рассматривают 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<sup>44</sup>, устанавливает нарушения экологических функций литосферы, или уже оказавших, или оказывающих негативное воздействие на экологические условия, или создающих угрозу для здоровья населения. 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 более выгодно и с экономической точки зрения. Ограничения, накладываемые нормативными актами<sup>45</sup> на отдельные виды деятельности, способны лишь частично предотвратить развитие нарушений экологических функций литосферы. Эти меры почти всегда направлены на минимизацию 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 в данном случае рассматривается как нарушение геохимической экологической функции литосферы, не обеспечивают в регионах нефтегазоносных месторождений защиты подземных вод от

---

<sup>44</sup>ГОСТ Р 22.1.02-95 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения», пункт 3.2.3.

<sup>45</sup>В Российской Федерации их примером является комплекс СНиПов – Строительных норм и правил.

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 ПТС. Задачу их регулятора должен выполнять орган власти, целью которого является обеспечение устойчивого развития данного региона<sup>46</sup>. 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 (Суздаева, 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. Остающиеся после бурения хранилища отходов на длительный срок нередко остаются практически бесхозными. Принципиально изменить ситуацию возможно лишь при усовершенствовании процедуры официальной сдачи-приемки этих потенциальных источников загрязнения среды между предприятием нефтегазодобычи(разведки) и органом власти, в зону ответственности которого они переходят в последующий период. Очевидно, что для это 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, в условиях прогнозируемого потепления климата предусматривать особые меры в зонах многолетней мерзлоты при возведении зданий и при размещении объектов, продуцирующих микросейсмы и др.

---

<sup>46</sup> Т.е. концепции «устойчивого развития» принятой ООН (Марфенин, 2006).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные идеи и суждения, содержащиеся в монографии можно кратко резюмировать следующим образом:

**1.** Создание управляемых природно-технических систем с заданными природоохранными и средозащитными функциями – это единственный реальный путь сохранения благоприятной среды обитания для человека и других организмов в условиях возрастающей техногенной нагрузки на окружающую среду, обусловленной непрекращающимся ростом народонаселения, объемов мирового производства и урбанизацией. Разработка и устойчивое функционирование этих систем возможны только на основе междисциплинарного подхода к решению задач и синкретического восприятия инновационных идей.

**2.** При создании управляемых ПТС должен соблюдаться принцип «приоритета решения экологических проблем». Главной целью их создания является сохранение и улучшение условий окружающей среды. Вместе с тем приоритет решения экологических проблем не означает отказа от выполнения экологическим регулятором ПТС иных задач. Деятельность по созданию управляемых ПТС должна соответствовать провозглашенной ООН концепции устойчивого развития, в основе которой лежит взаимосвязанное удовлетворение экологических и экономических интересов.

**3.** Управляемая ПТС одновременно с выполнением главной задачи, заключающейся в стабилизации благоприятных экологических условий, может выполнять и другие задачи частного характера, направленные на предупреждение или предотвращение негативных изменений в состоянии основных компонентов окружающей среды – атмосферы, гидросферы, педосферы и литосферы.

**4.** Современная биотехносфера, формирующаяся в результате техногенной трансформации биосферы, представляет собой мозаику из взаимодействующих сохранившихся экосистем и различного рода ПТС (неуправляемых и управляемых).

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 ПТС, которые в подавляющем большинстве случаев можно отнести к категории неуправляемых. Данный процесс сопровождается экологической деградацией значительных участков окружающей среды. Вторая тенденция – это создание иерархии управляемых ПТС, 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.

5. Несмотря на теоретически обоснованную перспективность замещения ранее существовавшей иерархии экосистем иерархией управляемых ПТС, 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, то велика вероятность катастрофических явлений. Противоречие между необходимостью построения биотехносферы и высоким риском крупномасштабного ухудшения состояния среды в ходе данного процесса можно разрешить, если разработка механизмов экологического управления будет осуществляться на основе так называемой методологии восходящего проектирования (*bottom-up approach*). Она заключается в создании отдельных объектов, изначально предназначенных для последующего объединения в единую систему. Результаты функционирования таких первичных систем анализируются, и лишь после этого они постепенно включаются в качестве элементов в управляемые ПТС более высокого уровня.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ 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.

**Алексеев В.А., Дожинжер Л.С.** Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение // Лесоведение. 1981. №5. С.64-71.

**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.

**Ахмедов Р.Б.** Возобновляемые горючие энергоресурсы океанов и морей // Технико-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.

