

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

**В. А. Николаев, Л. К. Казаков, Н. Г. Украинцева**

**ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ:  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ  
ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ,  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ЛАНДШАФТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)**

**Под редакцией В. А. Николаева**

Учебное пособие

Географический факультет МГУ  
2012

УДК 911.51.7 + 504.05 : 574.2

ББК 26.82

Н63

**Рецензенты:** член-корр. РАН **В. А. Снытко**  
канд. геогр. наук **Н. Н. Алексеева**

*Печатается по постановлению  
Ученого совета географического факультета  
Московского государственного университета  
имени М. В. Ломоносова*

**Николаев В. А., Казаков Л. К., Украинцева Н. Г.**

Н63 ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ (ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ  
ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНОГО СТРО-  
ИТЕЛЬСТВА): Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – 88 с.

**ISBN 978–5–89575–209–8**

Учебное пособие посвящено природно-антропогенным ландшафтам техногенного типа. Рассмотрены промышленные и транспортные геотехнические системы. С геоэкологических позиций проанализирована их структура и функционирование. Исследованы экологические последствия влияния промышленности и транспорта на окружающую среду. Обоснованы природоохранные принципы и методы проектирования, строительства и эксплуатации геотехнических систем. Обсуждаются геоэкологические проблемы ландшафтного строительства в свете перехода земной цивилизации к устойчивому развитию.

Для студентов, аспирантов и преподавателей – географов и геоэкологов.

УДК 911.51.7 + 504.05 : 574.2  
ББК 26.82

**ISBN 978–5–89575–209–8**

© Николаев В. А., Казаков Л. К.,  
Украинцева Н. Г., 2012  
© Географический факультет МГУ, 2012

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Университетская подготовка географов, специализирующихся в области ландшафтоведения, ландшафтной экологии, геоэкологии, рационального природопользования предполагает глубокое изучение всего многообразия современных ландшафтов, в том числе преобразованных хозяйственной деятельностью человека.

Курс «Природно-антропогенные ландшафты» создан коллективом сотрудников кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ под общим руководством проф. В. А. Николаева. Каждый из участников этого коллектива является специалистом, имеющим немалый личный опыт научных исследований в соответствующей области природопользования и хозяйственной организации земель. Единой научно-методической основой всех разделов курса служит *концепция природно-антропогенного ландшафта как геоэкологической системы*.

Учебное пособие состоит из трех книг. Первая была опубликована в 2008 г.<sup>1</sup> Наряду с концептуальным введением в учение о природно-антропогенных ландшафтах, в ней рассмотрены ресурсовоспроизводящие – сельскохозяйственные и лесохозяйственные ландшафты. Вторая книга,

опубликованная в 2011 г.<sup>2</sup>, посвящена средообразующим антропогенным ландшафтам – городским, рекреационным, садово-парковым.

В третьей книге анализируется структура и функционирование промышленных и транспортных геотехнических систем. Рассмотрены геоэкологические проблемы, возникающие в процессе их строительства и эксплуатации, обоснованы принципы и методы культурного ландшафтного строительства в свете перехода земной цивилизации к устойчивому развитию.

Глава I «Промышленные ландшафты» написана канд. геогр. наук, ведущим научн. сотр. Л. К. Казаковым; гл. II «Транспортные геотехнические системы» – канд. геогр. наук, ст. научн. сотр. Н. Г. Украинцевой. Концептуальным заключением учебного пособия служит гл. III «Геоэкологические основы ландшафтного строительства», написанная доктором геогр. наук, проф. В. А. Николаевым. Знакомство с литературой, приводимой по отдельным главам, позволит студентам более углубленно освоить лекционный материал, подготовить выступления на семинарах и коллоквиумах, целенаправленно проводить научные исследования в соответствующих областях прикладного ландшафтоведения и геоэкологии.

---

<sup>1</sup> Николаев В. А., Копыл И. В., Сысуев В. В. Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные). М.: Географический факультет МГУ. 2008. 160 с.

---

<sup>2</sup> Николаев В. А., Авессаломова И. А., Чижова В. П. Природно-антропогенные ландшафты: городские, рекреационные, садово-парковые. М.: Географический факультет МГУ. 2011. 112 с.

---

## Глава I

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ

### I. 1. Исходные положения и понятия

**Промышленные ландшафты (ПЛ)** – это природно-хозяйственные геосистемы, включающие материально, энергетически и организационно взаимосвязанные природные, промышленные и социальные подсистемы. Ландшафтные комплексы в них модифицированы в соответствии с технологическими особенностями промышленного производства. ПЛ можно рассматривать как геотехнические системы [26 и др.], ориентированные на создание тех или иных материально-энергетических ценностей. Как ресурсо- и товаропроизводящие геосистемы ПЛ нацелены на получение в товарном (массовом) количестве разнообразных благ, необходимых для человеческого общества, с использованием техники (промышленных установок, станков, механизмов).

Природная подсистема современных ПЛ, как правило, глубоко техногенно изменена. Изменения захватывают практически все природные компоненты исходных ландшафтов (морфолитогенную основу, приземную атмосферу, воды, биоту, почвы).

Промышленная подсистема ПЛ включает в себя производственные объекты (цеха, механизмы и другое оборудование). Её создание и функционирование ведет к появлению в ПЛ специфических техногенных веществ, видов дополнительной энергии и структурных элементов или объектов – зданий, других инженерных сооружений.

Важную роль в функционировании ПЛ играет социальная подсистема, включающая рабочие коллективы предприятий с их навыками и интеллектуальным потенциалом, рабочие поселки с жильем, коммунально-бытовыми службами, транспортной инфраструктурой и т. д., а также население прилегающих территорий. Человеческий (социальный) фактор выполняет целеполагающую, организационную и управляющую роль в структуре и функционировании ПЛ.

Все большее значение в структуре и функционировании современных ПЛ играет производственно-экологическая подсистема, включающая комплексы очистных и утилизационных производств, а также санитарно-защитные зоны и сооружения.

Структурно, функционально и по степени трансформации природы в ПЛ выделяются:

- «промплощадка», где размещены основные производственные объекты;

- «промзона», где в совокупности с промплощадкой размещены вспомогательные сооружения основных производств (склады сырья, хранилища отходов, трансформаторные подстанции и др.);
- прилегающая к промзоне, зона побочных вещественно-энергетических воздействий, рабочих поселков, дорог и прочих объектов инфраструктуры.

Как следствие различий в типах и интенсивности воздействий техногенных объектов на окружающую среду, наряду с коренной трансформацией структуры и функционирования ПЛ промзоны, заметно меняются и геосистемы сферы их вещественно-энергетического влияния на прилегающие территории.

Существует много родов, типов и видов промышленных ландшафтов (горнорудные, перерабатывающие, первичной, вторичной и т. д. стадий переработки материальных ресурсов, энергопроизводственные и др.). В процессе их создания и функционирования, в зависимости от видов производств, соответственно меняется морфологическая структура и пространственная (территориально-объемная) организация исходных природных и природно-хозяйственных ландшафтов. Изменения проявляются в сведении части лесов и других типов естественной растительности, преобразованиях мезорельефа и геологического строения, создании или уничтожении водных объектов, выравнивании, застройке территорий, изъятии из ландшафта того или иного ресурса, а также насыщении его специфическими видами техноструктур и техновеществ, а последнее сопровождается загрязнением воздуха, воды, почв и других природных компонентов отходами производств. Постепенно расширяясь и сливаясь, ПЛ становятся средообразующими объектами регионального масштаба. Все ПЛ, формирующиеся под влиянием добычи природных ресурсов, в частности, извлечения из недр разнообразных полезных ископаемых, с целью их дальнейшей переработки, а также вокруг перерабатывающих производств разных типов и стадий переработки, имеют свою специфику. Яркими примерами таких слившихся ПЛ регионального масштаба являются промышленные районы Среднего и Южного Урала, Донбасса, Кузбасса, Рура, Манчестера. К Донбассу примыкает целый комплекс ПЛ,

связанных с пирометаллургическим циклом черных металлов на Криворожском, Запорожском, Горловском, Днепродзержинском, Днепропетровском и других металлургических комбинатах.

Академик А. Е. Ферсман, анализируя глубину и масштабы техногенных геохимических и других преобразований природной среды под влиянием промышленности, еще в первой половине XX в. писал о формировании на Земле новой оболочки – техносферы.

Исследования воздействий промышленных предприятий на природную среду и техногенных трансформаций ландшафтов особенно активизировались в 60–80-е годы прошлого века. Главной причиной тому стало резкое обострение экологических проблем в зонах техногенеза. В нашей стране, прежде всего, изучались изменения природной среды в таких крупных, сильно загрязненных промышленных регионах, как Уральский, Донбасс, Центральный, КМА, а также зоны влияния крупных производств с мощными дымовыми выбросами (тепловые электростанции и металлургические комбинаты). Именно здесь отработывались методики расчета рассеивания загрязнителей в атмосфере. В этих исследованиях принимали участие ученые-природоведы разного профиля (геофизики, географы, геологи, геоэкологи-ландшафтоведы, биоэкологи и другие). К настоящему времени накопилось большое число работ, посвященных анализу процессов воздействия промышленности на окружающую среду и последствий техногенеза в природе [2, 3, 6, 8, 9, 13, 16, 18, 20–23, 25, 28 и др.]. Обоснованы и вошли в научный и практический обиход такие понятия, как техногенные ландшафты, геотехнические системы, промышленные ландшафты [7, 10, 24, 26, 27, 30 и др.]. Приняты нормативы допустимых техногенных воздействий на окружающую среду. Среди известных географов ландшафтно-экологической ориентации и их школ, внесших существенный научно-практический вклад в изучение проблем техногенеза ландшафтов и его геоэкологической оптимизации, можно выделить школы профессоров Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова Т. В. Звонковой [5, 11, 12, 23, 30] и М. А. Глазовой [7, 29], А. И. Перельмана и Н.С. Касимова [24].

## **1.2. История развития промышленных ландшафтов**

Структура и функционирование ПЛ обусловлены, прежде всего, их типом, видом и уровнем развития производства (ремесленная слобода, мануфактуры, индустриальные комплексы; горнорудные, электроэнергетические производства; ГЭС, ТЭС, угольные шахты). Они определяют

пейзажно-натуралистическое своеобразие территории ПЛ (карьерно-отвальный, застройка цехами, загрязненность и др.).

Анализ исторических и других аспектов взаимоотношения промышленного производства с природой позволяет выделить этапы и особенности формирования ПЛ – старопромышленных, индустриальных и постиндустриальных.

### **1.2.1. Старопромышленные ландшафты**

Переход от мануфактуры к машинному производству во второй половине XVIII – начале XIX веков знаменовал собой промышленную революцию, ставшую важной вехой в истории человечества и его взаимодействия с природной средой. Промышленная революция породила соответствующий тип природно-антропогенных ландшафтов, без которых уже невозможно представить развитие земной цивилизации на протяжении двух-трех последних столетий.

Промышленные ландшафты XIX в. – это территории с мелкими и средними заводами, шахтами и фабриками, со скученной малоэтажной промышленной застройкой, захламленные, задымленные, сливающиеся с рабочими поселками из домов барачного типа, с неразвитой социальной инфраструктурой. Это были очаги разрушенной природы, с беспорядочной застройкой, насыщенные помойками и свалками, с антисанитарией. Они стали символом эпохи зарождения и ранних стадий развития капитализма; времени безмерной эксплуатации рабочего человека и природы. Такого рода ПЛ были типичны для Англии, Германии и ряда других развитых стран Западной Европы того времени, стран, первыми вставших на путь капиталистического развития. В России второй половины XIX – начала XX веков ПЛ активно расширяли свои ареалы в Центральном регионе, на Урале и Донбассе. Целевой функцией формирования и существования таких ПЛ было не только производство материальных благ, но и накопление капитала. Отсюда стремление *минимизировать издержки производства, не обращая внимания на условия жизнедеятельности людей, экологическое состояние и деградацию природной среды*. Образы подобных ландшафтов, типичных для промышленных районов Англии XIX века, можно найти в произведениях Ч. Диккенса, а в русской литературе они ярко представлены в произведениях М. Горького, А. Kupрина.

### **1.2.2. Индустриальные ландшафты**

*Индустриальные ландшафты* – детище научно-технического прогресса. Они формировались на протяжении большей части XX века, продол-

жая ассоциироваться с задымленными промышленными зонами и корпусами крупных работающих предприятий, строительными площадками, насыщенными рабочей силой и техникой.

Более зрелые стадии развития ПЛ характеризуются *высокотехнологичным производством и относительно развитой социально-бытовой инфраструктурой, наличием элементов природно-экологического каркаса, сочетающегося с сильно нарушенной природной средой, насыщенной техногенным, техноструктурами, техноэнергией.*

Большинство ПЛ этого периода, несмотря на наличие экологической инфраструктуры очистных сооружений, со средним КПД очистки 90–94%, продолжали характеризоваться глубокими, масштабными, направленными и побочными изменениями природных комплексов; потреблением и порчей огромных количеств, а как следствие, быстрым истощением природных ресурсов; гигантскими выбросами загрязнителей во все среды (воду, воздух, землю).

Промышленная трансформация ландшафтов в XX в. вышла на региональный геосистемный уровень. На территории России и сопредельных стран СНГ региональные очаги слившихся ПЛ представлены на Среднем и Южном Урале, в Донбассе, в районе железорудного комплекса КМА и связанного с ним Липецкого металлургического комплекса, вокруг комбината «Североникель» в районе Мончегорска, на Кольском полуострове, в Кузбассе, в районах Экибастузского топливно-энергетического комплекса (ЭТЭК) и Карагандинского железорудно-угольного промышленного комплекса Казахстана, нефте-газовых добывающих и транспортирующих комплексов Западной Сибири, Норильского полиметаллургического комплекса и других. Хорошо известны региональные очаги слившихся ПЛ в районе Рурского бассейна в Германии, промышленных комплексов Детройта и Чикаго в США. Эти и другие крупные очаги сливающихся ПЛ с негативно измененной природой активно растут, и одной из актуальнейших задач современности является ландшафтно-экологическая оптимизация их структуры и функционирования.

Исследования показали, что размеры промплощадок с полностью деградированной или сильно измененной природой в ПЛ районов крупных предприятий по первичной переработке сырья (горно-обогатительные и металлургические производства, ТЭС и другие) достигают десятков квадратных километров; площади, занятые организованными хранилищами отходов производства, – до 1–5 км<sup>2</sup>. Сферы же морфологические и геохимически выраженных побочных взаимодействий технических и природных подсистем

в таких ПЛ составляют 15–20 км в радиусе. Полной трансформации в таких ПЛ обычно подвергаются ландшафтные комплексы уровня урочищ и их групп, иногда захватывается и уровень географической местности.

Между ПЛ появляются конкурентные связи из-за ограниченных природных ресурсов, меняется региональный природный фон территорий в целом.

### **1.2.3. Постиндустриальные, экологизированные ландшафты**

Формирование таких ПЛ связано с активным развитием экологической культуры, в том числе эколого-технологической, и переходом развитых стран в постиндустриальную стадию развития. Эта стадия развития ПЛ только начинается и проявляется главным образом в высокоразвитых странах. Она базируется на совершенствовании постиндустриальных технологий и характеризуется ростом потребности и использования интеллектуальных ресурсов человечества при минимизации потребления материально-энергетических ресурсов на единицу продукции. Ведущим фактором формирования постиндустриальных ПЛ является активно развивающаяся экологическая и эстетическая культура производства. К сожалению, таких ландшафтов пока очень мало. В настоящее время по-прежнему господствуют индустриальные ПЛ.

### **1.3. Геоэкологическая концепция промышленного ландшафта**

В концептуальных моделях ПЛ их производственно-технологические, природные и управленческие структуры представляются элементами, взаимосвязанными по принципу симбиоза или взаимной дополнительности. Они ориентированы на устойчивое, длительное и эффективное выполнение производственной задачи. Достигается это тогда, когда ПЛ, как природно-хозяйственная система, хорошо вписан и оптимизирован в природной и производственной средах. Эколого-технологические и функциональные модели таких ПЛ включают и позволяют анализировать технологические потоки сырья на входе в природно-хозяйственную систему, а также особенности его использования, влияющие на специфику отходов производства, очистные сооружения, характер и места выбросов загрязнителей. Для обоснования эффективности очистных сооружений и технологии выброса в проекты производств включаются расчеты рассеивания загрязнителей в окружающей природной среде. Тем самым косвенно учитываются способности природы разбавлять выбрасываемые загрязнители до условно приемлемых нормативных концентраций. Таким образом,

при проектировании промышленных природно-хозяйственных систем приблизительно учитывается экологическая емкость природной среды. Например, в антициклональных условиях или в ландшафтах межгорных котловин с характерными для них слабыми ветрами, штилями, температурными инверсиями дымовые выбросы накапливаются в приземном слое до концентраций, превышающих ПДК. Оседая на земную поверхность в большом количестве, они сильнее повреждают растительность, загрязняют почвы и воды. В ландшафтах приморских равнин с повышенными скоростями ветров, при тех же дымовых выбросах, приземные концентрации загрязнителей не достигают ПДК, соответственно, в этом плане, их экологическая емкость выше. Использование современных ландшафтно-экологических моделей ПЛ уже позволяет анализировать не столько разбавление выбросов в природной среде, сколько *их возможное заикливание в других смежных производствах, а также нейтрализацию, переработку и ассимиляцию загрязнителей в ландшафтах*. Для достижения этих целей применяются как технологические, так и ландшафтно-экологические подходы к планированию и проектированию территориальной организации ПЛ.

### 1.3.1. Структура и функционирование геотехнических систем промышленного типа

Анализ структуры ПЛ как природно-хозяйственных систем позволяет выделить в них природный, производственно-технологический, управленческий и социальный блоки (рис. 1).

*Природный блок* структурно и функционально делится на подсистему природно-производственных ресурсов, жестко связанную с входом в производственно-технологический блок, и подсистему природных условий среды, напрямую связанную с выходом из технологического блока и геоэкологической обстановкой в промзоне и прилегающих селитебных территориях (социальный блок).

*Производственно-технологический блок* на входе жестко связан с внешней средой, поступающими из нее сырьевыми, технологическими и людскими (трудовыми) ресурсами, на выходе – готовой продукцией и, через эколого-технологическую подсистему, выбрасываемыми отходами производства. Отходы производства – это частично использованные, рассеиваемые или транс-

формированные ресурсные вещества и энергия. Они зависят от сырья, технологии, КПД производства.

Все связи между системными блоками и их подсистемами в той или иной степени контролируются, регулируются и оптимизируются на основе эколого-экономических критериев *блоком управления*. Управление осуществляется разными методами, чаще на относительно жесткой технологической основе. Однако эффективность управления сложными производственно-технологическими и другими функционирующими системами во многом зависит от гибкости управляющих систем, а последняя – от разнообразия используемых методов и подходов. Поэтому использование в управлении и оптимизации ПЛ, помимо технологических, еще и геоэкологических методов позволяет существенно повышать эколого-экономическую эффективность их функционирования. При этом необходимо иметь в виду, что природно-производственные внутренние циклы в ПЛ представляют собой в определенной мере разомкнутые круговороты вещества и энергии.

В этих циклах и круговоротах сырьевые ресурсы сепарируются, на какое-то время задерживаются и трансформируются в продукцию и организованные отходы, а частично рассеиваются в окружающей среде. Круговороты регулируются управляющей подсистемой. В результате чего на выходе из промышленной геосистемы образуются технологически обусловленные продукты в виде новых веществ и энергии, поступающие во внешнюю среду и там рассеивающиеся (см. рис. 1).

*Промышленный ландшафт – это устойчивая совокупность технологически взаимосвязанных технических и измененных ландшафтных подсистем, созданная и сложившаяся на определенной территории, функционирующая как относительно целостное образование, выполняющее определенные хозяйственные функции (товаро-, ресурсо-, средообразующие и др.).*

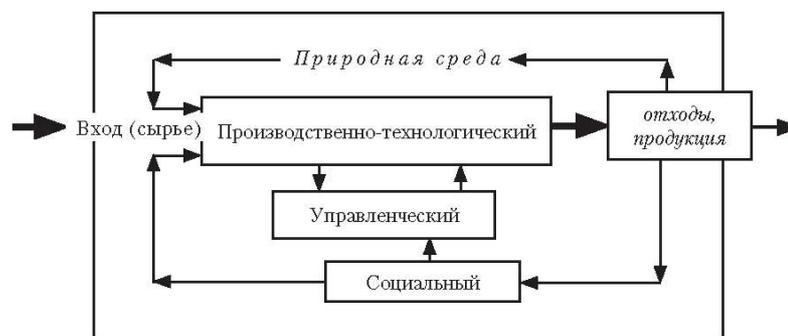


Рис. 1. Концептуальная структурно-функциональная модель природно-хозяйственной геосистемы промышленного типа

Набор и содержание блоков и технологических подсистем в разных ПЛ меняются. Это, собственно, и придает им *производственную специфику* (горнодобывающие, металлургические, электроэнергетические и др.). Размещение производств в разных природных условиях придает ПЛ *производственно-географическую* и *геоэкологическую специфику*. Тем не менее, у всех производств выделяются подсистемы – ресурсно-мелиоративная (подготавливающая, улучшающая сырьевые ресурсы и условия среды), обеспечивающая внешние условия производства, производственно-технологическая, защитно-восстановительная (экологическая) и координирующая их управленческая. Все они связаны не полностью замкнутыми круговоротами вещества, энергии и информации. Внутренние круговороты в промышленной геотехсистеме можно представить в виде схемы взаимосвязанных подсистем, определяющих эффективность производства: природно-ресурсная подсистема – технологическая – подсистема природных условий – снова природно-ресурсная или социальная – технологическая – социальная. Особо выделяется влияющая на ПЛ внешняя социально-экономическая подсистема (условия жизни и уровни образования трудового коллектива). Чем лучше развит этот блок, тем эффективнее и безопаснее работают природно-хозяйственные системы ПЛ.

### 1.3.2. Промышленные ландшафты – нуклеарные геосистемы

Любое промышленное производство со сферами его вещественно-энергетического влияния на окружающую среду можно представить и анализировать в виде модели нуклеарной геотехсистемы [25]. Исследования разнообразных ПЛ показали, что антропогенные изменения в природной среде в зонах влияния промышленных производств весьма неоднозначны и зависят от интенсивности, продолжительности и характера их взаимодействия.

До недавнего времени, наблюдая поздние стадии деградации природы ПЛ, в которых использовались примитивные технологии производств XIX – первой половины XX веков, считали, что структура их природной составляющей упрощается. Однако сейчас выяснилось, что процесс формирования структуры ПЛ более сложен. Так, при незначительных, локальных или на начальных стадиях хозяйственных воздействий ландшафтная структура промышленных и других природно-хозяйственных систем, наоборот, усложняется и становится более разнообразной, мозаичной, по сравнению с исходной. Она обогащается экотонными модифицированными геоконструкциями, на-

ходящимися под влиянием различных антропогенных нагрузок и обладающими неодинаковой к ним устойчивостью.

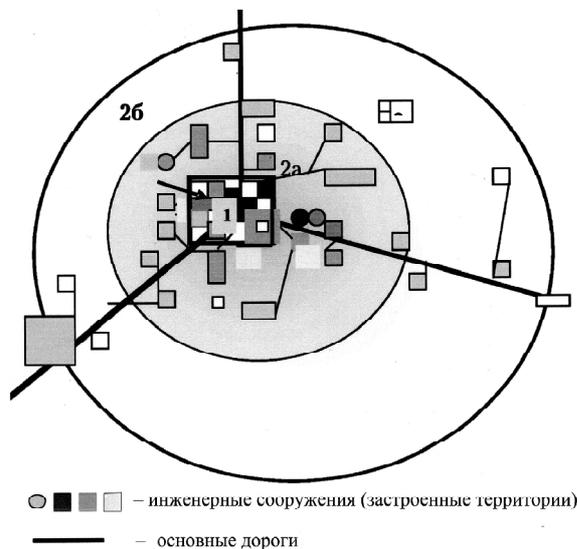
Хозяйственно-модифицированные геосистемы порой более продуктивны и устойчивы по сравнению с естественными, так как лучше адаптированы к антропогенным воздействиям. Например, смешанные леса на месте хвойных, в зонах атмосферного загрязнения, более продуктивны и устойчивы, по сравнению с исходными. Однако для них характерны сильные флуктуации в состояниях (структуре, функционировании, продуктивности) при экстремальных значениях природной среды. Так, в зонах даже слабого задымления при засухах, активнее идет усыхание древостоя, в осенний период раньше заканчивается вегетация и начинается листопад.

С увеличением же антропогенных нагрузок и времени их воздействия начинается активное отмирание наименее устойчивых элементов геоконструкций, сглаживаются различия между близкими геосистемами. Например, в разных ПТК начинают доминировать один или два вида растений, наиболее устойчивых к данному виду воздействий (мелколиственные леса на месте хвойных и смешанных). В результате снижается разнообразие и устойчивость ландшафтов, упрощается их структура. Границы между сохранившимися геоконструкциями становятся более резкими, возрастают градиенты, интенсивность латеральных потоков. Например, в зонах сильного промышленного задымления, слабонарушенная растительность аккумулятивных и трансаккумулятивных местообитаний вверх по склонам резко сменяется техногенными пустошами с деградированной разреженной растительностью и смытыми почвами в трансэлювиальных и элювиальных ландшафтных комплексах верхних частей склонов и выпуклых водоразделов. Причем, в зонах хронического задымления, процесс деградации с отмиранием, например, хвойных лесов в ландшафтах, наименее устойчивых к воздействиям выбросов, содержащих оксиды серы и азота, в зависимости от их концентрации, может растягиваться на 15–30 лет.

Упрощение ландшафтной структуры происходит при планировке территории, обязательной для строительства промышленных предприятий. Бульдозерами срезаются и растаскиваются по площадке поверхностные породы с выпуклых поверхностей, а депрессии рельефа засыпаются мелкоземом и становятся менее выраженными. Естественная растительность уничтожается, частично заменяется первичными растительными группировками или монокультурой газонов.

В результате трансформаций природной составляющей промышленные ландшафты приоб-

ретают геоэкологическую структуру нуклеарного типа (рис. 2). Её ядро – это *производственно-технологическая зона* (промплощадка) с фрагментами сильно измененной природной подсистемы, почти полностью контролируемой и управляемой человеком. Застройка территории очень плотная. Характеризуется преобладанием техногенного рельефа, заасфальтированных уча-



**Рис. 2.** Территориальная структура промышленных ландшафтов: 1 – промышленная площадка; 2а – промзона с вспомогательными сооружениями локальной инфраструктуры; 2б – экотонные зоны диффузного взаимовлияния промышленного производства – промплощадки и прилегающих ландшафтов

стков, «техноземов» (насыпные замусоренные почвогрунты), технологически организованного и рассеянного техношества, деформированным гидрологическим и гидрохимическим режимом, искусственными посадками растений. Ядро ПЛ окружают следующие экотонные структуры.

*Промышленная зона* с элементами вспомогательных, сопутствующих и прочих производств, очагами селитбы, складскими и транспортными объектами, связанными с инфраструктурой территории. Застройка ее территории значительно разрежена. Однако она характеризуется повышенным загрязнением воздуха, за счет слабо организованных низких выбросов (утечек, вентиляционных и др.) и наложенных на них высоких выбросов из дымовых труб. Промышленные элементы в этой зоне разделены ажурной структурой сильно трансформированных и деградированных ландшафтных комплексов. Их организация в значительной степени контролируется технологическими процессами, при этом она характеризуется сильными флуктуациями из-за случающихся сбоев в работе оборудования. В свою очередь, природные составляющие структуры ПЛ так или

иначе влияют на ресурсный потенциал и экологические условия производства.

*Зона диффузного, побочного влияния* хозяйственной деятельности. Ее организация контролируется в основном модифицированными природными факторами, а экосостояние, еще и выбросами из дымовых труб. С геоэкологических позиций она характеризуется тем, что на фоне незначительных морфологических повреждений природы, встречаются очаги средне-, реже – сильно нарушенной растительности. Ее экологическое состояние опосредованно влияет на производство путем поддержания благоприятных или неблагоприятных геоэкологических условий в ПЛ.

*Формы и границы природно-хозяйственных систем ПЛ*, а также пространственная организованность их элементов заметно различаются в зависимости от типа производства и условий окружающей среды.

Технические элементы, представленные на рис. 2, как разнообразные инженерные сооружения производственного и вспомогательного назначения, включают в себя цеха, административные здания, склады и вспомогательные производства, трансформаторные подстанции, топливозапасники, временные рабочие поселения, очистные сооружения, водозаборы, пруды отстойники, золоотвалы и шламохранилища, транспортные подсистемы (дороги, ЛЭП, трубопроводы, конвейеры) и др. Все они, а также природно-техногенные и искусственные элементы экологического каркаса (газоны, древесные насаждения на промплощадке), характеризуются геометрически правильными очертаниями (прямоугольные, линейные, округлые) с относительно ровными, четкими границами. В пределах промплощадки их значительно больше, и они формируют технологически ориентированную систему взаимосвязанных элементов – «техноидов». За пределами промплощадки их размещение носит преимущественно диффузный характер, с группировками повышенной плотности вдоль дорог. В селитебных зонах они уплотняются и структурируются.

Природно-ресурсные и природно-экологические элементы ПЛ, представленные модифицированными природными комплексами (оставшиеся фрагменты бывших лесных массивов, закустаренных и заболоченных луговин, подпруженные водоемы и др.), имеют не прямолинейные, а часто нечеткие, диффузные границы и геометрически неправильные формы контуров. Например, фрагменты сохранившегося, в разной степени трансформированного растительного покрова с большими или меньшими вкраплениями инженерных сооружений (вспомогательных строений, дорог, отходохранилищ, ЛЭП и т. д.). Как правило, модифицированные природные комплексы

образуют ажурную сеть, более плотную к периферии или границам ПЛ, либо входят в состав ландшафтно-экологического каркаса территории (часто вдоль береговых линий водоемов, эрозионных форм и др.).

#### 1.4. Типы промышленных ландшафтов

Выделяются два основных типа ПЛ, различающиеся по характеру обмена веществом и энергией:

- ПЛ *присваивающего типа*, формирующиеся под влиянием ресурсодобывающих отраслей промышленности (изымающих из природной среды ресурсы);
- ПЛ *производящего типа*, формирующиеся под влиянием перерабатывающих отраслей промышленности.

##### 1.4.1. Промышленные ландшафты присваивающего типа

Наиболее глубоко и масштабно изменения в природной среде и облике территорий проявляются в ПЛ присваивающего типа, например, с карьерно-отвальными геоконструкциями горнодобывающих производств. Здесь коренным образом меняется морфолитогенная основа (рельеф и геологическое строение) ландшафта и связанные с ней прочие его свойства. Яркими примерами ПЛ присваивающего типа могут быть горнодобывающие железорудные комплексы КМА, старых железорудных и угольных комплексов Урала, угольных – Подмосковного, Экибастузского (северо-восточный Казахстан) и Канско-Ачинского топливно-энергетических комплексов (ТЭК), алмазодобывающие Мирного (Якутия) и других. Они характеризуются огромными карьерами и разнообразными, часто пылящими и дымящими отвалами вскрышных пород, активной эрозией вдоль бортов карьеров и на всевозможных отвалах, множеством дорог для вывоза добываемого сырья и вскрышных пород. Почвенно-растительный покров в таких ПЛ фрагментарен, а его восстановление сильно затруднено и замедлено. На рис. 3 показаны фрагменты ПЛ с типичными гигантскими карьерами КМА, склоны которых террасированы, а по террасам проложены дороги для вывоза вскрышных пород и руды автомобильным и железнодорожным транспортом. Доля ПЛ с карьерами открытых разработок месторождений в железорудной промышленности сейчас составляет более 80%, а в угольной – около 40%.

Характерными примерами ПЛ с производствами присваивающего типа являются также:

- геотехнические системы ПЛ Донбасса и Кузбасса. Их морфологическая структура отли-

чается множеством шахтных выработок и просадок земной поверхности над ними, пылящими, а иногда и дымящими, загрязняющими окружающую среду оксидами серы и углерода, терриконами, в виде сопков и холмов из пород вскрыши и штрековых отвалов;

- типичные для некоторых районов Средней и Восточной Сибири грядово-мелкохолмистые природно-антропогенные ландшафты, с переработанными драгой аллювиальными отложениями россыпных месторождений золота по долинам рек и ручьев;
- природно-хозяйственные комплексы нефтегазодобывающих районов с насыпными площадками вокруг скважин, горящими и дымящими факелами сжигаемых попутных при нефтедобыче газов, угнетенным и усыхающим под их влиянием разреженным лесом, отстойниками и полями разливов буровых растворов, скваженных, иногда соленых вод, конденсата и нефти (рис. 4).

Техногенные новообразования из вскрышных и отработанных пород, со шлейфами рассеивания мелкозема живых и заброшенных карьеров с ветвящейся дендритовидной или веерной структурой шлейфов эрозионного расчленения прилегающих территорий и других, занимают в ПЛ огромные площади. Сферы внешнего влияния открытых разработок более чем в 10 раз превышают площади самих карьеров. Эти землёмки маргинальные элементы природно-антропогенных ландшафтов – результат побочного воздействия на прилегающие территории промышленных природно-хозяйственных комплексов присваивающего типа.

Оставаясь длительное время без растительного покрова, карьерно-отвальные комплексы ПЛ, кроме неприглядного внешнего облика, создают множество экологических проблем. Прежде всего, это сильно пересеченный рельеф с активными эрозионными и другими неблагоприятными и опасными геоморфологическими процессами, затрудняющими хозяйственное использование как самих карьерно-отвальных комплексов, так и прилегающих территорий. Карьерно-отвальные комплексы, шахты и технология их разработки сильно влияют на гидрологический режим и гидрогеологические условия территории, а также эколого-гигиеническое состояние водоемов. Проявляется это в изменении обводнённости территории и режиме стока (падают уровни воды в водоемах и подземных вод, снижается дебит водозаборных скважин, высыхают колодцы, формируются депрессионные воронки, локально возможно поверхностное подтопление территорий). Меняется химический состав вод, состав гидробионтов и их биопродуктивность. Падает урожай-



*Рис. 3. Фрагменты промышленного ландшафта Губкинского карьера*



*Рис. 4. Промышленный ландшафт с усыхающим, разреженным сосновым лесом вокруг скважин в районах нефтегазодобычи (Западная Сибирь)*

ность и качество сельскохозяйственной продукции. Активизируются эрозия, заиливание водоемов, а в северных районах – термокарстовые процессы.

Кроме того, карьерно-отвальными комплексами загрязняется приземная атмосфера и образуются переувлажненные слои мелкозема на земной поверхности прилегающих территорий. Например, на полях вокруг гигантских карьеров КМА и вдоль дорог, по которым вывозят из них железную руду, хорошо виден красноватый налет железной пыли. Отвалы угольных месторождений часто еще и дымят, загрязняя воздух прилегающих территорий оксидами серы и углерода, а у их подножий формируются активные делювиально-пролювиальные шлейфы.

Практика показывает, что отработанные и заброшенные карьерно-отвальными комплексами и прилегающие к ним сильно трансформированные территории способны к самозарастанию

растительностью, стабилизирующей опасные инженерно-геоморфологические процессы даже в полупустынях, северной тайге на многолетней мерзлоте и типичной тундре. Растительность медленно, но верно заселяет обнаженные участки техногенно нарушенной морфолитогенной основы ландшафта. Так, на живых (отсыпаемых), к тому же тлеющих и дымящих отвалах экибастузского угольного карьера, расположенного в подзоне сухой степи, можно наблюдать «карабкающиеся» вверх по их склонам разреженные растительные группировки. В условиях острого дефицита влаги выше всего растительность поднимается по эрозионным бороздам и ложбинам, на склонах северных экспозиций. Здесь же она имеет наибольшее проективное покрытие. Однако процессы самозарастания и стабилизации карьерно-отвальных комплексов, с восстановлением почвенно-растительного покрова, идут медленно, осо-

бенно в районах с резко выраженными лимитирующими гидротермическими условиями, на крутых склонах, и если на поверхность выходят токсичные грунты.

Сильно пересеченный рельеф карьерно-отвалных комплексов затрудняет хозяйственное использование их территорий даже после отработки месторождений. Особенно остро это ощущается в освоенных районах с дефицитом свободных земель. Поэтому такие ландшафты рекультивируют (восстанавливают) с целью их дальнейшего хозяйственного использования.

На самозарастание отвалов, их рекультивацию и возникающие при этом экологические и технико-экономические проблемы влияют технологии разработки месторождений и складирования вскрышных пород (селективное, раздельное, смешанное; конвейерные, железнодорожные, автомобильные отвалы). Участки с уничтоженной в результате разливов нефти и соляных растворов растительностью, зарастают мохово-травяным покровом даже в лесоболотных, лесотундровых и северо-таежных ландшафтах Западной Сибири. При этом интенсивность самовосстановления растительности зависит как от местных ландшафтных, так и широтно-зональных условий, в частности положения загрязненных или механически нарушенных участков на элементах и формах рельефа, экспозиции склонов. Рекультивация таких техногенных ландшафтов ставит перед проектировщиками немало геоэкологических проблем, но и раскрывает широкий простор для ландшафтно-планировочного творчества.

#### **1.4.2. Рекультивация техногенных ландшафтов горнодобывающей промышленности**

Крупные месторождения полезных ископаемых обрабатываются последовательно десятилетиями. По мере отработки отдельных участков на них проводится рекультивация, что заметно улучшает экологическую обстановку в формирующихся здесь ПЛ. Поэтому для структуры таких ландшафтов типичны не только живые обрабатываемые карьеры и отсыпаемые отвалы, но и геоконструкции, находящиеся на разных этапах и стадиях рекультивации и самовосстановления.

Различают инженерно-технический (геолого-геоморфологический) и биологический этапы рекультивации. Первый этап включает:

- инженерно-планировочные мероприятия по общему выполаживанию территории, то есть созданию благоприятного для намеченной хозяйственной деятельности или близкого к естественному рельефа, с пологими склонами;
- нанесение на подготовленную таким образом поверхность плодородного нетоксичного слоя

грунта мощностью не менее 10–15 см для быстрого восстановления растительности.

Биологический этап рекультивации включает восстановление растительного и почвенного покрова. Практика показывает, что наилучший эффект на этом этапе рекультивации достигается при использовании в высеваемых травосмесях и древесно-кустарниковых насаждениях местных видов, в том числе растений-сидератов, повышающих плодородие почв.

В зависимости от направлений предполагаемого хозяйственного использования рекультивируемой территории выделяют следующие виды рекультиваций:

- сельскохозяйственная (подготовка территории под сельскохозяйственные угодья путем выравнивания, нанесения плодородного слоя почвогрунтов, внесения удобрений, выращивание травосмесей, повышающих плодородие почв);
- лесохозяйственная (небольшая планировка и посадка древесных культур);
- рекреационная (небольшая планировка поверхности, искусственное задернение и облесение, создание и обустройство водоемов, дорожек и т. д.);
- водохозяйственная (создание на месте бывших карьеров водоемов, их окультуривание для рыборазведения, водоснабжения и других целей);
- для промышленного и гражданского строительства (выравнивание, стабилизация);
- санитарно-гигиеническая (обеззараживание, очистка объекта);
- природоохранная, направленная на нейтрализацию и консервацию токсичных пород и загрязнителей, на восстановление растительности на территориях, не планируемых к хозяйственному использованию на ближайшую перспективу.

Инженерно-техническая рекультивация – это наиболее трудоемкий и затратный процесс рекультивации. Его эколого-хозяйственная эффективность выше, а стоимость ниже тогда, когда он осуществляется в едином технологическом комплексе «вскрыша – рекультивация», либо «вскрыша – раздельное складирование пород – рекультивация». При этом рекультивация идет одновременно с разработкой месторождений. В первом случае, породы, перекрывающие рудное тело или другие полезные ископаемые, вывозят в отвалы и сразу, по мере их отсыпания рекультивируют. Во втором случае, в зависимости от типа вскрышных пород, их разрабатывают по слоям и вывозят в разные отвалы, а затем, используя соответствующие технологии, проводят рекультивацию.

При инженерно-технической рекультивации трансформация рельефа направлена на выполаживание склонов отвалов, бортов карьеров, выравнивание дна карьеров и поверхности отвалов, с последующим засыпанием выположенных склонов и слабонаклонных поверхностей плодородным слоем почвогрунта. При этом выполаживание крутых откосов отвалов и бортов карьеров может осуществляться путем их сплошной планировки, либо в форме террасирования. Обычно углы выполаживания техногенного рельефа при его рекультивации, в зависимости от вида рекультивации и планируемой хозяйственной деятельности, составляют 5–15° (до 20°) на откосах и бортах и от 1–3° до 3–5° на верхних поверхностях отвалов и днищах карьеров. При рекультивации карьеров и отвалов, расположенных в балках и оврагах, целесообразно создание таких гидротехнических сооружений, как плотины, дамбы, водоотводные каналы. В некоторых случаях, с целью стабилизации склонов и выполаживания поверхностей, их укрепляют различного рода решетками, цементными растворами, синтетическими смолами и т. д.

Правильно выбранная крутизна выполаживаемых склонов, даже в условиях островной многолетней мерзлоты и каменистых грунтов Средней Сибири, может существенно ускорять их естественное самозарастание лесом. За счет нанесения на выположенные поверхности мелкозема интенсивность самозарастания увеличивается. В лесостепной зоне ЕТР разница в проективном покрытии пологих и крутых склонов 8–20-летних отвалов нетоксичных грунтов может достигать 10–25%. Что касается разнообразия видов в растительных сообществах, то крутые склоны заметно уступают пологим. На токсичных грунтах, содержащих, например, в большом количестве сульфиды, самозарастание тоже идет, но весьма замедленно. Оно может быть ускорено путем нанесения на выположенные поверхности изолирующего слоя нетоксичного грунта и мелкозема.

Рекультивировать приходится и сильно загрязненные разливами нефти земли ПЛ в районах нефтедобычи. Однако здесь на первое место по трудоемкости выходит не инженерная планировка рельефа, а биологические и биохимические методы нейтрализации загрязнителя и зарастивания территории. В целом же следует подчеркнуть, что возможности рекультивации, ее стоимость, скорости восстановления растительного покрова и его качество в значительной степени зависят не только от техногенных факторов, но и от самой природы рекультивируемых ландшафтов, их зонально-климатических, литоэдафических и других особенностей. Так, самозарастание и стаби-

лизация отвалов пород и поверхностей с нарушенным почвенно-растительным покровом в лесостепной и лесной зонах, при прочих равных условиях, идет в 5–10 раз быстрее, чем в сухостепной и пустынной зонах.