**Безнос 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.

**Безносов В.Н.** Крупномасштабное нарушение гидрологической структуры океана как стартовое событие биотического кризиса // Докл. РАН. 1998б. Т.361. №4. С. 562-563.

**Безносов 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.

**Безносов В.Н.** Экологические последствия нарушения стратификации моря // Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2000б. 42 с.

**Безносов 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.

**Безносов 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.

**Безносов В.Н., Горюнова С.В., Кучкина М.А., Попов А.В., Седякин В.П., Суздалева А.А.** Экологическая оптимизация гидротехнических сооружений: основные направления и концептуальные принципы // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2007а. №4. С.41-53.

**Безносов В.Н., Железный Б.В.** Критический объем нарушения стратификации океана способен 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.

**Безносов 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 экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С.63-64.

**Безносов 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.



**Безносов В.Н., Суздалева А.Л.** Понижение температуры поверхностного слоя водоемов как вид термального загрязнения среды // Водные ресурсы. 2001б. Т.28. №4. С.438-440.

**Безносов 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. 40 с.

**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.

**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.: Изд-во АН СССР, 1960. Т.4. 651 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: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2000. 364 с.

**Водохранилища** 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. М.: ОАО "НИИЭС", 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. Новосибирск: СГГА, 2008. 115 с.

**Всемирная** метеорологическая организация. Наш будущий климат. №952. Женева: ВМО, 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.: ВНИРО, 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., Суздалева А.Л.** Общая схема развития процесса антропогенной деградации водных объектов // Национальная ассоциация ученых (НАУ), ежемесячный научный журнал. 2015. №4(9). 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. 93 с.

**Гумилев Л.Н.** Этногенез и биосфера Земли. М.: Изд-во 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 среднегодовалый 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. М.: 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.

**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 Моск. ун-та, 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.

**Зекцер И.С.** Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.

**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. 246 с.

**Илькун Г.М.** Отфильтрование воздуха от поллютантов древесными растениями // Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. Таллин: Изд-во АН ЭССР, 1982. С.135-138.

**Карнаухов А.В.** К вопросу об устойчивости химического состава атмосферы и теплового баланса Земли // Биофизика. 1994. Т.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. Т.1. Изменения климата. М.: 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.

**Ковалева Г.В., Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В., Майорова Л.П., Матвеев 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.: Высш. шк., 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. 20 с.

**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. // Техноэкономические и экологические аспекты использования энергии океана. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР. 1985. С.3-14.

**Кузнецов А.П., Троцюк В.Я.** О масштабах бассейновых "захоронений" органического вещества в морских осадках // Известия РАН. Сер. биол. 1995. №5. С.606-611.

**Курбатова А.С., Башкин В.Н.** Отв. ред. Экологические функции городских почв М., Смоленск: Маджента, 2004. 232 с.

**Кучерявый В.А.** Урбоэкологические основы и принципы интродукции и фитомелиорации (на примере больших городов запада УССР): Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. М., 1991. 40 с.

**Лапердин В.К., Качура Р.А.** Криогенные опасности в зонах линейных природно-технических комплексов на юге Восточной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т.ХІІІ. № 2. С.27-34.

**Ларешин В.Г., Бушуев Н.Н., Скориков В.Т., Шуравилин А.В.** Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М.: РУДН, 2008. 172 с.

**Лукина Н.В., Никонов В.В.** Поглощение аэротехногенных 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.

**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. Чита, 2008. С.16-20.

**Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Комплексное использование водных ресурсов и охрана водных объектов. Ч.1. 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., 1973. 227 с.

**Мауришь А.В.** Некоторые вопросы прогнозирования в биотехносфере // Повышение рациональности использования природных условий и ресурсов Советской Прибалтики. Вып. 1. Рига, 1974. С.64-68.

**Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.** Гидрология. 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 озоновый слой. Бюллетень ВМО. 1988. Т.37. №2. С.118-121.

**Муравин Э.А.** Агрохимия. М.: КолосС, 2003. 384 с.

**Найдин Д.П., Похилайнен В.П., Кац Ю.И., Красилов В.А.** Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. М.: Наука, 1986. 262 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.

**Обухов А.М.** Контроль чистоты воздушного океана // Город, природа, человек. М.: Мысль. 1982. С.91-108.

**Одум Ю.** 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 водоэффективности // 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 46 с. (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. ... докт. геол.-мин. 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.

**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. Т30. №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 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». М.: ВИНТИ, 1991. Т.31. 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.