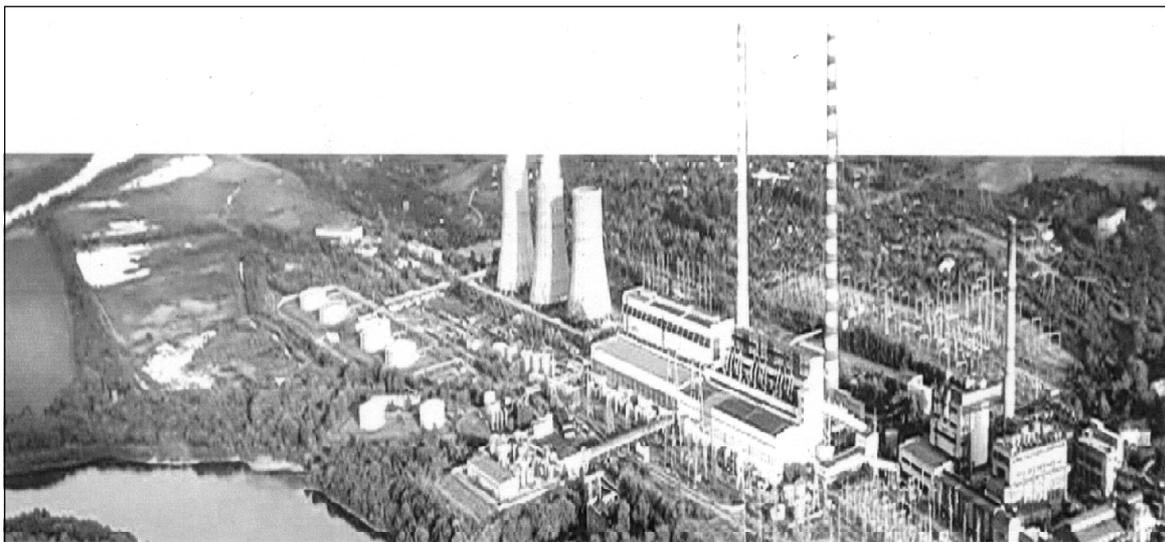
### 1.4.3. Промышленные ландшафты производящего типа

Подобные ПЛ формируются в районах размещения различного рода перерабатывающих и воспроизводящих производств. Их можно типизировать по отраслевой ориентации производства. Выделяются, например, ПЛ металлургических, машиностроительных, химических производств, ПЛ, формирующиеся под влиянием производства строительных материалов, лесоперерабатывающих производств, энергопроизводственные и т. д. (рис. 5, 6).

По стадиям переработки сырья и материалов, а также глубине и специфике технологической переработки исходного сырья на предприятиях, формирующих структуру и экосостояние окружающих природно-хозяйственных ландшафтов, ПЛ можно разделить на следующие подтипы:

- первичной, высокоотходной стадии переработки сырья (с обогатительными и выплавляющими производствами), с сильно загрязненными и негативно трансформированными ландшафтами больших санитарно-защитных зон (например, Норильск-никель, Мончегорский медно-никелевый и Нижнетагильский металлургический комбинаты);
- второй, экологически менее опасной стадией переработки сырьевых полуфабрикатов и материалов, со значительно загрязненными промзонами и заметно трансформированными ландшафтами санитарно-защитных зон (металлопрокатные, электрометаллургические, тяжелого машиностроения, асфальтобетонные и другие производства);
- третьей и последующих высокотехнологичных стадий переработки полуфабрикатов и производства сложных изделий, с малоотходными предприятиями, небольшими санитарно-защитными зонами, представленными скверами и садово-парковыми ландшафтами (станко- и машиностроительные, радиоэлектронное производства).

Подтипы ПЛ, в свою очередь делятся на виды, выделяемые по более тонкой отраслевой или технологической специализации ведущих производств (тепловые электростанции – ТЭС на угле или на газе, предприятия пирометаллургического цикла черных или цветных металлов, мартеновские печи или конверторы на предприятиях черной металлургии), геохимической и другой



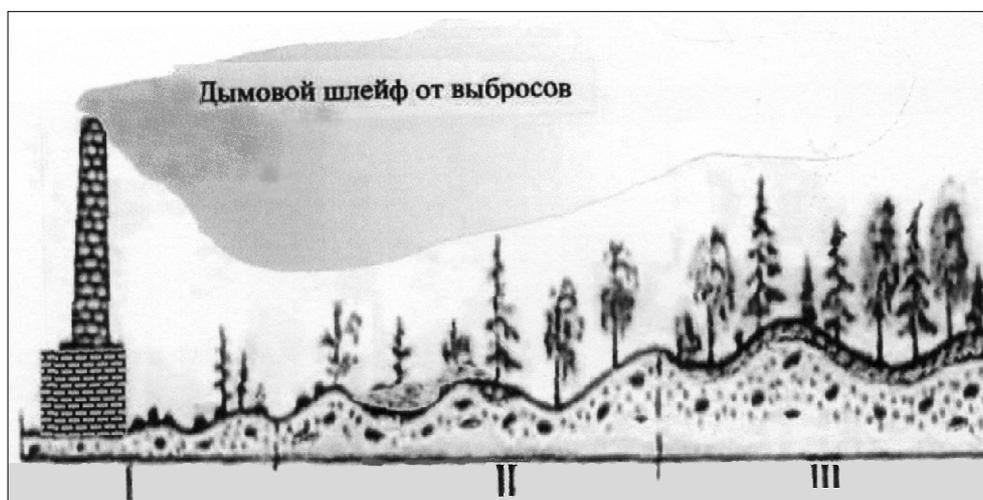
**Рис. 5.** Типичный вид промышленного ландшафта в районах размещения мощных ТЭС (Конаковская, Каширская и др.)

специфике, объемам и видам загрязнения или другим воздействиям на окружающую среду, местам выбросов загрязнителей, наличию и КПД эколого-технологических устройств, характеру повреждения ландшафтов.

Проанализируем геоэкологическую специфику основных подтипов ПЛ производящего типа.

**ПЛ высокоотходных производств** по первичной и вторичной переработке сырья, формируются под влиянием обогатительных и аглофабрик, выплавляющих металлургических с коксохимией или нефтехимических комплексов, ТЭС и др. Для этих природно-хозяйственных систем производящего типа характерны наиболее мощные выбросы загрязнителей в атмосферу, сбросы грязных стоков в водоемы, шлаков, золы и

шламов на земную поверхность. Поэтому здесь часто наблюдаются сильные негативные изменения в структуре, функционировании и облике естественных ландшафтов. Так, металлургический комплекс с доменными печами на миллион тонн выплавляемой стали в виде отходов выбрасывает на земную поверхность около 800 тыс. тонн шлаков. Если разложить комбинат пиromеталлургического цикла на составляющие производства, то по основным выбросам в атмосферу загрязнителей доминируют аглофабрики. На их долю приходится более 40% выбросов пыли, около 60% диоксида серы, 77–79% выбросов окиси углерода и более 25% – окислов азота. По выбросам бенз(а)пирена основной вклад – более 72% от всех выбросов загрязнителей в атмосферу дают



**Рис. 6.** Зоны нарушения почвенно-растительного покрова смешанно-лесного ландшафта под влиянием дымовых выбросов промышленных предприятий: I – полной деградации (до 5–10 км); II – сильного повреждения (10–15 км); III – умеренного и слабого нарушения (12–18 км)

коксохимические заводы. На предприятиях цветной металлургии шлаков и шламов выбрасывается еще больше. При этом они более токсичные, из-за высоких концентраций тяжёлых металлов. Характерными техногенными составляющими промзон ПЛ данного подтипа обычно являются склады для хранения огромных запасов сырья и полуфабрикатов, дробильно-обогажительные под-

рых металлов, фтор и др.). Дымовые выбросы промпредприятий первых стадий переработки сырья оказывают наиболее масштабное по площади воздействие на прилегающие ландшафты (см. рис. 6). Основные загрязнители, поступающие в атмосферу с дымовыми выбросами таких промышленных производств, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные загрязнители промышленных дымовых выбросов

Промышленные производства	Типы и состав выбрасываемых загрязнителей	
	Аэрозоли, пыль	Газообразные выбросы
ТЭС, котельные и промышленные печи	Зола, сажа	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, альдегиды (НСНО), органические кислоты, бенз(а)пирен
Черная металлургия и коксохимия	Пыль, оксиды железа	SO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , фтористые, цианистые соединения, органические вещества, бенз(а)пирен
Цветная металлургия	Пыль, соединения специфических тяжелых металлов	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , фтористые и цианистые соединения, бенз(а)пирен
Промышленная нефтепереработка	Пыль, сажа	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, меркаптаны, кислоты, альдегиды, углеводороды и др. канцерогены
Химическая промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , кислоты, органические вещества, растворители, летучие вещества, сульфиды и др.)
Горно-добывающая промышленность (рудная, угольная и т. д)	Пыль, сажа	CO, SO <sub>2</sub> , фтористые соединения, органические вещества

системы, подготавливающие сырье для переработки в основных производственных комплексах, цеха главных производств (литейно-выплавляющее, энергогенерирующее и др.), шламо- и шлакохранилища, густая транспортно-технологическая сеть, средне- (высотой 30–100 м) и низковысотные системы дымоудаления с очистными сооружениями и вентиляции, котельные, градирни или другие парящие установки для охлаждения. В таких ПЛ, кроме промзон с технологическими сооружениями, с сильно трансформированным рельефом, почвами и растительностью, огромные площади занимают маргинальные (побочные) природно-антропогенные комплексы. Это прилегающие к промплощадкам и промзонам эродированные, загрязненные отходами производств природно-антропогенные ландшафты, с деградированным почвенно-растительным покровом. Маргинальные ландшафтные комплексы формируются в зонах побочного воздействия основных и вспомогательных производств. На больших площадях растительность в них повреждается и уничтожается механически или загрязнителями дымовых выбросов (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, соединения тяжё-

Загрязняемые дымовыми выбросами территории ПЛ могут быть рекультивированы химическими мелиорациями. Наиболее распространенной из них является известкование почв. Оно применимо при кислотных воздействиях на ландшафты диоксидов серы и азота, а также при загрязнении их тяжёлыми металлами. Известкование увеличивает поглотительную способность почв и ведет к замещению в поглощающем комплексе почв ионов водорода на кальций. При этом происходит нейтрализация среды, сорбция и перевод тяжёлых металлов в малоподвижное состояние. Одновременно кальций способствует коагуляции почвенных коллоидов, что улучшает структуру почвы. На таких почвах растения значительно меньше поглощают тяжёлые металлы. Другим способом почвенной мелиорации загрязненных почв ПЛ является внесение органических веществ – торфа, навоза, гумусового слоя. Органическое вещество, как хороший адсорбент, повышает буферность почв, а улучшая обеспеченность растений необходимыми элементами питания, содержащимися в органике, увеличивает их устойчивость к загрязнителям.

**ПЛ с предприятиями второй, третьей** и последующих стадий переработки сырья и полуфабрикатов (металлообработка, станко- и машиностроение, электроника) и формирующимися вокруг них природно-хозяйственными системами, являются значительно менее ресурсо- и энергоемкими. У названных производств заметно меньше отходов. Соответственно, они меньше загрязняют природную среду, а значит более экологичны. Поэтому в таких ПЛ меньшие площади приходится на маргинальные, деградированные комплексы, а экологическая обстановка значительно лучше, чем в ПЛ с предприятиями по первичной переработке сырья.

Характерными морфологическими чертами ПЛ с предприятиями высоких стадий переработки является плотная застройка инженерными сооружениями и большие площади с твердым покрытием земной поверхности, относительно резкие границы между элементами производственной, зеленой природно-экологической и селитебной зонами. Элементы производственного, селитебного и природно-экологического комплексов здесь более четко структурированы. Взаимодействуя на определенной территории они формируют характерную для данного вида производств структуру ПЛ. Этот подтип ПЛ обычно относительно неплохо сочетается с природно-хозяйственными системами селитебного типа, в частности, их городского подтипа. Он входит в состав городского ландшафта в качестве промзоны. Причем селитебные и производственные структуры и их функционирование в таком ландшафте часто взаимодополнительны. Особой сложностью для анализа и оптимизации организационной структуры обладают крупные промышленные ландшафты на урбанизированных территориях. Они включают в себя разнообразные сочетания типично техногенных, городских или селитебных, рекреационных и лесохозяйственных природно-антропогенных ландшафтов, в том числе лесопарковых, санитарно-защитных, парковых и садовых лесонасаждений, а иногда и агроландшафты.

В процессе развития и совершенствования промышленного производства соответствующие им природно-хозяйственные ландшафты меняются. В высокоразвитых странах господствуют промышленные ландшафты, формирующиеся под влиянием перерабатывающих производств второй, третьей и более высоких стадий переработки сырья. В них для получения высокотехнологичной продукции потребляется значительное количество интеллектуальных ресурсов и сравнительно немного сырья и энергии. Поэтому такие промышленные производства малоотходны, а ПЛ экологически безопасно сочетаются с агро-

и селитебными ландшафтами. Отношение территорий производственных и селитебных комплексов к площадям маргинальных ландшафтных комплексов в подобных ПЛ, преобладающих в развитых странах, значительно больше единицы. Одним из направлений оптимизации указанного соотношения природно-антропогенных деградированных и хозяйственно осваиваемых культурных ландшафтов является глубокая переработка и максимальное использование изымаемого из природной среды ресурса.

Оба типа ПЛ существуют практически во всех странах. Однако ПЛ присваивающего типа обычно господствуют в слаборазвитых странах, экспортирующих большую часть добываемого сырья. Они характеризуются наличием множества маргинальных, сильно деградированных природно-антропогенных комплексов. Второй тип ПЛ с производящими – перерабатывающими предприятиями преобладает в высокоразвитых странах, почти полностью потребляющих свое сырье в высокотехнологичном производстве и дополнительно импортирующих сырье или его полуфабрикаты из отсталых стран. Их типичными примерами являются большинство стран Западной Европы и Японии. Например, в Японии на ПЛ перерабатывающих производств приходится более 90% их общей площади, а в России, в железорудных и нефтегазовых регионах, наоборот, доля ПЛ первого типа по занятым площадям может достигать 70–90% (Западная Сибирь, Урал). Соотношение площадей, занятых ПЛ первого и второго типов, а также производственных элементов ПЛ второго типа и маргинальных геокомплексов показывает уровень экономического и технологического развития страны, ее научно-производственную культуру и экологическое благополучие.

### **1.5. Изменения природной среды под воздействием промышленного производства**

Основными факторами, трансформирующими природную среду промышленных регионов являются:

- строительство и эксплуатация промышленных предприятий и их вспомогательных сооружений, включая объекты транспортной инфраструктуры, что сказывается на всех ландшафтных компонентах и их свойствах на локальных уровнях;
- изъятие из природной среды тех или иных ресурсов;
- масштабное воздействие промпредприятия на природную среду дымовыми выбросами;
- сбросы загрязненных вод и твердых отходов на земную поверхность и в водоемы.

### 1.5.1. Закономерности поступления и рассеивания промышленных выбросов в атмосфере

Наиболее масштабное негативное влияние на прилегающие к промпредприятиям ландшафты оказывают дымовые и другие выбросы загрязнителей в атмосферу. Натурные обследования и расчетные модели зон возможного загрязнения приземной атмосферы вокруг крупных промпредприятий позволили в 80–90-е годы прошлого века выбрать и официально утвердить в нашей стране методики расчета рассеивания загрязнителей и распределения их приземных концентраций в воздухе вокруг источников выбросов [1, 2 и др.]. Исследованиями рассеивания выбрасываемых в атмосферу загрязнителей установлено, что приземные их концентрации, поступления к земной поверхности и зоны распространения зависят от особенностей атмосферной циркуляции (переноса, перемешивания, оседания) и других природных условий, высоты выбросов, их температуры, удельного веса загрязнителей, а если это пыль или аэрозоль, то и размеров частиц.

Для металлургических, горно-рудных, химических и некоторых других производств характерны организованные выбросы из нескольких низких и средневысотных труб, а также множества низких вентиляционных и других относительно холодных выбросов из различных цехов. Поэтому наиболее высокие приземные концентрации наблюдаются непосредственно на их промплощадках и постепенно убывают по мере удаления. В отличие от них мощные современные

ТЭС и электрометаллургические комплексы имеют хорошо организованные горячие выбросы из единичных (2–3) высоких труб (180–300 м). Причем, с увеличением высоты выбросов, с квадратичной зависимостью увеличивается интенсивность рассеивания загрязнителей, в результате их приземные концентрации уменьшаются. Например, с увеличением высоты выбросов в 2 раза, приземные концентрации загрязнителей снижаются в 4 раза. Соответственно, загрязненность приземной атмосферы вокруг таких производств существенно меньше. Однако убывает она с расстоянием от ТЭС и других источников с высокими выбросами менее равномерно [11, 12, 19]. Исследованиями и расчетами установлено, что зоны возможных высоких приземных концентраций загрязнителей и связанных с ними повреждений в ландшафтах вокруг таких источников дымовых выбросов, как правило, распространяются на расстояние 15–25 высот труб. Причем, максимальные разовые приземные концентрации загрязнителей и, соответственно, существенные повреждения биоты в этой зоне распределяются не равномерно, а в виде неустойчивых локальных очагов. Кроме того, и у таких производств, с хорошо организованными, высокими дымовыми выбросами есть менее мощные неорганизованные низкие выбросы, связанные с вентиляцией, утечками, технологическими особенностями и др. Накладываясь на приземные концентрации загрязнителей от высоких дымовых выбросов, они формируют устойчивую зону повышенного загрязнения непосредственно вокруг промплощадки (рис. 7, 8).

Разная плотность окраски очагов в зоне 2 на рис. 8 означает, что на общем фоне поврежденной растительности встречаются очаги более сильного ее повреждения, связанные с изменением направления ветра и эпизодическим опусканием дымового факела, соответственно, более высокими приземными концентрациями загрязнителей.

Эти закономерности распределения загрязнителей на территориях, прилегающих к промпредприятиям, могут существенно нарушаться, если имеются орографические препятствия: например, в межгорных котловинах, а также при сильно деформированной (вытянутой) розе ветров, при антициклональных условиях циркуляции атмосферы, температурных инверсиях, изотермиях и штилях.

Зола, пыль и сажа, взаимодействуя с атмосферной влагой, как правило,

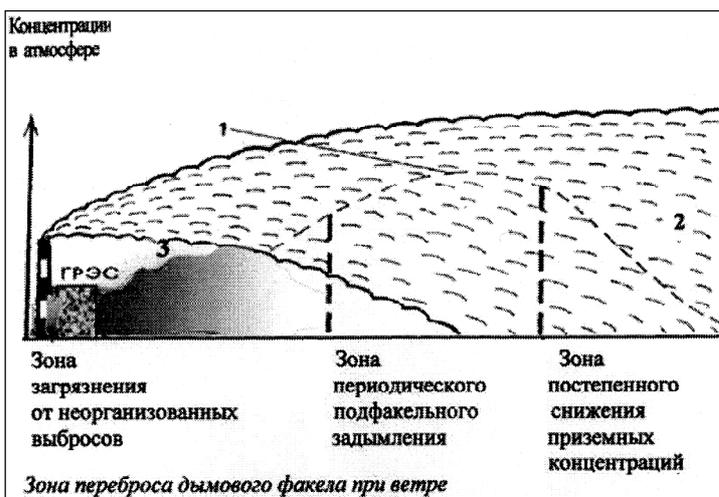
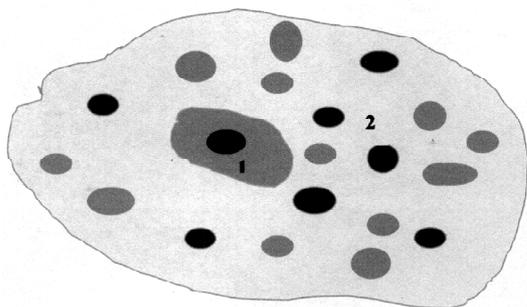


Рис. 7. Схема рассеивания и распределения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы под факелом высокогорного источника выбросов (ГРЭС): 1 – значения расчетных максимальных разовых приземных концентраций загрязнителей под факелом высоких выбросов (по методике ОНД-86); 2 – распространение дымового шлейфа от высокой трубы; 3 – зона загрязнения от неорганизованных вентиляционных и других низких выбросов



**Рис. 8.** Особенности распределения загрязнителей в приземной атмосфере и повреждений растительности вокруг источников с высокими дымовыми выбросами: 1 – зона устойчивого повышенного загрязнения от наложения высоких и слабо организованных низких выбросов, с сильно- и среднеповрежденной растительностью (промзона и прилегающие территории); 2 – зона очагового, эпизодически повышенного (подфакельного) загрязнения, выделяемая по максимально-разовым приземным концентрациям загрязнителей, с очагами поврежденной растительности

подщелачивают атмосферные осадки, а основные газообразные загрязнители дымовых выбросов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ), непосредственно вредно влияя на биоту, с атмосферной влагой образуют еще и слабые кислоты, слегка подкисляющие атмосферные осадки, почвы и водоемы.

В результате оседания и подоблачного вымывания из атмосферы загрязнителей в зонах сильного влияния крупных металлургических комбинатов на  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности может выпадать от 500 до 2000 т золы и пыли в год, а вокруг мощных ТЭС, работающих на угле, – 100–1000 т/год.

Кроме поступления к земной поверхности загрязнителей из атмосферы, в промзонах и на прилегающих к ним территориях формируется множество различных отходовранилищ (свалок, шламо- и золоотвалов), площади которых могут достигать 1–3  $\text{км}^2$ . Высыхая и переувлажняясь, они тоже формируют зоны или очаги повышенного загрязнения. Из-за этого ПЛ с первично перерабатывающими производствами свойственна высокая ресурсоемкость. Она определяется, во-первых, высокой удельной землеемкостью на единицу стоимости выпускаемой продукции, а также значительными площадями маргинальных ландшафтов, формирующихся вокруг отходовранилищ, в зонах дымовых и других побочных воздействий производств на природную среду; во-вторых, значительным технологически обусловленным потреблением воды и других ресурсов, сопровождающимся загрязнением и порчей еще большего их количества.

В ПЛ с ресурсоемкими производствами, выбрасывающими в окружающую среду загрязни-

тели, необходимо дополнительное изъятие земель под строительство землеёмких очистных сооружений для дымовых и прочих выбросов. Соответственно, очень важными функциональными и структурно-организационными элементами ПЛ становятся инженерные комплексы по улавливанию, утилизации или консервации отходов производства. Они, в свою очередь, тоже требуют земельных ресурсов для создания значительных по площади санитарно-защитных и водоохраных зеленых зон, снижающих вредное влияние загрязняющих производств на окружающие ландшафты.

### 1.5.2. Роль промышленного водопотребления и сточных вод в функционировании аквальных геосистем

Промышленность воздействует на ландшафты путем изъятия из водоемов воды для различных технологических и других нужд и сбросами в водоемы загрязненных стоков разного происхождения и подогретых охлаждающих вод. Для приведения их хотя бы к нормам ПДК, например, загрязненных сбросных вод, иногда требуется 5–10-кратное их разбавление чистыми водами. Наиболее крупными потребителями воды для технологических нужд, помимо гидроэнергетики, являются крупные металлургические комбинаты, тепловые и атомные электростанции, изымающие и сбрасывающие в водоемы десятки и сотни кубометров воды в секунду, а также текстильное и целлюлозно-бумажное производство. Например, на выпуск 1 т искусственных тканей требуется до 3000, а целлюлозы – около 1400  $\text{м}^3$  воды. Однако примерно 90% изъятной из водоемов для технологических нужд воды возвращается обратно, в том числе в виде загрязненных стоков. Загрязненные стоки требуют очистки и разбавления чистой водой, порой в десятикратном размере. Рек, способных по объемам стока удовлетворять такие потребности промышленности в воде и выдерживающих гигантские нагрузки по объемам загрязненных стоков без серьезных негативных экологических последствий, уже нет. Поэтому прямочных систем водоснабжения крупных промышленных производств на реках практически не осталось. В проектах их строительства предусматривается обратная система водоснабжения с использованием специально созданных водохранилищ, либо водоемки производства размещают на имеющихся крупных водохранилищах комплексного назначения. Например, хорошо известны специально созданные пруды-водохранилища около металлургических комбинатов на Урале, мощный Череповецкий комбинат, размещенный

на Рыбинском водохранилище, Конаковская ГРЭС – на Ивановском водохранилище или система прудов-водохранилищ в Вышнем Волочке, где было развито текстильное производство. Однако мелкие предприятия продолжают использовать реки для водозабора и сброса стоков; кроме того, в естественные водоемы, в том числе мелкие реки, продолжают поступать промливневые и бытовые стоки. В малых реках, протекающих через промышленные зоны, происходят существенные изменения химического состава вод – увеличивается их минерализация, количество взвешенных веществ, изменяется соотношение главных ионов, из гидрокарбонатно-кальциевых они порой становятся сульфатно-кальциевыми или сульфатно-хлоридно-натриевыми, возрастает их пространственно-временная неоднородность, увеличиваются концентрации токсичных микроэлементов (ртути, кадмия, свинца, ванадия и др.) как во взвеси, так и в растворе. Токсичные элементы поглощаются и концентрируются микроорганизмами, мигрируют по пищевым цепям, адсорбируются органикой, накапливаются в донных отложениях.

Наибольшее количество технологической воды изымается для охлаждения оборудования и сбрасывается подогретой, с потерей на дополнительное испарение. Кроме того, влияние на ландшафты и водные системы оказывает строительством отводных каналов и трубопроводов, плотин, очистных сооружений, технологических водоемов (охладителей, отстойников и др.). Они становятся неотъемлемыми элементами морфологической и функциональной структуры промышленных ландшафтов.

По происхождению и источникам загрязнения сточные воды с предприятий и территорий промышленных ландшафтов можно разделить на такие группы: 1) воды поверхностного стока (ливнёвка) с загрязненных территорий предприятий, промзон, хвостохланилищ и золоотвалов, дорог и населенных пунктов; 2) промышленно-технологические воды; 3) воды рудничные, шахтные, буровых скважин; 4) хозяйственно-бытовые; 5) сельскохозяйственные (с подсобных хозяйств, теплиц, ферм, МТС и др.). Для каждой из групп характерна своя ассоциация преобладающих загрязняющих веществ. Например, шахтные и рудничные воды обычно характеризуются кислотной реакцией (рН), высокой минерализацией и содержат большое количество рудных, порой токсичных, элементов, сконцентрированных в растворах и взвесах. Источником загрязненных вод в ПЛ могут быть и стоки с породных и рудных отвалов, промплощадки горно-обогатительных комбинатов, стоки буровых растворов, сопутствующих вод и нефти из скважин, при ее добыче.

Наиболее разнообразны по степени загрязнения и составу загрязнителей сточные воды технологических систем. Если взять для примера тепловые электростанции (ТЭС), то в зависимости от назначения технологической системы можно выделить следующие виды их стоков:

- воды системы охлаждения конденсаторов;
- регенерационные и промывочные воды водоподготовительных систем для подпитки пароводяного цикла и конденсатоочисток;
- воды, загрязненные нефтепродуктами при их утечке и маслами, от различного оборудования;
- воды системы гидрозолаудаления;
- обмывочные воды поверхностей нагрева парогенераторов;
- сточные воды с системы водоочистки;
- концентрированные кислотные-щелочные растворы после химической очистки теплосилового оборудования.

На состав и степень загрязнения сточных вод влияют тип оборудования, уровень его эксплуатации, вид используемого топлива и другие факторы. Все стоки с тепловых электростанций и их промзон, за исключением вод с систем охлаждения, относятся к категориям загрязненных, подлежащих очистке.

Сточные воды систем водоподготовки образуются при промывке различных фильтров, продувке осветлителей, за счет дренажей реагентного хозяйства. Они содержат растворенные соли в количествах до 20–30 г/л, механические частицы, кислоты и щелочи, определяющие колебания значений рН от 1 до 13.

Отложения на конвективных поверхностях нагрева котлов и воздухоподогревателей увеличивают сопротивление в газовом тракте и температуру уходящих газов, что снижает КПД станции. В результате обмывок этих поверхностей нагрева, на ТЭС, работающих на сернистом мазуте, в обмывочных водах появляется серная кислота в концентрациях до 0,4–0,5% и соединения ванадия, никеля, содержащихся в золе мазута в высоких концентрациях. На станциях, использующих твердое топливо, в этих стоках содержатся механические примеси, фтор, мышьяк, в зависимости от типа угля и его месторождения, соли различных тяжелых металлов.

Загрязнение сточных вод ТЭС нефтепродуктами в концентрациях около 100 мг/л связано с эксплуатацией мазутного хозяйства, утечками трансформаторного и турбинного масел, охлаждением подшипников. При большом мазутном хозяйстве на станциях, работающих на жидком топливе, мазут с утечками может попадать в теплые сточные воды с конденсаторов и ливневые стоки.

Осветленные сточные воды с золошлакоотвалов содержат в больших количествах гидроокись кальция, фтор, соединения мышьяка, ванадия, ртути и других токсичных элементов, серную и сернистую кислоты. Зола с подсохшей поверхности золоотвалов рассеивается на прилегающих территориях, загрязняя воды поверхностного стока, меняя их pH.

Высококонцентрированные стоки, образующиеся при химических промывках основного оборудования (конденсаторов, паронагревателей и др.) в периоды профилактического ремонта, весьма токсичны, поэтому их содержат отдельно в специальных хранилищах.

Сбросы охлаждающих вод с конденсаторов имеют максимальные объемы. При нормально работающем оборудовании, они считаются нормативно чистыми и отводятся по сбросным каналам непосредственно в водоемы, но их температура на 8–12° выше температуры воды на водозаборе. Это может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для водоемов. В частности, прохождение этих вод через конденсаторы и повышенное испарение с поверхности подогретых водоемов-охладителей увеличивают минерализацию воды в водоемах.

Энергетический аспект проблемы взаимодействия производств, в том числе ТЭС и АЭС, с окружающей средой порожден интенсивным развитием и концентрацией их мощностей. Принципиальная схема работы любой тепловой электростанции определяет наличие «холодильника», которым, по сути, является природная среда, куда, помимо воды, отводится отработанное тепло. Средняя традиционная ТЭС имеет КПД 32–35% и требует для выработки 1 квт/ч электроэнергии примерно 2500–2770 ккал, из которых 1700 ккал бесполезно рассеивается в атмосфере. С дымовыми газами выбрасывается примерно 310 ккал, а остальные 85% – 1460 ккал отводится с охлаждающей водой. Станции в 1 млн кВт мощности на охлаждение требуются примерно 25–30 м<sup>3</sup> воды в секунду. Современные ТЭС имеют мощность 2–3 млн кВт. Рек, выдерживающих такую нагрузку по водозаборам и сбросам стоков, немного, поэтому для них строят или их размещают на больших водохранилищах. Их активная циркуляционная зона водохранилищ-охладителей должна соответствовать мощности ТЭС, исходя из расчетов 6–9 м<sup>2</sup> площади водоема, в зависимости от широты и других региональных особенностей местности, на каждый кВт ее мощности.

Наличие нескольких типов систем охлаждения на ТЭС позволяет проектировщикам ставить и решать оптимизационные задачи – сбрасывать

тепло в водоем, либо строить градирни\*, с потерями воды в два раза большими. При этом оптимизация процесса производства электроэнергии ориентируется на такие показатели: стоимость воды, наличие и стоимость территории и строительства при создании огромных водохранилищ, стоимость инженерных решений, стоимость энергозатрат, эколого-географическое их обоснование. Однако, подобными решениями не устраняется само «тепловое загрязнение», а лишь опосредуется через те или иные теплоносители с целью экономической выгоды. Вся энергия, которая была выработана, все равно перейдет в окружающую среду и значительная часть ее в виде тепла.

В настоящее время основная часть тепла сбросных вод просто отводится в атмосферу через испарение и турбулентный обмен с прудами-охладителями. Это увеличивает влажность и теплосодержание приземных слоев воздуха. Повышенная влажность, в свою очередь, увеличивает поток скрытого тепла между водоемом-охладителем и прилегающей территорией, что связано с фазовыми переходами и большой теплоемкостью воды. С другой стороны, увеличение влажности уменьшает эффективное излучение, что тоже может оказывать отепляющее воздействие на прилегающие территории. При одной и той же начальной температуре, например 10°С, но при разной влажности – от 4 до 12 мб, эффективное излучение уменьшается от 0,15 до 0,11 ккал/см<sup>2</sup> в минуту, что соответствует уменьшению ночного выхолаживания от 12 до 8°С.

Исследования показывают, что дополнительное поступление тепла и влаги (2–3%) от сбросов подогретых вод на территориях, прилегающих к водоемам-охладителям и градирням, увеличивает влажность воздуха, повторяемость туманов и даже осадки. Проявление изменений в ландшафтах от промышленных сбросов тепла на прилегающую к водоему-охладителю территорию зависит от природных факторов и температурных характеристик самого водоема.

Сбросы теплых вод, кроме прямого воздействия, повышения влажности, увеличения атмосферных осадков, повторяемости туманов, стимулирует и выпадение загрязняющих веществ в непосредственной близости от источников загрязнения атмосферы.

Расчеты распространения и интенсивности охлаждения тепловых сбросов, вычисление площадей активной зоны в водоемах – одна из важных задач проектирования любых ТЭС. Дело в том, что рост температуры воды на водозаборе

\* Градирня – сооружение для охлаждения воды атмосферным воздухом, применяется в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

ведет к большим потерям в выработке электроэнергии, увеличению водозабора и снижению КПД станции. В освоенных регионах большие размеры водоемов-охладителей и промплощадок (10–20 км<sup>2</sup>), большие водозаборы и безвозвратные потери в водоеме-охладителе могут накладывать ограничения на мощности ТЭС. Кроме того, возможны неблагоприятные экологические сдвиги в перегретом водоеме (активизация размножения сине-зеленых водорослей, гельминтов, вредных бактерий, кишечной палочки, дефицит кислорода, снижение органолептических свойств воды, угнетается развитие и растет заболеваемость рыб и др.).

Зоны влияния тепловых сбросов крупных ТЭС занимают площадь в десятки квадратных километров, простираясь вниз по течению рек на 30 и более км. Так, влияние сбросов Каширской ГРЭС, при прямоточной системе охлаждения, фиксировалось вниз по Оке на 30–40 км; а считающийся удачным вариант сброса теплых вод Конаковской ГРЭС, мощностью 2,4 млн кВт, в Мошковичский залив Иваньковского водохранилища определяет зону влияния в 14–16 км<sup>2</sup>. По силе воздействия здесь выделяются подзоны сильного, среднего и слабого переменного подогрева. Однако воздействие на водоем сбросов колеблется в зависимости от количества и устойчивости стока. Так, в зимнюю межень, около половины волжской воды, поступающей в Иваньковское водохранилище, проходит через конденсаторы Конаковской ГРЭС, а ее теплосодержание повышается примерно в три раза. При работе уровня водохранилища уменьшается и площадь водной поверхности Мошковичского залива, а сильное течение вдоль правого берега может выносить теплую воду с температурой 9–12° в основную часть акватории водохранилища. Понижение температуры по всей длине залива в этом случае не превышает 1,5–2°С. В этот период влияние тепловых сбросов ГРЭС видимо достигает максимума как по силе, так и по расстоянию. Весеннее наполнение Иваньковского водохранилища увеличивает активную площадь залива. Снижение температуры воды до ее поступления в устье залива достигает 4–5°С, а водозапасы водохранилища сводят к минимуму влияние сбросов на водоем. Такое характерное распределение температур в водоемах-охладителях имеет важное значение для водоема в целом не только в экологическом плане, но и в плане его физических и гидрохимических показателей. В частности, зимой, когда большая часть водоема покрывается льдом, в зоне подогрева образуется полынья, что значительно улучшает его кислородный режим. Около полыньи, образованной сбросами Конаковской ГРЭС (пло-

щадью 10–12 км<sup>2</sup>), содержание кислорода в воде колебалось от 8 до 104 мг/л. На контроле, вне зоны влияния подогретых вод, его содержание уменьшалось и составляло 6,5 мг/л (44,6% от насыщения) – 0,55 мг/л (3,7%). В то же время на прилегающих к полынье территориях увеличивается туманообразование.

Прогревание водоемов-охладителей в поздневесенний и летний периоды до 30°С снижает интенсивность фотосинтеза. Одновременно резко возрастает скорость окисления органического вещества и уменьшается интенсивность поступления сюда кислорода из воздуха.

Низкое содержание кислорода и повышение температур усиливает токсичное действие вредных веществ, способствуя их накоплению в живом организме и миграции по пищевым цепям.

Повышенное испарение увеличивает жесткость воды в водоемах-охладителях. Общая жесткость и минерализация воды в водоемах-охладителях могут возрастать в 3 раза по сравнению с водой естественных водоемов. Так, в озерах, используемых в качестве охладителей для Шатурской ГРЭС, общая жесткость воды возросла от 1,0 мг/эquiv в 1939 г. до 3,0–3,2 мг/эquiv в 1980 г. Минерализация воды в системе водоемов-охладителей Шатурской ГРЭС характеризовалась в тот период такими показателями: 200–220 мг/л в циркуляционной зоне против 30–100 мг/л в за дамбой. Реакция воды всюду слабощелочная 7,0–7,9 рН. Среднегодовая температура охлажденной воды 10–14°С. Увеличение жесткости воды и загрязнение водоемов, обеспечивающих водоснабжение ТЭС, уменьшают проходные сечения трубков конденсаторов, увеличивают шероховатость их стенок. В результате повышается гидравлическое сопротивление в трубках и, соответственно, увеличиваются нагрузки на циркуляционные насосы, а также уменьшается теплопроводность стенок. Это уменьшает перепад температуры на конденсаторе, что снижает КПД станции, определяя перерасход топлива, ухудшение ее экономических показателей и еще большее загрязнение окружающей среды.

Взаимодействие ТЭС с окружающей средой путем забора чистой и сброса загрязненных и подогретых вод изменяет гидрологический и термический режим, санитарное состояние водоемов, а также нарушает структуру сформировавшихся в них ранее гидробиоценозов. В аридных районах, из-за повышенного испарения, эти сбросы могут вести к засолению и иссушению прилегающих к охладителям территорий, в гумидных районах – к увеличению повторяемости туманов в холодное время года, повышающих приземные концентрации загрязняющих веществ.

### 1.5.3. Техногенное загрязнение природной среды

Принятые в нашей стране постановления об охране атмосферы от загрязнения и экологическом обосновании проектов (1960–1980 гг.) активизировали многочисленные исследования по выявлению зон влияния промышленных предприятий на окружающую среду. Модельными объектами таких исследований чаще становились мощные источники загрязнения, такие как ТЭС, обычно имеющие всего 2–3 высоких трубы, и металлургические комбинаты, с множеством низких и средневысотных, рассеянных выбросов. В этот период были приняты санитарно-гигиенические нормативы для человека предельно допустимых концентраций (ПДК) в атмосфере таких загрязнителей, как пыль, оксиды серы и азота. Заметно меньше работ посвящено анализу поступления и перераспределения загрязнителей в ландшафтах, а также анализу реакции и трансформации ландшафтов при разном их загрязнении [7–9, 18, 24, 28–30 и др.]. В качестве примера рассмотрим воздействия на ландшафты и их составляющие крупных тепловых электростанций (ТЭС).

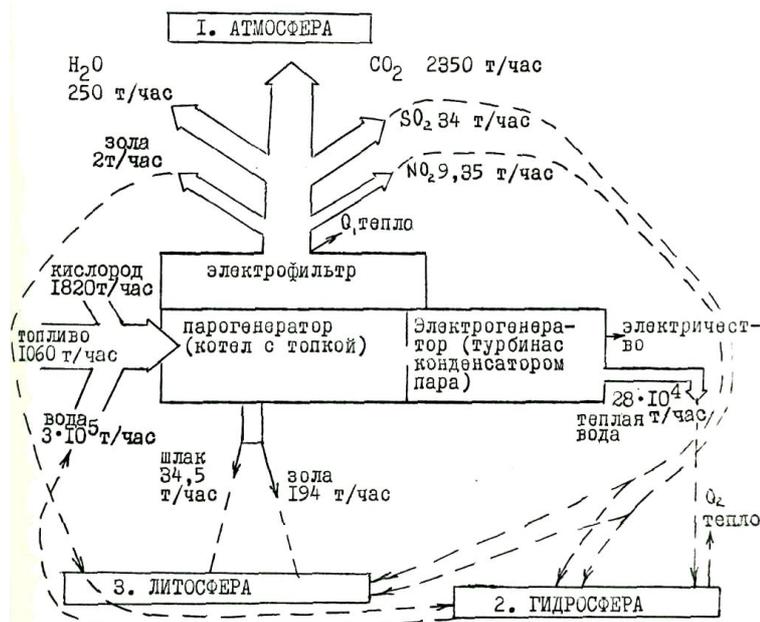
Особенности функционирования тепловых электростанций и их влияние на природную среду показаны на рис. 9. Здесь представлена схематическая модель энергопроизводственной геоэкосистемы, с ее важнейшими элементами и связями. Как открытая система, помимо использования внутренних, местных ресурсов, она подпитывается из окружающей среды необходимыми для производства веществами и энергией, поставляет в нее свою продукцию и выбрасывает отходы производства.

**Эколого-технологическая специфика ТЭС.** Сжигая различное органическое топливо, ТЭС характеризуются большими объемами дымовых выбросов, поэтому относятся к мощным источникам загрязнения атмосферы. На ТЭС, теплоцентралях (ТЭЦ) и в котельных используется твердое (уголь, торф, горючие сланцы), жидкое (нефть, мазут) и газообразное (газ) топливо. В зависимости от того какое топливо сжигается и в каких установках, меняется состав, содержание и объемы выбрасываемых в атмосферу загрязнителей.

Основными загрязнителями дымовых выбросов ТЭС в атмосферу, при сжигании твердого топлива, являются зола, сажа, диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), в меньшей степени  $\text{SO}_3$ , оксиды азота ( $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), а при неполном сгорании топлива «угарный газ» ( $\text{CO}$ ), углеводороды типа  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе бенз(а)пирен.

Зола и сажа – преобладающие загрязнители дымовых выбросов твердотопливных ТЭС. Однако большая часть современных ТЭС и ТЭЦ снабжены фильтрами с КПД золоулавливания 92–96%, а по проектам оно может достигать 98–99%. Реально среднее его значение составляет 92–95%. Каждый следующий процент увеличения КПД золоулавливания заметно повышает стоимость вырабатываемой энергии.