**Сагет 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.

**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.

**Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.** Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.

**Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П.** Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.

**Строганова М.Н., Агаркова М.Г.** Городские почвы: опыт изучения и систематика // Почвоведение. №7. 1992. 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.** Современный характер урбанизации и необходимость комплексного решения проблем экологической безопасности, безопасности жизнедеятельности и охраны труда // Экология урбанизированных территорий. №2. 2014. 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. №3. 2015б. С.12-17.

**Суздалева А.Л.** Формирование экологического имиджа производственной организации и ее продукции. М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2016. 416 с.

**Суздалева А.Л., Безносков В.Н.** Резортология: предмет изучения, востребованность и основополагающие принципы // Экология и развитие общества. №1(3). 2012. С.23-27.

**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. №3. 2012. С.29-34.

**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., Смирнова А.М.** Роль природно-технических систем в создании управляемой биотехносферы // Естественные и технические науки. 2016. №6(96). С.98-100.

**Сухоруких Ю.И.** Под ред. Основы инженерной биологии с элементами ландшафтного планирования: Учебное пособие для студентов биологических и технических специальностей. Майкоп, М.: Т-во научн. изданий КМК, 2006. 281 с.

**Тимченко В.М., Оксийук 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., Девислов В.А.** Физико-химические процессы в техносфере. 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., Харьковина 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., Харьковина М.А., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д.** Техногенная трансформация экологических функций абиотических сфер земли на территории промышленно-городских агломераций и ее последствия // Бюллетень Моск. о-ва 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 CO<sub>2</sub> 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.

**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. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 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, N957. P.13-17.

**Allan J.A.** Virtual water: a strategic resource. Global solutions to regional deficits // Groundwater. 1998. 36(4). P.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. № 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. N4448. P.1095-1108.

**Assessment of soil biodiversity policy instruments in EU-27.** Final report, February 2010. European Commission DG ENV. Bio Intelligence Service. 232 pp.

**Climate Change.** Impacts adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007. 973 p.

**Bridges E.M.** Soils in the urban jungle // *Geogr. Mag.* 1989. V.616, N9. P.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. N2. P.125-137.

**Craul P.G.** Urban soils in landscape design. New York: Macmillan, 1992. 396 p.

**Fraga S.** Harmful algal blooms in relation to wind induced coastal upwelling and plumes // *ICES Coop. Res. Rept.* 1995. N206. P.35-43.

**Friedlander S.K., Seinfeld J.H.** A dynamical model of photochemical smog // *Environmental Science and Technology.* 1969. V.3. N11. P.1175-1184.

**Gesell T.F., Prichard H.M.** The technologically enhanced radiation environment // *Health Phys.* 1975. N28. P.361-366.

**Gorham E.** Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable response to climate warming // *Ecological Applications.* 1991. N1(2). P.182-195.

**Isaacs J.D., Schmitt W.R.** Ocean energy: Form and prospects // *Science.* 1980. V.207. P.267-273.

**Leone J.E.** Marine biomass energy project // *Mar. Technol. Soc. J.* 1980. V.14. N2. P.12-31.

**Liu Clark C.K.** Mixing and marine environment (U.S. overview, part 2): Mixing of deep ocean water effluent plums in open ocean // *Int. OTEC/DOWA Ass. Newsletter.* 1995. V.6. N2. P.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. N1. P.44-49.

**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.

**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. N107. P.155-278.

**State of the World.** A World watch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. New York, London: 1994. 265 p.

**Stommel H., Arons A.W., Blanchard D.** An oceanographical curiosity: the perpetual salt fountain // *Deep-Sea Res.* 1956. N3(2). P.152-153.

**Suzuki T.** Development of large-scale artificial upwelling structures. // *Bull. Mar. Sci.* 1994. V.55. N2-3. P.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. 34. N2. P.125-142.

**Thomas D.** Ocean Thermal Energy Conversion and the Natural Energy Laboratory of Hawaii // *OTEC in aquaculture in Hawaii.* Honolulu: 1988. P.5-48.

**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. V.13. P.2563-2587.

**Wilcox H.A.** The ocean as a supplier of food and energy // *Experimentia.* 1982. V.38. N1. P.31-35.

**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. P.47-58.

*Научное издание*

**Суздалева Антонина Львовна**

**СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ  
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Подписано в печать 08.08.2016г.  
Формат 60×80 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная.

Печ. л. 10. Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО ИД Энергия.  
Адрес редакции: 109377, Москва,  
ул. Ф. Полетаева, д.13, оф.157

E-mail: [laz-energy@yandex.ru](mailto:laz-energy@yandex.ru)

Web-site: [www.energypublish.ru](http://www.energypublish.ru)