Количество летучей золы, образуемой в топках, зависит от качества угля (его калорийности, зольности, содержания  $\text{SiO}_2$  и др.), а также от технологии сжигания и помола. В топках ТЭС обычно сжигаются низкосортные угли и сланцы, с золь-



**Рис. 9.** Функциональная схема современной тепловой электростанции и ее влияния на окружающую среду: 1 – атмосфера – изменения в спектре приходящей и уходящей радиации, повышение влагосодержания и запыленности, изменения в тепловом режиме и циркуляции, химическое загрязнение, изменения в режиме выпадающих осадков и облачности; 2 – гидросфера – изменения в тепловом режиме, химическое и механическое загрязнения, изменения водного баланса водоема, разрушение сообщества живых организмов водных экосистем; 3 – литосфера – изменения в рельефе инженерно-строительными работами (золоотвалы, трубопроводы, производственные корпуса, дороги и т. д.), нарушение стока, загрязнение хорошо мигрирующими химическими элементами и развеиваемой золой из золоотвалов, изменения эффективного излучения и альбедо, повышение интенсивности выщелачивания почв и карста, обусловленные подкислением атмосферных осадков

ностью 15–35% и более. Современные ТЭС потребляют около 330 г условного топлива (у. т.) на 1 кВт мощности. Около 20% всей образуемой в топке золошлаковой массы приходится на шлак, а остальное – на тонкодисперсную летучую золу. Соответственно, ТЭС мощностью в 1000 МВт, используя бурые угли, с учетом высоких КПД фильтров, может выбрасывать в атмосферу до 500 тыс. т и более летучей золы в год. В ее составе содержится в основном кремнезем, иногда и кальций, а коэффициент концентрации тяжелых металлов обычно не превышает 2–4, но может быть и больше (табл. 2). Поэтому летучая зола твердоотопливных ТЭС, как загрязнитель, относится к 3–4 классу санитарно-гигиенической опасности. Уловленная золоуловителями и оставшаяся в топке зола и шлаки удаляются и в виде пульпы по золошлакопроводу поступают на золоотвалы. Здесь подсыхая, зола начинает переувлажняться, загрязняя приземную атмосферу и прилегающие ландшафты. Золы ТЭС и котельных, работающих на твердых видах топлива (уголь, сланцы) обычно имеют щелочную реакцию, выпадая на земную поверхность, они подщелачивают лесные ландшафты.

На ТЭС, работающих на мазуте, в дымоходах тоже накапливается сажа, с высоким содержанием пятиоксида ванадия ( $V_2O_5$ ). Данное соединение, как и содержащийся в их дымовых выбросах бенз(а)пирен относятся к первому классу санитарно-гигиенической опасности. Однако зольность мазута, соответственно, и концентрация золы в выбросах малы, поэтому золоулавливающих фильтров на мазутных ТЭС не ставят. Тем не менее, в моменты остановок блоков на ремонт и профилактику может происходить залповый выброс накопившейся в дымоходах золы, а приземные ее концентрации достигать и превышать ПДК.

Диоксид серы ( $SO_2$ ), в значительно меньшей степени  $SO_3$ , являются главными газообразными загрязнителями дымовых выбросов при сжигании мазута и угля. Взаимодействуя с влагой атмосферы, они быстро переходят в сульфат-ион ( $SO_4^{2-}$ ). Содержание серы в углях колеблется от 1,0 до 10%, а в нефти и мазутах 1–5%, редко больше. ТЭС мощностью 1000 МВт, потребляя 330–335 г у. т. на 1 кВт, то есть порядка 7–8 млн т низкосортного бурого угля со средним содержанием серы 1,5–2,0%, ежегодно может выбрасывать в атмосферу 125–130 тыс. т серы, что соответствует примерно 200–210 тыс. т  $SO_2$  и 10 тыс. т  $SO_3$ .

Существующие технологии улавливания диоксида серы из дымовых выбросов сравнительно дороги, из-за чего в СССР они использовались экспериментально лишь на единичных ТЭС,

а их КПД составляло всего 80–84%. В современной России ситуация не улучшилась, хотя в передовых странах ТЭС оснащаются фильтрами, улавливающими из дыма более 90%  $SO_2$ .

Диоксид азота ( $NO_2$ ) – еще один из основных загрязнителей атмосферы в районах ТЭС и ТЭЦ. В их топках образуется закись азота (NO), окисляющаяся при избытке воздуха кислородом до  $NO_2$ . Оксиды азота, как загрязнители, абсолютно преобладают в дымовых выбросах ТЭС, работающих на газе. При сжигании газа и мазута концентрация  $NO_2$  в уходящих газах в среднем составляет 0,7–0,8 г/м<sup>3</sup>, при сжигании твердых видов топлива – около 0,9 г/м<sup>3</sup>. Диоксид азота относится ко второму классу санитарной опасности. Больше  $NO_2$  образуется при высоких температурах сжигания, избытке воздуха и повышенном содержании азота в горючей массе. Борьба с выбросами  $NO_2$  на ТЭС ведется по двум направлениям: технологически, путем снижения температуры и избытка воздуха, а также установкой газоулавливающих фильтров. Газоулавливающие установки для  $NO_2$  весьма дороги, поэтому в бывшем СССР они лишь единично опробовались как экспериментальные, а в России в 90-е годы была закуплена за рубежом высокоэффективная установка для Северной ТЭС, работающей на газе в г. Москве.

Тяжелые металлы (бериллий, мышьяк, ванадий, кадмий, ртуть и др.), их соединения и радионуклиды присутствуют в дымовых аэрозолях, золе, а также в газообразных соединениях в относительно небольшом количестве (табл. 2). Однако, накапливаясь, в неблагоприятных условиях эти примеси тоже могут оказывать негативное воздействие на человека и биоту.

Наибольшее количество углеводородов содержится в дымовых выбросах ТЭС, работающих на угле (табл. 3).

**Земельные ресурсы.** Для размещения технологических систем ТЭС изымаются из хозяйственного оборота и трансформируются значительные земельные площади. Например, типичной по мощности ТЭС 2400 МВт, работающей на угле и использующей для охлаждения оборотную систему водоснабжения с градирней, требуется площадь 7–10 км<sup>2</sup>, а при использовании для охлаждения конденсаторов и другого водоснабжения прудов-охладителей, землеотведение может возрастать в 2–2,5 раза. У мазутных и газовых ТЭС землеотводы примерно на треть меньше, так как у них меньшие площади под топлиохранилищами и они не нуждаются в огромных золошлаковых отвалах, представляющих порой пылящую или парящую обвалованную пустыню.

**Водопотребление.** Для охлаждения конденсаторов пара ТЭС мощностью 2400 МВт требует-

Таблица 2  
Возможные концентрации химических элементов в золах ТЭС

Зола ТЭС, при сжигании:	Ряды возможной относительной концентрации			
	n 1000	n 100	n 10	n
Угля			Pb, Mo, Ge	Be, Li, V, Ni, Cu,
Мазута		V, Ni	Cr, Zn, Mo, W, Pb	Cu, Sn

ся около 50 м<sup>3</sup> воды в минуту, что измеримо со стоком средней реки на ЕТР в меженный период (например, р. Волги в районе г. Твери). Кроме того, для угольных ТЭС требуется значительное количество воды для золоудаления. Соответственно, мазутные и газовые ТЭС расходуют воды меньше угольных. ТЭС, использующие для охлаждения оборотное водоснабжение с градирнями, расходуют свежей воды для их подпитки немного меньше половины от циркулирующей в системе.

При расчетах и оптимизации систем охлаждения проектируемых ТЭС обязательно учитывается их физико-географическое расположение. По существующим технологическим нормативам необходимые для охлаждения оборотных вод площади активной части зеркала водохранилищ-охладителей ТЭС составляют 6–9 м<sup>2</sup> на 1 кВт мощности, возрастая с севера на юг в соответствии с законом широтной зональности. Водоемы-охладители, особенно в южных районах, требуют систематических продувок, так как в них ускоряются процессы концентрации поступающих загрязнителей и растет минерализация воды. Рост минерализации охлаждающих вод может снижать КПД энергопроизводства. Испарение с поверхности водоемов-охладителей увеличивается из-за повышенных на 6–8°С температуры сбросных вод и по мере аридизации климата. Безвозвратные потери охлаждающей воды возрастают на 1,5–2,5%. Строительство водохранилищ-охладителей ведет к изменению естественного гидрохимического и гидробиологического режима местных водоемов. Кроме того, подтапливаются, заболачиваются или засоляются прилегающие территории, возможна активизация карстовых и термокарстовых явлений. При эколого-географическом обосновании и экспертизе проектов ТЭС необходимо оценивать все эти явления и процессы с учетом широтно-зонального и ландшафтно-регионального размещения проектируемых объектов.

По совокупности показателей – выбрасываемым загрязнителям, землеемкости и водопотреблению, газовые ТЭС являются наиболее экологичными.

Таблица 3  
Содержание бенз(а)пирена в дымовых выбросах ТЭС, мкг/100 м<sup>3</sup>

Используемое топливо	Содержание бенз(а)пирена		
	Минимальное	Максимальное	Среднее
Газ	1	3–4	1–2
Мазут	2	30–40	10–20
Уголь (перед золоуловителем)	30	140	40–100

#### 1.5.4. Трансформация природных ландшафтов в районах размещения тепловых электростанций

Наиболее масштабные трансформации природы в районах ТЭС связаны с выбросами загрязнителей в атмосферу. Территория морфологически и функционально выраженного влияния дымовых выбросов ТЭС на прилегающие ландшафты при круговой розе ветров обычно ограничивается радиусом 6–8 км. Однако в малоустойчивых к атмосферным загрязнителям таежных и лесотундровых ландшафтах выраженные повреждения растительности иногда фиксируются и на больших расстояниях от ТЭС. При преобладании каких-либо направлений ветров наблюдается деформация очертаний этой зоны влияния, что легко рассчитывается по розе ветров. Повышенные концентрации основных загрязнителей в приземной атмосфере и их поступлениях к земной поверхности эпизодически могут фиксироваться и на расстояниях до 10–14 км, но устойчивые морфологические и геохимические нарушения в ландшафте здесь редки.

Максимально-разовые санитарно-гигиенические ПДК основных загрязнителей от ТЭС в приземной атмосфере для человека в жилых зонах составляют в мг/м<sup>3</sup>: по золе – 0,5; SO<sub>2</sub> – 0,5; NO<sub>2</sub> – 0,085; CO – 5. Для рабочей зоны, соответственно: 1; 1; 0,2; 20 мг/м<sup>3</sup>. Эти относительно малотоксичные загрязнители относятся ко второму – четвертому классам вредности, но геохимически они весьма активны. Из-за существенных различий в химических свойствах выбрасываемых загрязнителей ТЭС, работающие на

разном топливе, оказывают на ландшафты разное геохимическое воздействие (рис. 10). Кислотные газы ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), содержащиеся в дымовых выбросах, вымываясь и оседая на земную поверхность из загрязненной атмосферы, подкисляют ландшафты. Зола твердотопливных ТЭС, наоборот, подщелачивает почвы и воды, обогащает элементами минерального питания растений бедные кислые ландшафты таежной и подтаежной зон.

Что касается ландшафтно-экологических ПДК для биоты, то они заметно отличаются от санитарных ПДК для человека. Так, сосновые боры на промытых песках и гранитах повреждаются уже при концентрациях диоксида серы  $0,02 \text{ мг/м}^3$ . Поэтому для общих оценок экологической ситуации в регионе по приземным концентрациям  $\text{SO}_2$  лучше использовать её среднесуточные санитарные, либо экологические ПДК. По наиболее агрессивным для растений диоксидам серы и азота среднесуточные их ПДК равны, соответственно,  $0,05$  и  $0,04 \text{ мг/м}^3$ . Причем, если превышения гигиенических ПДК основных загрязнителей в зонах влияния современных ТЭС случаются сравнительно редко, то экологические нормативы ПДК превышаются часто.

Исследованиями установлено, что различные ландшафты неодинаково реагируют на выбросы однотипных ТЭС, а разнотипные ТЭС, по-разному воздействуют на одинаковые ландшафты. Поэтому важно знать тип и виды воздействий ТЭС на природную среду и реакцию на них конкретных ландшафтов. Выделяются следующие основные типы и виды воздействий ТЭС на окружающую среду:

1. Механическое воздействие, включающее в себя:

- изъятие земель и нарушения морфолитогенной основы в результате строительства ТЭС;
- воздействие зольных частиц на живые организмы и сооружения;
- изъятие воды и механические повреждения гидробионтов, донных и береговых природных комплексов водоема-охладителя.

2. Физико-химическое воздействие, определяемое выбросами в окружающую среду тех или иных химически активных загрязнителей. Этот тип воздействия, в свою очередь, делится:

- по месту, куда поступает выброс (атмосферный, наземный, водный);
- форме и консистенции выбрасываемых загрязнителей (газообразные, жидкие, твердые);
- кислотно-щелочной реакции выбросов и типу воздействия на ландшафт (см. рис. 10);
- виду выбрасываемых загрязняющих веществ, например, в атмосферу –  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , углеводороды, зола – ее микро- и макроэле-

ментный состав, дисперсность; в водоемы – масла, нефтепродукты, растворимые соли, микроэлементы, кислоты, щелочи; на земную поверхность – золошлаки, кислоты, щелочи, минерализованные воды, поступающие на золоотвалы и прилегающие территории в случае аварий и переливов.

По характеру организации выбросы ТЭС делятся – на концентрированные и рассеянные (в водоемы), организованные и неорганизованные, постоянные и залповые.

Типы ландшафтных комплексов и химический состав выбрасываемых ТЭС загрязнителей определяют их миграцию, нейтрализацию и возможные изменения в структуре и функционировании ландшафтов. Например, выбросы диоксидов серы и азота определяют кислотный тип воздействия ТЭС на ландшафты. Устойчивость же разных ландшафтных комплексов локальных, да и региональных уровней (зон, подзон и др.) к кислотным выбросам заметно различается [5, 8, 24]. Так, подзолистые и дерново-подзолистые кислые почвы ландшафтов лесной зоны бедны основаниями и другими элементами минерального питания растений. Кислотные воздействия на и без того кислые ландшафты ведут к еще большему их подкислению, обеднению почв элементами минерального питания растений, прямому повреждению хвои и листьев. Это определяет их низкую устойчивость к кислотным воздействиям выбросов диоксидов серы и азота, и, соответственно, большие площади и степень повреждения таежных и подтаежных ландшафтов по сравнению с лесостепными в сферах влияния подобных дымовых выбросов ТЭС и других промышленных производств. В результате воздействий кислых выбросов, снижается активность фотосинтеза, отмирают части крон, деградирует растительный покров (особенно хвойных лесов). Хвойные леса бедных таежных ландшафтов существенно повреждаются и усыхают уже через 10–20 лет при средних концентрациях  $\text{SO}_2$  в приземной атмосфере  $0,03$ – $0,06 \text{ мг/м}^3$ . Существуют эмпирически установленные коэффициенты удельного повреждения лесов, в зависимости от объема дымовых выбросов диоксида серы в регионе. В лесной зоне они колеблются в зависимости от местных ландшафтных условий от  $0,02$  до  $0,25 \text{ га/т}$ . Анализ повреждаемости хвойных лесов на аллювиально-зандровых песчано-супесчаных отложениях показывает наличие поражений настольных лишайников и хвои у отдельных деревьев при поступлении к земной поверхности  $4$ – $5 \text{ т/км}^2$  в год сульфат-иона, а предельно допустимые поступления его для наименее устойчивых элементарных природных комплексов, в целом, составляет  $15$ – $20 \text{ т/км}^2$  в год.



Рис. 10. Типы воздействия дымовых выбросов различных ТЭС на природную среду

Воздействие же кислотных выбросов ТЭС на степные и сухостепные ландшафты с насыщенным основанием почвенным поглощающим комплексом (ППК), слабощелочной и щелочной реакцией черноземных и каштановых почв, не ведет к существенным негативным изменениям растительности и может иметь даже мелиорирующий эффект (кислотные промывки солонцов).

Зольные выбросы угольных ТЭС, наоборот, экологически более приемлемы для ландшафтов лесной зоны. Имея щелочную реакцию, зола мелиорирует кислые таежные ландшафты. Содержащиеся в ней избыточные катионогенные элементы хорошо мигрируют в лесных ландшафтах и выносятся с кислыми поверхностными и подземными водами. Кроме того, они обогащают бедные почвы таежных ландшафтов недостающими элементами питания растений. Предельно допустимые поступления золы на земную поверхность для лесных ландшафтов составляют, примерно, 150–200 т/км<sup>2</sup> (до 300) в год.

В степных ландшафтах с нейтральной и щелочной реакцией почв зола оседает и накапливается вокруг ТЭС. Из-за сухости климата поступление и ее переувлажнение ведет к сильному запылению приземного воздуха.

Зона воздействия дымовых выбросов мощных ТЭС на ландшафты по степени загрязнения атмосферы и земной поверхности, а также повреждения растительного покрова, как правило, делится на три подзоны:

- сильного постоянного влияния высоких организованных и слабо организованных низких

- вентиляционных и других выбросов, с характерными значительными повреждениями древесной растительности (ажурная крона, суховершинность, усыхание деревьев, мелкая листва и хвоя), загрязненными почвами и водами, захлавленными территориями, множеством вспомогательных сооружений;
- средне и эпизодически сильно загрязняемая зона с очагами сильно и средне поврежденных диоксидами серы и азота хвойных пород (сосны и ели), преимущественно в малоустойчивых к подобным воздействиям авторморфных природных комплексах привершинных частей холмов и грив, особенно сложенных песками и супесями;
- средне и слабо загрязняемая зона со слабо выраженными флуктуирующими повреждениями хвой в лесах, приуроченных к наименее устойчивым ПТК всхолмлений, сложенных песками.

Размеры этих подзон могут существенно варьировать в зависимости от высоты и мощности дымовых выбросов, а также от условий рассеивания загрязнителей и ландшафтных особенностей территорий. Ориентировочно подзона среднего и сильного очагового повреждения растительности связана с расчетной зоной максимальных разовых приземных концентраций загрязнителей. При средних условиях рассеивания она располагается на расстоянии 10–20 высот дымовых труб.

**Золошлакоотвалы и иламохранилище** ТЭС обычно размещают в депрессиях рельефа и стре-

мятся изолировать от грунтовых и поверхностных вод. Однако в гумидных районах весьма вероятны переливы или фильтрация сбросных высокоминерализованных вод через стенки и дно золоотвалов. В засушливые периоды повышенные обсохшие участки золоотвалов могут пылить, загрязняя прилегающие территории. В семиаридных и аридных районах золоотвалы пылят очень сильно. В зонах их подтопления могут формироваться солончаки. С другой стороны, зола и шлак, покрывая естественные солончаки толстым слоем, способствуют проникновению на них злаков, луковичных и зонтичных растений, тем самым, увеличивая их биопродуктивность.

Широтная зональность ПЛ сказывается в объемах потребляемых и безвозвратно теряемых возобновимых ресурсов, в частности, в объемах оборотной воды, типах охлаждающих устройств (градирни, брызгальни, водохранилища-охладители, теплицы) и размерах активной зоны водоемов-охладителей. В южных районах, исходя из экономических и технологических соображений, обычно используют сочетание водохранилищ-охладителей с градирнями или брызгальнями. В северных регионах можно довольствоваться водоемами-охладителями или даже воздушными конденсационными установками. Требуемые для нормального охлаждения оборотной воды удельные площади активной зоны прудов-охладителей на единицу мощности ТЭС в северных (таежных) регионах составляют 5–6 м<sup>2</sup>, в средней полосе, зонах смешанных и широколиственных лесов – 6–8 м<sup>2</sup>, в степной и сухостепной зонах – 7–9 м<sup>2</sup>. Соответственно изменяются и размеры участков водохранилищ, где наблюдаются существенные изменения в их температурном режиме, составе и структуре гидробионтов. Водопотребление и безвозвратные потери охлаждающей воды соответственно увеличиваются и составляют: 1%; 1,5–2%; 2–3,5%. Использование воды для предотвращения развевания тонкодисперсных фракций золы и шлама в хранилищах отходов производств тоже изменяется от зоны к зоне. Так, в лесной зоне, где коэффициент увлажнения ( $K_{увл.} > 1$ ), воды на заливку шламо- и золохранилищ не требуется; в лесостепной зоне необходима вода для заливки поверхности золо- и шламохранилищ в теплое время; в степной и сухостепной зонах, для предотвращения развевания загрязнителей и запыления атмосферы, необходимы еще большие объемы воды.

Подтопление территорий в результате создания технологических водоемов и шлакохранилищ в лесной зоне сопровождается заболачиванием части прибрежных участков, в степной и сухостепной зонах – их засолением.

Все это необходимо учитывать при экологическом обосновании выбора площадок, инженер-

но-техническом и геоэкологическом планировании размещения промышленных объектов и природоохранных мероприятий в сфере их влияния.

## **I.6. Ландшафтно-экологические основы планирования и проектирования промышленных ландшафтов**

### **I.6.1. Принципы и подходы**

Современные ПЛ – весьма сложные техногенные образования, нормальное функционирование которых требует постоянного контроля, планирования и регулирования их состояний. Поэтому территории ПЛ подлежат функционально-экологическому зонированию, а для вновь создаваемых и реконструируемых ПЛ должны разрабатываться документы с обоснованием их ландшафтно-экологического планирования и проектирования. Основой для реализации проектных решений является план-схема общей объемно-пространственной, функционально, экологически и эстетически ориентированной структуры ПЛ. Она, кроме прочего, включает соответственно ориентированные био- и геоэкокомплексы, либо их элементы с заранее заданными свойствами, определяющими благоприятные условия жизнедеятельности и устойчивого развития ПЛ [13].

При ландшафтно-экологическом планировании и проектировании ПЛ прежде всего опираются на имеющиеся нормативно-правовые документы (законы, правила, нормы), а также эколого-географические принципы, подходы и методики. Исходной идейной установкой ландшафтно-экологического планирования и проектирования ПЛ является принцип целостности, базирующийся на концепции геотехнической [26], или природно-хозяйственной системы. Ее суть во взаимосвязанности технических и природных элементов или подсистем природно-хозяйственной системы, эффективно функционирующих как единое целое, производя заданную продукцию при сохранении благоприятной экологической обстановки.

При проектировании и планировании структуры и функционирования ПЛ выделяются следующие геоэкологические оптимизационные направления и мероприятия: а) эколого-технологические (оптимизация по сырью, технологиям, очистным сооружениям, комплексирование производств, использование отходов в сельском хозяйстве [11, 14] и мелиорации ландшафтов); б) ландшафтно-планировочные локального и регионального уровней (территориальная дифференцированность в размещении и мероприятиях); в) мелиоративные мероприятия, ориентированные на повышение устойчивости природных

и других ландшафтов (внесение удобрений и прочие мелиорации, превентивные мероприятия по замене естественной растительности и сельскохозяйственных культур в зонах влияния).

Стоимость промышленного и селитебного строительства во многом зависит от географического положения ПЛ. Она может существенно варьировать, несмотря на кажущуюся однотипность конструкций корпусов, планировки территории и технологически обусловленного размещения инженерных сооружений. Трудоемкость и стоимость экологической оптимизации промплощадок и прилегающих территорий, а также биологической рекультивации значительно выше в районах с экстремальными климатическими условиями. При ландшафтном планировании ПЛ учитываются, например, такие природные особенности территорий, как температурные условия и продолжительность отопительного периода, снеговые нагрузки на кровлю, наличие водных ресурсов, а также необходимость и типы мелиоративных и природоохранных мероприятий и т. п.

Возможности использования отходов различных производств также имеют свою ландшафтную специфику. Их реализация в дальнейшем производстве и мелиорации природной среды должна учитываться при ландшафтно-экологическом планировании ПЛ.

Знание ландшафтно-географических, а также технологических особенностей воздействия и трансформации окружающих геосистем под влиянием промышленных производств, позволяет осуществлять планирование оптимальной структуры формирующихся вокруг них ПЛ, разрабатывать системы технологических, гигиенических

и природоохранных мероприятий и структур, благоприятно сказывающихся на экологической обстановке региона.

### 1.6.2. Экологический каркас и санитарно-защитные зоны промышленных ландшафтов

Важнейшей в ландшафтно-экологическом планировании структуры промышленных ландшафтов является проблема создания и сохранения надежного и эффективного экологического каркаса самой геотехнической системы и смежных территорий [13].

Особенно ценными элементами каркаса являются ООПТ. Поэтому их сразу необходимо вывести за зону возможного влияния промобъекта. Нормативы минимальной ширины санитарно-экологических зон вокруг ООПТ устанавливаются, исходя из классов санитарной вредности промышленных предприятий, в сферы влияния которых могут попадать ООПТ (табл. 4). Классы вредности промпредприятий рассчитываются по объемам их выбросов и степени токсичности содержащихся в них загрязнителей. Представление о степени вредности или токсичности загрязнителей можно получить из табл. 5, где представлены санитарные ПДК наиболее распространенных токсикантов, содержащихся в дымовых выбросах.

Важными элементами ландшафтно-экологического каркаса, подлежащими охране при планировании территории ПЛ, являются водоохранные зоны экологически значимых естественных и искусственных водоемов, особенно их прибрежные полосы. По возможности их также

Таблица 4

Ширина защитных зон вокруг особо охраняемых природных объектов

Объекты	Расстояние от объектов подлежащих экологической охране (км)				До транспортных магистралей, км
	Ширина санитарно-экологических зон промпредприятий различных классов санитарной вредности (опасности), км				
	I	II	III-IV		
Заповедники и национальные парки	10/30*	5/10	1/3	1	
Заказники, природные парки и курортные зоны	5/10	1/3	0,5/1	0,2	
Зоны массового отдыха населения	5/10	0,5/2	0,2/0,5	0,2	
Особо охраняемые элементы и объекты ландшафтов	3/5	0,5/1	0,2/0,6	0,1	

\* Числитель – минимальное удаление промышленных предприятий от охраняемых объектов при размещении хозяйственного объекта с подветренной стороны или вниз по течению рек от природоохранного объекта; знаменатель – ширина зоны при неблагоприятном размещении промышленных объектов с наветренной стороны или вверх по течению рек от природоохранного объектов.

Таблица 5  
Санитарно-гигиенические ПДК некоторых загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов, мг/м<sup>3</sup>

Основные загрязняющие вещества промвыбросов	ПДК средне-суточная	ПДК максимально-разовая	Класс опасности загрязнителя*
Твердые (пыль)	0,15	0,5	3
Диоксид серы	0,05	0,5	3
Диоксид азота	0,04	0,85	2
Оксид азота	0,06	0,4	2–3
Оксид углерода	3	5	4

\* Класс опасности загрязнителя определяется его дозами, способными привести к фиксируемым негативным изменениям в организме человека. Чем более низкие значения ПДК загрязнителя, тем он вреднее. Наиболее опасные загрязнители относятся к первому классу опасности, или вредности.

исключают из сфер негативного влияния промышленных предприятий. Ориентировочные размеры водоохранных и прибрежных зон указаны в Водном кодексе. Однако при ландшафтно-экологическом планировании и выделении территорий водоохранных зон в каждом конкретном случае учитываются особенности рельефа и гидрологической сети, влияющие на их очертаия и размеры.

Большое значение для формирования целостной структуры разных функциональных зон ПЛ имеет дорожно-транспортная сеть территории с ее придорожными лесополосами.

ПЛ всегда включают в себя разнообразные транспортные магистрали, в частности дороги. По распределению транспортных сетей и их влиянию на планировочную структуру ПЛ различают:

- радиальное распределение при расположении промышленного объекта и его поселения на пересечении магистралей и местных дорог;
- линейное распределение, когда промобъект с поселением выступает в качестве промежуточного пункта магистралей.

Соответственно, весьма значимыми элементами ландшафтно-экологического каркаса промышленных территорий, часто определяющими его целостность, становятся придорожные лесные полосы. Поэтому при планировании и проектировании ПЛ следует обращать внимание на их наличие и полноту. Положение и размеры придорожных лесных полос при их проектировании должны соответствовать нормативам Гост 17.5.3.02–79.

Лесополосы, как элементы ПЛ, способны служить барьерами для распространения транспортных и промышленных загрязнителей. Вдоль дорог с большой транспортной нагрузкой и сильным загрязнением лесополосы располагаются на расстоянии 18–20 м от полотна. В первый ряд деревьев следует включать виды наиболее устойчивые к загрязнению, за ними, на расстоянии 27–30 м от дороги идут кустарники.

Содержание загрязнителей в приземном слое атмосферы многократно падает за лесополосой уже на расстоянии 30–40 м от автомагистрали. Зоны же слабого и среднего влияния крупных автомагистралей в атмосфере и атмосферных осадках могут простираются на 200 и более метров от полотна дороги.

Схемы промышленной структуры территории, плотности населения и функционального хозяйственного зонирования при наложении на них зон загрязнения позволяют для территорий с разной плотностью населения выделять зоны наибольшего экологического риска. Наибольшая плотность населения и сильное загрязнение определяют максимальный санитарно-гигиенический риск. При наложении зон промышленного загрязнения на схемы экокаркаса территории и устойчивости ландшафтов можно оценить экологическую опасность или риск как для населения, так и повреждения природных объектов [13].

Следующий базовый принцип ландшафтно-экологического планирования структуры промышленного ландшафта – соблюдение санитарно-гигиенических нормативов в селитебных и связанных с ними рекреационных, коммунально-бытовых и других важных для жизнедеятельности людей зонах (см. табл. 5). Эта задача решается путем выделения санитарно-защитных зон (СЗЗ) вокруг промышленных предприятий. СЗЗ также являются элементами ландшафтно-экологического каркаса ПЛ. Их ориентировочные размеры указаны в СанПиН и зависят от технологии производства и потенциальной опасности для человека как технологий, так и веществ, используемых в технологическом цикле и выбрасываемых отходов-загрязнителей. Класс санитарной опасности, или вредности промышленных предприятий определяется, прежде всего, объемами выбросов загрязнителей в окружающую среду и степенью их токсичности по отношению к человеку. Для определения классов опасности предприятий выбрасываемые в окружающую среду загрязнители нормируют по ПДК обычно относительно наиболее распространенного, например, в дымовых выбросах SO<sub>2</sub> (0,5/ПДК<sub>i</sub> выбрасываемых

загрязнителей,  $0,5 \text{ мг/м}^3$  – это ПДК  $\text{SO}_2$ ). Затем полученные значения умножают на объемы выбросов каждого из загрязнителей и результаты складывают. Основываясь на существующих методиках, рассчитывают возможные приземные концентрации загрязнителей на разном расстоянии от промышленного объекта. Основываясь на этих расчетах, вокруг предприятий, в зависимости от их санитарной опасности, устанавливается 5 классов санитарно-защитных зон, по их минимальным размерам:

- вокруг предприятий первого класса санитарной опасности (вредности) устанавливается СЗЗ радиусом 2000 м;
- для предприятий второго класса опасности – 1000 м;
- третьего класса – 500 м;
- четвертого – 300 м;
- пятого – 100 м.

Природные условия рассеивания загрязнителей в регионах, высоты и характер выбросов, обстановка в регионе могут существенно различаться.

Учитывая класс санитарной вредности (опасности) предприятий, размещенных на рассматриваемой территории, розу ветров и особенности распределения поверхностного и подземного стока, можно представить форму и специфику ореола рассеивания, поступления и перераспределения загрязнителей в ландшафтах (представить примерные зоны их максимального влияния). В соответствии с ним планируется структура СЗЗ.

Распределение загрязнителей в приземной атмосфере, вокруг промышленных предприятий зависит от высоты источника выбросов, коэффициента рассеивания атмосферы и «розы ветров». Поэтому планируемая СЗЗ обычно не совсем симметрична, а ее экологически обоснованные, технологически обусловленные размеры могут быть значительно больше минимальных их нормативов. Примерный радиус повышенных концентраций загрязнителей в приземной атмосфере и их выпадений на земную поверхность могут быть приблизительно оценены, исходя из следующих выявленных закономерностей:

- при горячих выбросах из высоких (100–300 м) и средневысотных (60–100 м) труб зона максимальных разовых приземных концентраций загрязнителей находится примерно на расстоянии 10–20 высот дымовых труб, а зона средних концентраций смещается ближе к промышленному объекту;
- при низких выбросах максимальные концентрации наблюдаются с подветренной стороны, в непосредственной близости от промобъекта.

Состояние атмосферного воздуха, загрязненного несколькими веществами, оценивается комплексным показателем – индексом загрязнения атмосферы (ИЗА), который равен сумме нормированных по ПДК и приведенных к концентрации диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) средних содержаний различных веществ. Эффектом негативной экологической суммации обладают диоксиды серы и азота, оксид углерода, фенол и ряд других веществ.

Размеры среднего радиуса СЗЗ устанавливаются на основании расчетов зоны, где концентрация выбрасываемых с предприятий вредных веществ может превышать ПДК. Однако при планировании хозяйственной деятельности в конкретном районе и функциональном зонировании территорий при проектировании ПЛ контур СЗЗ на местности уточняется. Ее граница рассчитывается отдельно по секторам для каждого из направлений ветра, в соответствии со средней многолетней «розой ветров» района расположения предприятия. Для предприятий с низкими и средневысотными выбросами в атмосферу радиусы СЗЗ ориентировочно установлены в общих классификациях санитарно-защитных зон для различных предприятий. Для высоких мощных источников СЗЗ устанавливается исходя из расчета рассеивания и приземных концентраций загрязнителей на разном расстоянии от источника выбросов, отдельно по каждому предприятию, с учетом местных особенностей циркуляции атмосферы.

Исходя из расчетного радиуса возможных максимальных и средних приземных концентраций загрязнителей и индекса ИЗА, планируется и проектируется размещение буферной, санитарно-защитной зоны вокруг промышленных объектов и состав устойчивых к загрязнителям древесных насаждений. В соответствии с Санитарными правилами и нормами (СанПиН) СЗЗ вокруг предприятий второго и третьего классов вредности должна быть озеленена не менее чем на 50% ее территории, а у предприятий 1-го и 2-го классов, СЗЗ радиусом 1000 м и более – не менее чем на 40%. Причем, полоса древесно-кустарниковых насаждений СЗЗ обязательно должна размещаться со стороны жилой застройки. В пределах СЗЗ могут размещаться вспомогательные производства и инженерные сооружения, а также сельскохозяйства, где выращиваются технические культуры, не используемые в продуктах питания. Все это при проектировании и оптимизации ПЛ определяет его ландшафтно-планировочную структуру и служит основанием для планирования рекреационной, селитебной и других функциональных зон или секторов, учитывается в развитии пригородных и освоении смежных территорий.

Однако разные природные комплексы неодинаково реагируют на загрязнители (повреждаются сильно, слабо, нейтрализуют, рассеивают, концентрируют их). Поэтому при ландшафтно-экологическом планировании структуры геотехнических систем в каждом конкретном случае необходимо корректировать общие нормативы допустимых воздействий и защитных зон, придерживаясь принципа территориальной ландшафтно-экологической и хозяйственно-планировочной дифференцированности и адаптированности ПЛ. Для этих целей в практике проектирования широко используется эколого-хозяйственное зонирование ПЛ.

Как правило, сферу действия дымовых выбросов промпредприятий по степени загрязнения атмосферы и земной поверхности или повреждения растительного покрова делят на три зоны. Эти зоны могут иметь разную ширину в зависимости от мощности предприятий, высоты и величины выброса, токсичности и типа загрязнителя, рассеивающей способности атмосферы, направлений преобладающих ветров.

**1. Зона сильных загрязнений и повреждений растительности.** Для небольших предприятий с низкими выбросами ее ширина может колебаться в среднем от 100 до 500 м. Для предприятий со средневысотными и высокими источниками выбросов – от 1 до 4–5 км. На расстояниях 4–6 км характерны эпизодически высокие приземные концентрации и локально-очаговые, порой сильные, повреждения растительности. В этой зоне целесообразно естественную растительность, особенно в автоморфных местобитаниях, заменить на древесно-кустарниковые растения с высокой устойчивостью к конкретным загрязнителям и высокой их поглотительной способностью (разные виды тополя, ясеня, клена, липы, ивы; вяз и лох).

**2. Зона среднего периодического загрязнения и очагового среднего повреждения растительности.** Она может иметь размеры от 500–1000 м до 4–7 км. В этой зоне в автоморфных местобитаниях можно использовать виды растений средне устойчивые, со средней способностью улавливать загрязнители.

**3. Зона слабого загрязнения и эпизодически небольших, скрытых повреждений растительности.** Она может располагаться на расстоянии около 1 км у предприятий с небольшими, низкими выбросами и простираться до 10–15 км для крупных предприятий с большими, высокими выбросами. В этой зоне могут использоваться любые виды зеленых насаждений, размещаться сельскохозяйственные угодья и разнообразные хозяйственные объекты.

Первая зона является основным элементом СЗЗ. За счет второй зоны она может расширяться в разной степени, в зависимости от ландшафтных и хозяйственных особенностей территории. Во второй зоне порой размещают другие, не всегда связанные с основным производством, хозяйственные объекты.

В характере, площади и степени повреждения растительности и других природных компонентов, а также в общем облике ПЛ хорошо проявляется их природная специфика. Например, площади сильно деградированных участков в ПЛ при одинаковых воздействиях, в районах с экстремальными условиями (холодные, аридные, горные) больше, а экологическая обстановка – хуже.

### 1.6.3. Зеленые насаждения в промышленных регионах

В проектируемых буферных, санитарно-защитных зонах вокруг промышленных объектов периодически наблюдаются повышенные концентрации загрязнителей в приземной атмосфере, поэтому здесь высаживают древесно-кустарниковые растения, устойчивые к загрязнителям и способные очищать от них воздух.

Среди зеленых насаждений запыленность воздуха в 2–3 раза меньше, чем на открытых промышленных и городских территориях. Древесно-кустарниковые растения уменьшают запыленность воздуха в облиственном состоянии на 42%, а при отсутствии листового покрова, в среднем на 37%. В глубине лесного массива на расстоянии 200–250 м от опушки запыленность снижается, например, со 140 до 40 г на 1 м<sup>2</sup>, т. е. почти в 2,5 раза.

Пылеулавливающие свойства древесных пород и кустарников неодинаковы и зависят от морфологических особенностей листьев. Лучше всего задерживают пыль шершавые листья, покрытые ворсинками. Так, если принять количество пыли, задерживаемое листьями тополя за единицу, то количество пыли, удерживаемой листовой пластинкой клена остролистного, составит – 2, сирени – 3, вяза – 6. При этом осевшая пыль периодически смывается дождем или сдувается ветром, и листья вновь способны выступать в качестве фильтра. Способность древесных пород задерживать пыль и влияние дождей на ее удаление с поверхности их листьев представлены, для примера, в табл. 6.

Газозащитная роль зеленых насаждений в СЗЗ зависит от степени газоустойчивости растений, структуры лесонасаждений и ландшафтных особенностей территории (рельефа, почв и др.). Так, вблизи источников выбросов не желательны плотные насаждения деревьев и кустарников, чтобы

не создавать застоя воздуха. Лучше устраивать хорошо продуваемые насаждения в групповых ажурных посадках.

Зеленые насаждения значительно уменьшают концентрацию газообразных загрязнителей в приземном слое воздуха. Например, концентрация окислов азота, выбрасываемых промышленными предприятиями, снижается на расстоянии 1 км от источника выброса, при отсутствии лесозащитной полосы до 0,7 мг/м<sup>2</sup>, а при наличии зеленых насаждений – до 0,13 мг/м<sup>2</sup>. При этом ле-

сополосы, расположенные поперек потока загрязненного воздуха, разбивают первоначальный концентрированный поток загрязнителей дымовых шлейфов. Загрязнители разбавляются чистым воздухом, и их приземные концентрации снижаются.

Растения с высокой газоустойчивостью и высокой газопоглотительной способностью можно использовать при создании СЗЗ в любых типах посадок с различной функциональной нагрузкой: фильтрующей, изолирующей, декоративной (с запасом устойчивости).

Газоустойчивые растения со средним и малым поглощением целесообразно использовать в изолирующих и декоративных типах посадок (с большим запасом устойчивости). Слабоустойчивые к загазованности растения, с высоким газопоглощением – недолговечные, в фильтрующих насаждениях они эффективны в зоне минимальной загазованности.

В настоящее время выявлены и классифицированы растения по устойчивости к различным газам и, соответственно, по пригодности для разных защитных лесонасаждений и озеленений ПЛ (табл. 7, 8).

Так, для хвойных пород кислотная группа аэрозольных загрязнителей является сильным фитотоксикантом, вызывает хлороз, краевое усыхание, суховершинность крон и гибель растений даже при низких хронических концентрациях. При этом поглощенная растениями сера из воздуха может удаляться в почву в форме сульфата, а в воздух в виде газов: SO<sub>2</sub> (преобладает), H<sub>2</sub>S, CO. Устойчивые виды быстрее и полнее освобождаются от поглощенной серы, чем средние и неустойчивые. Для лесорастительных условий подзоны южной тайги

Таблица 6

Пылезащитные свойства древесных пород, пригодных для использования в СЗЗ и при озеленении предприятий

Древесные породы	Средняя запыленность, мг/м <sup>2</sup>		Смывается дождем, %
	до дождя	после дождя	
Вяз	3,9910	0,0150	82,0
Липа	1,3200	0,3910	70,4
Клен	1,0600	0,2740	74,0
Тополь	0,5520	0,1340	75,5

и смешанных лесов востока европейской части России разработаны ассортименты растений, пригодных для озеленения территорий промышленных предприятий, населенных мест и создания санитарно-защитных зон с разным уровнем загрязнения воздуха (сернистым газом – SO<sub>2</sub>, окислами азота – NO<sub>x</sub>, хлором – Cl, аммиаком – NH<sub>3</sub>) [21].

Распределение пыли и газообразных загрязнителей сдерживается не только деревьями и кустарниками, но и травяными газонами. Среди газонных злаковых трав устойчивы к SO<sub>2</sub>: овсяница луговая, красная, овечья, сизая, разнолистная; мятлики фиолетовый и альпийский; лисохвост луговой. Не устойчивы к SO<sub>2</sub>: костры сибирский, безостый, мягкий, растопыренный; тимopheевка луговая и др.

Создание зеленых насаждений в зонах воздействия на приземную атмосферу и растительность крупных промышленных предприятий требует высокой агротехники, высококачественного посадочного материала, частой смены почв и специальных мер ухода. На особенности озеленения территорий ПЛ сильное влияние по ассортименту растений, их приживаемости и устойчивости, а также стоимости работ оказывает широтная зональность.

Знание природных географических и технологических особенностей взаимодействия производств с окружающими ландшафтами позволяет планировать оптимальную структуру формируемых в ПЛ санитарных и других защитных зон, снижая вредное воздействие промышленных объектов на окружающую среду. При этом разрабатываются системы технологических, гигиенических и природоохранных мероприятий и структур, благоприятно влияющих на экологическую обстановку как в самих ПЛ, так и на прилегающих территориях.

Таблица 7  
Устойчивость древесных растений к некоторым газообразным загрязнителям [21]

Древесные породы	Степень устойчивости к загрязнителям в баллах*			
	сернистый газ	окислы азота	хлор	аммиак
Вяз обыкновенный	1	2	2	3
Клен ясенелистный	1	3	1	1
Лох серебристый	1	—	—	—
Дуб черешчатый	2	3	1	1
Сирень обыкновенная	2	3	2	2
Тополь черный	2	3	—	2
Тополь бальзамический	2	2	2	2
Клен остролистный	2	1	1	1
Клен татарский	2	2	1	1
Калина обыкновенная	2	2	2	2
Тополь серебристый	2	2	2	2
Боярышник кроваво-красный	2	1	2	1
Береза бородавчатая	3	3	2	2
Липа мелколистная	3	3	3	1
Рябина обыкновенная	3	3	2	3
Акация желтая	3	3	2	2

\* Степень устойчивости: 1 – устойчивые виды; 2 – среднеустойчивые; 3 – неустойчивые

Таблица 8  
Ассортимент деревьев и кустарников, устойчивых к углеводородам и газопоглощающих, пригодных для озеленения промышленных зон средней полосы России

Вид растений	Физиологическая газоустойчивость к углеводородам	Количество листы или хвои на растении (сухой вес), кг	Удельное газопоглощение на 100 г сухого веса листы, мг	Поглотительная способность группы	Эффективность газонаулавливания, сутки, г
<b>Деревья</b>					
Липа мелколистная	—	8,0	74,0	I	5,9
Тополь бальзамический	++	7,8	64,0	I	5,0
Липа крупнолистная	++	9,8	74,0	I	3,7
Вяз обыкновенный	++	4,6	59,5	II	2,7
Клен полевой	( )	3,9	66,5	I	2,6
Клен остролистный	++	7,2	34,0	II	2,4
Береза пушистая	—	2,9	81,5	I	2,4
Черемуха обыкновенная	++	3,4	72,0	I	2,4
Тополь черный	++	5,5	32,5	II	1,8
Клен ясенелистный	+	6,2	21,0	III	1,3
Сосна обыкновенная	( )	9,2	10,5	III	0,9
Ясень обыкновенный	++	5,8	15,5	III	0,8
Рябина обыкновенная	++	1,7	50,0	II	0,8
<b>Кустарники</b>					
Сирень обыкновенная	++	1,3	68,0	I	0,9
Лох узколистный	++	1,6	58,0	II	0,9
Клен татарский	++	2,6	14,5	III	0,5

Газоустойчивость: высокая ++, средняя +, слабая – , нет данных ( ) .

Поглотительная способность: I группа – высокая; II группа – средняя; III группа – низкая.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 184 с.
2. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
3. Важенин И. Г. Влияние техногенных выбросов на зольный состав сельскохозяйственных культур // Бюл. Почвенного института им. В. В. Докучаева. 1980. Вып. 24. – С. 3–6.
4. Волкова В. Г., Давыдова Н. Д. Техногенез и трансформация ландшафта. – Новосибирск: Наука, 1987. – 189 с.
5. Географическое обоснование экологических экспертиз / Под ред. Т. В. Звонковой – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 208 с.
6. Герасимов Г. Я. Экологические проблемы теплоэнергетики: моделирование процессов образования и преобразования вредных веществ. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 210 с.
7. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2007. – 350 с.
8. Дончева А. В., Казаков Л. К., Калуцков В. Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. – М.: Экология, 1992. – 256 с.
9. Дончева А. В., Казаков Л. К., Калуцков В. Н. Экология и отрасли промышленности (природный аспект) // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. 1979. № 7. – С. 46–59.
10. Дончева А. В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 96 с.
11. Звонкова Т. В., Казаков Л. К. ТЭС с точки зрения географа // Энергия (экономика, техника, экология). 1988. № 12. – С. 26–32.
12. Казаков Л. К. Изменения в структуре ареалов воздействия тепловых электростанций // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1977. № 4. – С. 77–81.
13. Казаков Л. К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования. – М.: Академия, 2008. – 332 с.
14. Казаков Л. К. Отходы энергетики в народном хозяйстве и природной среде (географический аспект) // Сельское хозяйство и охрана природы. Тарту: Изд-во Тартуского ун-та, 1985. – С. 124–146.
15. Калуцков В. Н. Производство черных металлов и природная среда // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. 1984. Вып. 33, № 11. – С. 96–110.
16. Калыгин В. Г. Промышленная экология. – М.: Академия, 2009. – 432 с.
17. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 206 с.
18. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. – 123 с.
19. Лукьянчиков Н. Н., Потравный И. Н. Экономика и организация природопользования: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 591 с.
20. Любимов И. М. Экологическое воздействие железорудной промышленности и черной металлургии на среду и проблемы комплексного использования отходов // Некоторые геоморфологические процессы и воздействие на ландшафт и его компоненты. – М.: Наука, 1982. – С. 38–43.
21. Николаевский В. С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений. – М.: Моск. лесотехн. ин-т, 1989. – 64 с.
22. Опекунов А. Ю. Экологическое нормирование. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2001. – 216 с.
23. Основы эколого-географических экспертиз / Под ред. К. Н. Дьяконова и Т. В. Звонковой. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 240 с.
24. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. – 762 с.
25. Ретеюм А. Ю. Земные миры. – М.: Мысль, 1988. 270 с.
26. Ретеюм А. Ю., Дьяконов К. Н., Куницын Л. Ф. Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы // Известия АН СССР, сер.геогр. 1972. № 4. – С. 46–55.
27. Розанов Л. Л. Технолитоморфная трансформация окружающей среды. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 178 с.
28. Солнцева Н. П. Устойчивость техногенной трансформации лесных почв при нефтедобыче // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1981. № 3. – С. 50–58.
29. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии геосистем / Под ред. М. А. Глазовской. – М.: Наука, 1981. – 256 с.
30. Эколого-географическое обоснование комплексных схем охраны природы / Под ред. Л. К. Казакова и В. П. Чижиной. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 168 с.

## Глава II

### ТРАНСПОРТНЫЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ\*

#### II.1. Транспортные пути в истории земной цивилизации

Переход человечества от присваивающего хозяйства к производящему с неизбежностью привел к географическому разделению труда. Как следствие, возникла необходимость в товарообороте между народами и регионами. Транспортные пути стали важнейшим звеном экономического и культурного развития человеческого общества. Так, неолитическая революция породила не только сельскохозяйственное производство, разнообразные ремесла и градостроительство, но и межрегиональные транспортные связи. Именно они, все шире и шире охватывая мир, послужили надежным «механизмом», который способствовал единению первых «зерен ноосферы» (по выражению В. И. Вернадского) в целостную систему земной цивилизации.

##### II.1.1. Дороги доиндустриального времени

*Дороги Древнего мира.* Немногие следы древнего дорожного строительства сохранились до наших дней. О дорогах Древнего мира мы узнаем, главным образом, из старинных манускриптов, чудесным образом уцелевших документов, сказаний и легенд, данных археологических и исторических исследований.

В 2004 г. группа египетских археологов обнаружила остатки оборонительного комплекса эпохи фараонов у древнего восточного въезда в Египет, на севере Синайского полуострова. Оборонительные сооружения стояли на «**дороге Хоруса**» (египетский бог в облике сокола), стратегически важной торговой и военной артерии из древнего Египта в Азию. «Дорога Хоруса» была укреплена и функционировала на протяжении нескольких веков, начиная от Среднего царства (от 2000 г. до н. э.) и кончая римской и греческой эпохами (около 323 года до н. э.). Символы Дороги Хоруса, выбитые на стенах храма Эль Карнак в Луксоре, являются самой древней топографической картой в мире.

Крупнейшими достижениями в области дорожного и мостового строительства ознаменовалась эпоха Древнего Рима. Римские дороги создавались, прежде всего, для военных нужд, для расширения границ и управления великой импе-

рией. Древнеримские дороги всегда прямые и мощёные. Они только изредка отклоняются от прямой трассы, чтобы избежать подъемов, и идут от одного крупного центра к другому, не обслуживая промежуточные районы [61]. Необходимость создания прямых дорог была обусловлена не только стремлением сделать расстояние между пунктами кратчайшим, но и отсутствием поворотного устройства в передних осях римских повозок.

Одна из самых известных дорог Древнего Рима – **Аппиева (Via Appia)** – была построена от Рима до Капуи (212 км) цензором Аппием Клавдием в 312 г. до н. э., а в 240 г. до н. э. – продолжена до Бриндизи (еще 370 км). Дорога имела ширину 6 м и сложное конструктивное решение: в основании находились тяжелые каменные блоки, скрепленные известковым раствором, уложенные таким образом, что создавался выпуклый поперечный профиль. Гравийное покрытие впоследствии было заменено многоугольными блоками базальта, тщательно подогнанными между собой (рис. 11). «*Longarum Regina Viarum*» – «королевой дальних дорог» назвал Аппиеву дорогу римский поэт Публий Папиний Стаций.

Сеть дорог Римской империи покрывала все завоеванные Римом земли, включая Британию, Галлию, Иберию. По различным сведениям протяженность сети дорог Древнего Рима составляла около 300 тыс. километров [44]. В этот период функционировало 372 магистральные дороги, из которых 29 сходились у Рима. С тех пор и по сей день живет пословица: все дороги ведут в Рим. Дороги, проходившие в горах, имели тоннели, а речные долины и овраги пересекались мостами и виадуками – каменными многоарочными сооружениями, отличавшимися подлинным архитектурным совершенством. Неотъемлемой принадлежностью дорог Рима были триумфальные арки, которые композиционно замыкали въезд в города. Отдельные древние римские дороги сохранились до настоящего времени.

*Дороги Средневековья.* Раннее средневековье не оставило в Европе значительных памятников

\* Глава написана при поддержке РФФИ (гранты №№ 08-05-00872; 11-05-00544)



*Рис. 11. Аппиева дорога – фрагменты древнего мощения. Вдоль дороги – посадки пинии (итальянской сосны – *Pinus pinea*). (Материал из Википедии)*

дорожной сети. Феодалная раздробленность не способствовала созданию протяженных путей сообщения. Люди Средневековья ходили пешком или ездили на телегах, запряжённых ослами и лошадьми, по извилистым грунтовым дорогам, повторяющим рельеф местности.

Эпоха Возрождения, характеризующаяся культурным расцветом многих государств и Великими географическими открытиями, принесла новые идеи трассирования и строительства дорог. Дороги начали объединяться в единую сеть, охватывающую не только несколько стран, но и несколько частей света.

Архитекторы эпохи Возрождения, используя традиции античного зодчества, задавались разработкой правил создания удобных, безопасных и красивых дорог. «Кратчайшей из всех будет, однако, не самая прямая, а самая безопасная дорога, и я предпочитаю, чтобы она была несколько длиннее, но зато удобнее», – говорит итальянец Альберти (XV в.). Он определяет их облик и эстетическое окружение: «...путники... будут отвлечены приятностью вида от тягостного странствия». Им же вводится разграничение дорог в зависимости от функционального назначения на военные и невоенные, городские и загородные, общественные, ведущие к храму или ристалищу.

Традиционной частью придорожного пейзажа дорог Европы становятся такие мемориальные сооружения, как небольшие храмы, часовенки и придорожные кресты.

Одной из знаменитых дорог того времени стал Великий Шелковый путь, проложенный от Восточного Средиземноморья по Иранскому нагорью, через Среднюю и Центральную Азию в Китай. По нему шли многочисленные караваны с драгоценными грузами (рис. 12). Самые трудные участки трассы старательно поддерживались в хорошем состоянии. В солончаковой пустыне Центрального Ирана через каждые 15 км встречались куполообразные постройки над прудом или колодцем с водой. В качестве ориентиров служили деревянные шесты или похожие на минареты башни. Через реки строились изогнутые дугой мосты на стрельчатых арках. Если удавалось двигаться более или менее прямым путем, то от Красного моря до Китая насчитывалось около 200 станций и столько же дневных переходов [16]. Караван-сарай (караван-сераи) являлись особым видом постоялого двора, имевшего распространение повсюду на Ближнем и Среднем Востоке. Как правило, это – крупные здания с большим внутренним двором, с галереями для вьючных животных по периметру и многочисленными комнатами для проезжающих.

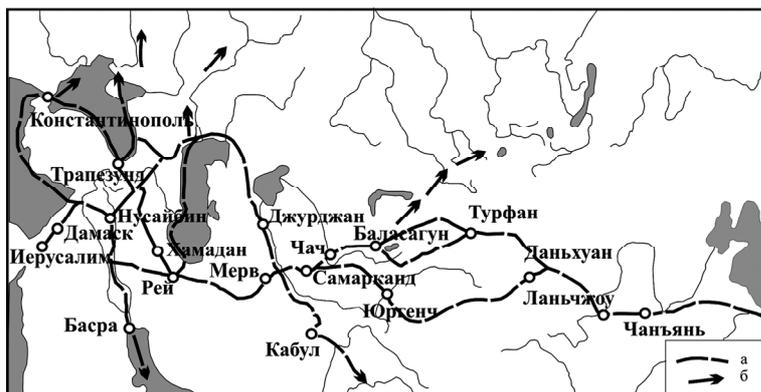


Рис. 12. Великий Шелковый путь. а – основная дорога; б – ответвления [16]

В Южной Америке в средневековой империи инков была создана сеть мощных камнем дорог, которую сравнивают с дорогами Древнего Рима. Две главные магистрали проходили с севера на юг: одна вдоль побережья Тихого океана, другая – через горы Анды. Сеть поперечных дорог связывала две магистрали и населенные пункты. Горные дороги были сравнительно узкими (в среднем около 1 м) и трассированы серпантинами, которые порой переходили в ступени. Эта особенность согласовывалась с вычным способом передвижения – инки не знали колесных экипажей. Дороги на побережье были более прямыми и широкими (в среднем 3,5–4,5 м). На дорогах имелись почтовые дома, или постоянные дворы («тамбу»), которые строились на расстоянии дневных переходов. Возводились мосты (обычно висючие или понтонные), высокие каменные насыпи; прокладывались тоннели, гати. Дороги обсаживались деревьями, которые получали влагу из придорожных канав. Интересной особенностью было устройство специальных каменных стенок высотой в пояс человека, предохранявших дорогу от заноса песком. После испанского завоевания страны инков эти дороги долгое время продолжали использоваться. Местами они сохранились и до наших дней.

Первыми сухопутными дорогами в Киевской Руси были из Киева в Краков, Прагу и Южную Германию, затем возникли дороги из Киева в низовья Дона (Залозный путь) и Крым (Соляной путь) [44]. В XVII в. центром дорожной сети в России стала Москва. Из неё выходили следующие основные дороги: на север (Великий Устюг, Холмогоры и Архангельск) через Переяславль, Ярославль, Вологду; на Нижний Новгород; на Рязань и Тамбов; на Тулу и Курск; на Киев; на Вязьму и Смоленск; на Новгород через Тверь, Торжок и Вышний Волочек.

Присоединение Сибири потребовало строительства дорог в восточную часть страны, за Урал.

Первой стала Бабиновская дорога через Урал в Сибирь до Верхотурья. Дорога возникла в 1597 г. и утратила свое значение лишь после открытия в 1763 г. Сибирского тракта. Сибирский тракт шёл из Москвы через Муром, Пермь, Екатеринбург, Тюмень, Тобольск, Иркутск, Нерчинск до Кяхты (на границе с Китаем). Далее торговцы пересекали степи Внутренней Монголии и прибывали в Калган – крупную заставу на Великой Китайской стене, считавшуюся воротами в Китай.

На дорогах устанавливались верстовые столбы для указания расстояний и сооружались почтовые станции (постоялые дворы) для смены лошадей и предоставления ночлега путникам и ямщикам.

Особенно активно дорожное строительство стало развиваться при Петре I. В 1705 г. началось строительство дороги из Петербурга в Москву. Дорога была грунтовой, в отдельных участках покрывалась бревенчатыми настилами. Мощение щебнем дороги началось только в 1817 г. В 1820 г. по ней прошёл первый рейсовый экипаж.

Большая часть российских дорог вплоть до XX в. не имела твердого покрытия. Вспомним знаменитую «Владимирку» с картины И. Левитана – символ России с крестом у обочины – путь каторжан в далекую Сибирь

### II.1.2. Из истории железнодорожного строительства

Бурное развитие капитализма и рост промышленного производства в XVII–XIX вв. вывело дорожное строительство на новый уровень: появились железные дороги и новые средства передвижения – паровозы и автомобили. Транспортные пути стали приобретать геотехнический характер.

Родиной железнодорожного транспорта была Англия. Первая паровая железная дорога Ливерпуль – Манчестер была открыта в 1825 г. С этого времени началось быстрое развитие железнодорожного транспорта. Железные дороги распространились по всему миру (табл. 9).

В России железнодорожный транспорт появился во второй четверти XIX в. Первая железная дорога была построена из Санкт-Петербурга в Царское Село и Павловск в 1837 г. Длина её составляла около 27 км. Затем была построена железная дорога из Санкт-Петербурга в Москву, движение по которой открыто в 1851 г. После отмены крепостного права в России значительно возросли темпы железнодорожного строитель-



Рис. 13. «Владимирка» И. Левитан (1892 г.)

ства. К концу XIX в. европейская часть России была покрыта довольно густой сетью железных дорог.

Сибирский тракт, проложенный еще в середине XVIII в., уже не мог удовлетворить транспортные потребности российской экономики, что стало причиной сооружения железнодорожной Транссибирской магистрали. **Великий Сибирский Путь** (историческое название) – железная дорога через весь Евразийский континент, соединяющая Москву и крупнейшие сибирские и дальневосточные города России. В 2002 г. завершена её полная электрификация. Исторически Транссибом может называться лишь восточная часть магистрали, от Челябинска до Влади-

востока, построенная в 1891–1916 гг. Её длина около 7 тыс. км. Общая протяженность магистрали 9288,2 км. Это самая длинная железная дорога в мире [25].

В 1880-е годы проложена одна из первых железных дорог через пустыню – **Закаспийская**; от Красноводска на побережье Каспийского моря до Ашхабада и далее на Ташкент.

К 1913 г. общая протяженность сети железных дорог в России достигла 70 900 км. По этому показателю Россия опередила Великобританию, Францию и Германию, уступая лишь США.

В СССР в годы первых пятилеток железнодорожное строительство шло ускоренными темпами. Одной из известных была стройка Турксиба в 1927–1931 гг., который обеспечил кратчайший путь из Средней Азии в Сибирь и на Дальний Восток. Железнодорожная сеть СССР на 1 января 1938 г. по протяженности занимала второе место в мире и составляла 85,1 тыс. км. После Второй мировой войны строительство железных дорог возобновилось.

Особо отметим возведение железной дороги вдоль Северного полярного круга «Чум – Салехард – Игарка», известной как «Мертвая дорога» (рис. 14). В

Первые в мире железные дороги [13]

Год	Страна	Пункты назначения	Протяженность, км
1830	Англия	Ливерпуль – Манчестер	–
1830	США	Чарльстон – Огаста	64
1832–1833	Франция	Сен-Этьен – Лион	58
1835	Германия	Фюрт – Нюрнберг	7
1835	Бельгия	Брюссель – Мехельн	21
1837	Россия	Санкт-Петербург – Царское Село	26,7
1851	Россия	Санкт-Петербург – Москва	650

Таблица 9

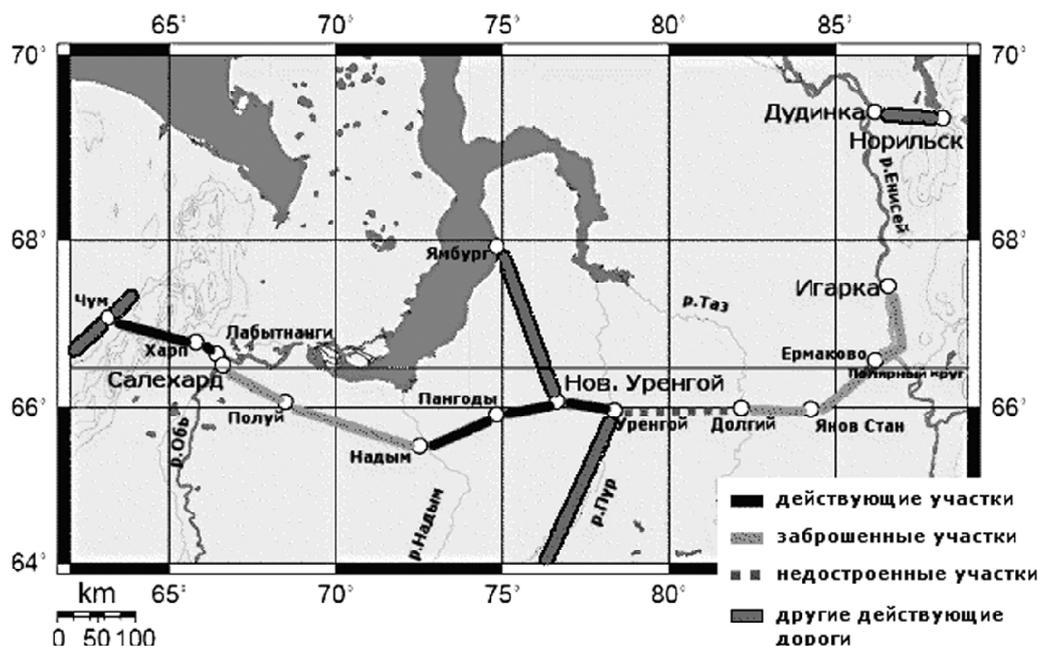


Рис. 14. «Мертвая дорога» Чум – Салехард – Игарка (Материал из Википедии)

тяжелейших природных условиях Западно-Сибирской лесотундры при полном бездорожье, обилии болот, морозах в зимнее время до  $-50^{\circ}\text{C}$ , а в летнее время – засилии изнуряющего гнуса дорога строилась заключенными ГУЛАГа, которых насчитывалось от 80 до 100 тысяч. С 1948 до 1953 г. было возведено около 800 км из запроектированных 1482 км. Вскоре после смерти И. В. Сталина было принято решение о консервации стройки и последующей ее ликвидации. Большая часть дороги была заброшена, полотно, насыпь, мосты, лагеря заключенных и посёлки ссыльных разрушены или демонтированы. Постоянно действующим остался лишь участок от Чума до Салехарда [25]. В 70–80-е годы XX в. с развитием газовой добычи в Ямало-Ненецком автономном округе и возникновением новых городов (Надым, Пангоды, Новый Уренгой) Мертвая дорога вновь приобрела экономическое значение. В районе прохождения магистрали было открыто второе по величине в мире Уренгойское газовое месторождение. Для нужд строительства был восстановлен участок дороги от Нового Уренгоя до Надыма. План полного ее восстановления – один из главных пунктов крупного проекта «Урал промышленный – Урал Полярный» (2008 г.).

Новый этап освоения восточных районов страны наступил со строительством Байкало-Амурской магистрали (БАМ). Впервые идея сооружения широтной железнодорожной магистрали, проходящей севернее озера Байкал, возникла еще при проектировании Великого Транссиба. В 1937–1942 гг. было окончательно установлено генеральное направление магистрали: Тайшет (Иркутская область) – Усть-Кут – Нижнеангарск – Чара –

Тында – Ургал – Комсомольск-на-Амуре – порт Советская Гавань (второй выход к Тихоокеанскому побережью). Трасса огибает Байкал с севера, затем проходит в 200–300 км севернее Транссиба до р. Амур, выходя напрямую к Татарскому проливу. В военные годы началось строительство конечных участков БАМа: Тайшет – Усть-Кут (р. Лена) и Комсомольск – Советская Гавань [4]. Строительство дороги несколько раз прекращалось. С 1953 по 1967 гг. стройка была законсервирована, затем возобновлена. В декабре 2003 г. произошло событие, которое можно считать завершением грандиозной стройки Байкало-Амурской магистрали: Северо-Муйский тоннель в Ангараканской седловине Северо-Муйского хребта был принят в эксплуатацию.

Железнодорожный транспорт обеспечивает более 80% общего грузооборота в России. Наиболее грузонапряженной является Транссибирская магистраль. Вместе с БАМом она служит гарантом единения западных и восточных регионов России.

### II.1.3. Развитие автомобильных дорог

Начало современной автомобильной эпохи принято отсчитывать с 1895 г., когда независимо друг от друга Г. Даймлер и К. Бенц построили самодвижущиеся экипажи, имевшие двигатели внутреннего сгорания. Первый отечественный двухместный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания был создан в Санкт-Петербурге в 1896 г. [33].

Протяженность автодорог с твердым покрытием в России росла медленно. К 1913 г. она составляла около 37 тыс. км, а к 1940 г. увеличи-

лась в 4 раза. В настоящее время в России около 800 тыс. км автодорог с твердым покрытием. Важнейшим автомагистралям присвоены маршрутные номера. Автомобильные дороги федерального значения имеют префикс М и номер, а дороги регионального значения – префикс А и номер. При взгляде на карту федеральных автодорог (рис. 15), отчетливо видно недостаточное развитие дорожной сети на севере страны, в Сибири и на Дальнем Востоке.



**Рис. 15.** Федеральные автодороги России [40, по приложению 1, рис. 3]: М1 «Беларусь»; М2 «Крым»; М3 «Украина»; М4 «Дон»; М5 «Урал»; М6 «Каспий»; М7 «Волга»; М8 «Холмогоры»; М9 «Балтия»; М10 «Скандинавия, Россия»; М11 «Нарва»; М18 «Кола»; М20 «Псков»; ... М29 «Кавказ»; М51 «Байкал»; М52 «Чуйский тракт»; М53 «Байкал»; М54 «Енисей»; М65 «Лена»; М56 «Колыма»; М58 «Амур»; М60 «Уссури»; А119 «Вятка»

Несмотря на неоспоримое преимущество железнодорожного транспорта в грузовых перевозках, по пассажирообороту пальма первенства принадлежит автотранспорту [40].

#### II.1.4. Трубопроводы и ЛЭП

Трубопроводы – узкоспециализированный вид транспорта, применяющийся почти исключительно для перекачки нефти, нефтепродуктов и природного газа. Трубопроводы надежны в работе, не зависят в эксплуатации от климатических условий, а их герметичность сводит к минимуму потери транспортируемой продукции. Магистральные нефтепроводы имеют высокую пропускную способность (диаметр магистральных труб: 1020, 1220, 1420 мм) и используются для перекачки нефти на дальние расстояния – от месторождений к нефтеперерабатывающим заводам, морским нефтеналивным терминалам или районам потребления нефтепродуктов. Это обходится

примерно в 3 раза дешевле, чем доставка нефти по железной дороге.

**Развитие сети нефтепроводов.** Трубопроводный транспорт России (СССР) имеет более чем вековую историю. Его появление связано с освоением нефтяных месторождений Баку и Грозного. В 1907 г. первый магистральный трубопровод протяженностью 860 км соединил нефтеперерабатывающий завод Баку с Батумским портом (для дальнейшей транспортировки

керосина морем). До революции были построены трубопроводы Грозный – Махачкала, Майкоп – Краснодар и др. Общая протяженность магистральных нефтепроводов в 1917 г. достигла 1100 км [59].

В годы Советской власти нефтепроводный транспорт стал развиваться ускоренными темпами. Построен нефтепровод Грозный – Туапсе, к которому подключены нефтепроводы майкопских и краснодарских нефтепромыслов. В Заволжье еще до Великой отечественной войны начал создаваться новый район нефтедобычи и нефтепереработки «Второе Баку».

В 1970-е годы добыча нефти переместилась за Урал. За 1976–1985 гг. основной прирост нефтедобычи был получен за счет освоения новых нефтеносных районов Западно-Сибирского ТПК (Тюменская и Томская области). Транспортировка нефти осуществлялась мощной системой нефтепроводов, протянувшихся на юг, на восток и в

европейскую часть страны. В нее входили нефтепроводы: Усть-Балык – Омск, Усть-Балык – Курган – Альметьевск, Александровское – Анжеро-Судженск – Ангарск, Уренгой – Холмогоры – Клин – Новополоцк. Была построена нефтепроводная система «Дружба», подающая нефть в страны Восточной Европы.

В 1990-е годы, после распада СССР, единая нефтепроводная система сохранилась только в России. В других странах СНГ осталась лишь часть магистральных нефтепроводов. Некоторые из них осуществляют транзит российской нефти в Европу.

В числе крупнейших проектов строительства новых трубопроводных систем:

- Восточная Сибирь – Тихий океан;
- Харьяга – Индига в Ненецком автономном округе с морским отгрузочным терминалом на побережье Баренцева моря;
- Балтийская трубопроводная система 2 с морским терминалом Усть-Луга на Балтийском море.

Главным проектом последних лет безусловно является трубопроводная система Восточная Сибирь – Тихий океан. Протяженность трассы свыше 4 770 км, конечным пунктом будет новый специализированный морской нефтяной порт в бухте Козьмина в Приморском крае.

**Развитие сети газопроводов.** В России создана крупнейшая в мире по мощности и энергооборуженности единая система газоснабжения. Она охватывает сотни месторождений, около 300 промысловых участков комплексной подготовки газа, свыше 170 тыс. км магистральных газопроводов. Современный газопровод диаметром 1420 мм перекачивает в год до 32 млрд м<sup>3</sup> и заменяет перевозку 50 млн т угля. Транспортировка газа в пересчете на условное топливо обходится в 7–8 раз дешевле перевозки угля по железной дороге.

Газопроводы – молодая транспортная система. Крупный газоносный район был открыт в Западной Сибири в 1960-е годы. В 1975 г. введен в эксплуатацию газопровод Медвежье – Надым – Урал – Центр. Подача западно-сибирского газа в центральные и западные районы страны в настоящее время осуществляется мощной системой газопроводов, проложенных по трем направлениям: северное – через Ухту, Вологду, Торжок; центральное – через Серов, Пермь, Казань; южное – через Сургут, Челябинск, Уфу и далее на запад страны [13].

Приоритетным проектом в настоящее время является строительство газопровода «Северный поток» (*Nord stream*) из России в страны Западной Европы через акваторию Балтийского моря. Планируется строительство системы магистраль-

ных газопроводов Бованенково – Ухта и Ухта – Торжок для транспортировки газа с месторождений полуострова Ямал, а также газопровода «Южный поток», который наряду с проектом «Северный поток» может обеспечить диверсификацию маршрутов поставок газа на европейский рынок.

На Дальнем Востоке предполагается создание газотранспортной системы для обеспечения надежного газоснабжения российских потребителей и выхода на экспортные рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Ее основу на первом этапе составит газопровод Сахалин – Комсомольск-на-Амуре – Хабаровск – Владивосток.

**Развитие линий электропередачи (ЛЭП).** Широкое внедрение электрической энергии во все отрасли промышленности и народного хозяйства в XX в. потребовало ее передачи на значительные расстояния. Чтобы избежать огромных потерь в линиях передачи, транспортировать электроэнергию необходимо при высоком напряжении тока. Для передачи больших мощностей на расстояния в сотни и тысячи километров строятся ЛЭП с напряжением 500, 750 и даже 1150 кВ. На местности для них выделяется специальная полоса отчуждения.

Во многих районах России сеть ЛЭП стала одним из характерных техногенных компонентов природно-антропогенных ландшафтов.

## II.2. Современные транспортные пути – линейные геотехнические системы

Известное определение геотехнической системы было дано в 1978 г.: «геотехническая система – это географическое образование, у которого природные и технические части настолько взаимосвязаны, что функционируют как единое целое, хотя отдельные подсистемы получают «сигналы управления» не только из общества, но и из природы» [49]. Иными словами, геотехнические системы состоят из природных и технических структур; помимо того, включают механизмы антропогенного управления. Технология производства, потоки вещества, энергии и информации обуславливают целостность геотехнических систем. Будучи открытыми, геотехнические системы обмениваются со средой веществом и энергией. Особую группу геотехнических систем образуют транспортные геосистемы, включающие в себя железнодорожные, автодорожные и трубопроводные геосистемы, а также линии электропередач (ЛЭП).

Геотехнические системы транспортного назначения представляют собой обязательный элемент инфраструктуры любой освоенной территории и

играют большую роль в формировании и развитии экономики каждой страны, района, города. Сам транспорт и транспортные пути оказывают существенное воздействие на природную среду. Наибольшее вещественно-энергетическое влияние исходит от **наземного транспорта** и связанных с ним систем.

Все виды наземных транспортных геосистем можно разделить на две группы – *узловые, или площадные* (аэропорты, железнодорожные вокзалы, речные и морские порты, транспортно-складские комплексы, нефтеперекачивающие станции) и *линейные* (дороги – автомобильные и железные; магистральные трубопроводы; линии электропередачи).

Вопросы природоохранного проектирования, строительства и эксплуатации узловых (площадных) транспортных геотехсистем аналогичны промышленным (см. главу I). В данной главе будут проанализированы транспортные геосистемы линейного характера, называемые далее «транспортные геосистемы». Они имеют ряд отличий от промышленных геотехсистем как по особенностям структуры и функционирования, так и по воздействию на окружающую природу.

### II.2.1. Инженерно-техническая характеристика транспортных геосистем

Транспортные геосистемы включают в себя железные и автомобильные дороги, трубопроводы разного назначения и ЛЭП.

**Железные дороги** используются для движения рельсовых транспортных средств. Категория железных дорог определяется в зависимости от заданной грузонапряженности на расчетные годы и скорости движения по перегону, а также по количеству пассажирских поездов. Максимальная скорость движения пассажирских поездов предусматривается: на скоростных магистральных линиях от 160 до 200 км/час, на особо грузонапряженных линиях – до 120 км/час (при соответствующем обосновании допускается до 160 км/час), на линиях I и II категорий – 160 км/час, III категории – до 120 км/час и IV категории – до 80 км/час.

Железнодорожный путь – сложная конструкция, включающая верхнее и нижнее строения пути, **искусственные сооружения** (железнодорожные мосты, тоннели, виадуки, дренажные трубы, подпорные стенки и др.) и **сооружения инженерной защиты** земляного полотна от разрушительных природных процессов. К верхнему строению относятся рельсы, шпалы, рельсовые скрепления, балласт, к нижнему – земляное полотно.

**Земляное полотно** – это комплекс земляных сооружений, сглаживающий неровности естествен-

ного рельефа земной поверхности и состоящий из насыпей, выемок и нулевых мест (участков, где по условиям рельефа местности не требуется ни насыпей, ни выемок). В состав земляного полотна железных дорог входят водоотводные устройства (кюветы, лотки, нагорные и забанкетные канавы, дренажи и др.), необходимые для отвода воды от насыпей и из выемок. Котлованы, из которых берется грунт для насыпи, располагаются вдоль нее и называются резервами. Вдоль выемок сооружаются кавальеры – отвалы грунта, остающегося при их разработке, и банкетты – земляные валы вдоль верхнего края выемки, служащие для защиты бровки и откоса выемки от стекания в нее воды (рис. 16).

Ширина земляного полотна на прямых участках пути принимается по нормам, приведенным в табл. 10 для однопутных железнодорожных линий разных категорий. В скальных, крупнообломочных и песчаных (кроме мелких и пылеватых песков) грунтах ширина уменьшается. На кривых участках ширина земляного полотна увеличивается в наружную сторону на 0,1–0,5 м в зависимости от радиуса кривой.

Для постройки железной дороги отводится полоса земли, ширина которой на перегонах соответствует поперечным профилям земляного полотна с учетом резервов или кавальеров, а также с учетом постройки в будущем второго пути. Она называется полоса отвода (см. рис. 16). Расстояние от подошвы насыпи, бровки откоса, выемки или канавы до границы полосы отвода дол-

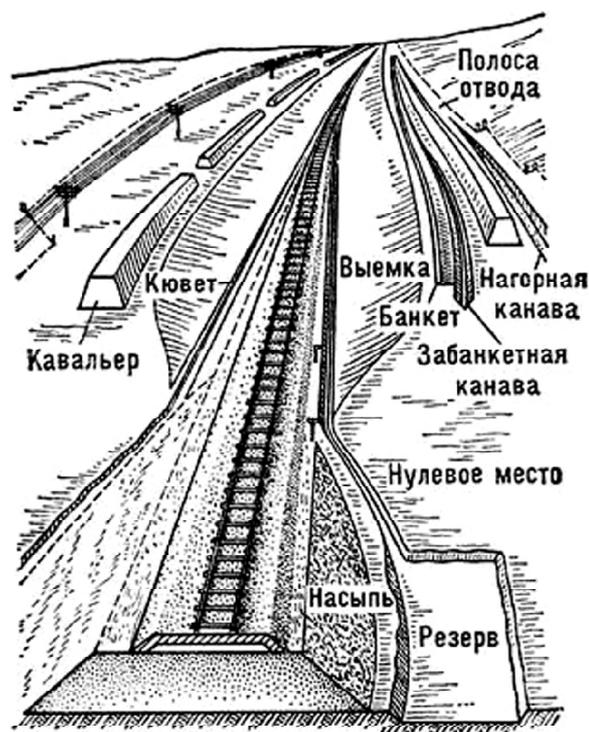


Рис. 16. Строение железнодорожного пути [7, с.498]

Таблица 10  
Ширина земляного полотна на прямых участках однопутных железнодорожных линий  
(по СНиП 32-01-95)

Категория железных дорог	Число главных путей	Ширина земляного полотна на прямых участках пути, м, при использовании грунтов	
		глинистых, крупнообломочных с глинистым заполнителем, скальных выветривающихся и легковыветривающихся, песков недренирующих, мелких и пылеватых песков	скальных слабыветривающихся, крупнообломочных с песчаным заполнителем и песков дренирующих* (кроме мелких и пылеватых)
Скоростные и особо грузонапряженные, I	2	11,7	10,7
I и II	1	7,6	6,6
III	1	7,3	6,3
IV	1	7,1	6,2

\*К дренирующим по условиям работы земляного полотна следует относить грунты, имеющие коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут и содержащие менее 10% частиц по массе размером менее 0,1 мм. Допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании применять в качестве дренирующего грунта пески мелкие и пылеватые с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут.

жно быть, как правило, не менее 2 м. Около станций, поселков, путевых зданий и других сооружений ширина полосы отвода соответственно увеличивается [21].

**Автомобильные дороги** – это комплекс сооружений для безопасного и удобного движения автомобилей с расчётными скоростями и нагрузками. В отличие от железных дорог автодороги относятся к безрельсовым транспортным путям, что существенно повышает их проходимость, способность двигаться по неровному и/или мягкому грунту в любом направлении. В настоящее время строят специально рассчитанные и спроектированные автомобильные магистрали. Для них приходится отсыпать дорогу выше, чем окружающая местность (чтобы вода стекала с её поверхности), расширять проезжую часть, устранять крутые подъёмы и спуски, увеличивать радиусы закругления и покрывать слоем асфальтобетона или другого материала.

Автомобильные дороги разделяют на категории в зависимости от количества и ширины полос движения; скорости автотранспорта; типа пересечений с автомобильными, железными дорогами, трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками; условий доступа на автомобильную дорогу с примыканиями в одном уровне и т. д. Основные технические характеристики классификационных признаков автомобильных дорог приведены в **табл. 11**. Для дорог I и II категории обязательно наличие центральной разделительной полосы. Наилучшие условия движения создаются при ширине разделительной полосы, равной 12 м и более, когда вероятность столкновения со встречным автомобилем и степень ослепления светом фар в темное время ми-

нимальны. Если разделительная полоса имеет ширину меньше 12 м (минимально – 5–6 м), необходимо с учетом интенсивности движения предусматривать установку ограждений [45, 50].

Примерами современной автомобильной магистрали могут служить Московская кольцевая автомобильная дорога (МКАД) или кольцевая автодорога вокруг Санкт-Петербурга. За рубежом автомобильные магистрали называют скоростными дорогами (во Франции *autoroute*, в Англии *motorway*, в Италии *autostrada*, в США *highway*, в Германии *Autobahn* – рис. 17).

Общая ширина проезжей части крупной автомагистрали с 8–10-полосным движением (такой, как МКАД) должна составлять не менее 50–55 м, включая центральную разделительную полосу, краевые остановочные полосы и обочину. При этом площадь МКАД достигает 6 км<sup>2</sup>, что соизмеримо с площадью небольшого населенного пункта и намного превышает площадь крупного завода или другого промышленного объекта.

Основные элементы поперечного профиля автомобильной дороги в пределах полосы отвода: *земляное полотно, проезжая часть, обочины* для временной остановки автомобилей; *резервы*, из которых берут грунт для возведения земляного полотна; *обрезы* – боковые придорожные полосы для временных объездов, пешеходных и велосипедных дорожек, зелёных насаждений, линий связи; *кюветы, кавальеры* и т. д. (рис. 18, 19). На проезжей части кладут *дорожную одежду*.

**Дорожная одежда** – это совокупность конструктивных слоёв дорожного покрытия и основания, выполненных из различных материалов.

Таблица 11

## Классы и категории автомобильных дорог [45]

Класс	Категория	Общее количество полос	Ширина полосы движения, м	Ширина земляного полотна, м	Пересечения	
					с железными дорогами, трамвайными путями	с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками
Автомагистраль	IA	4 и более	3,75	(50)		в разных уровнях
Скоростная дорога	IB	4 и более	3,75	(40)		
Дорога обычного типа (нескоростная дорога)	IV	4 и более	3,75	(40)	в разных уровнях	допускаются пересечения в одном уровне со светофорным регулированием
	II	4	3,5	23		
		2 или 3	3,75	12		
	III	2	3,5	11	допускаются пересечения в одном уровне	
	IV	2	3,0	10		
	V	1 (2)*	4,5 и более (2,75)*	9,5		

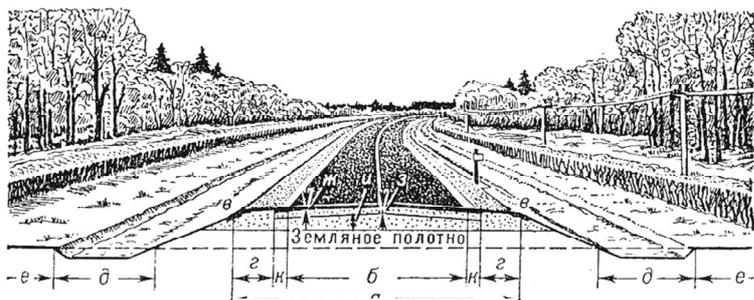
\*Центральная разделительная полоса не требуется для дорог III–V категорий. Для дорог пятой категории приведена ширина полосы при однополосном движении, а в скобках – при двухполосном.

*Покрытие* – верхний слой дорожной одежды, сооружаемый из прочных дорожно-строительных материалов. Оно должно быть ровным, с шероховатой поверхностью и обеспечивать хорошее сцепление с колёсами автомобиля. *Основание* –

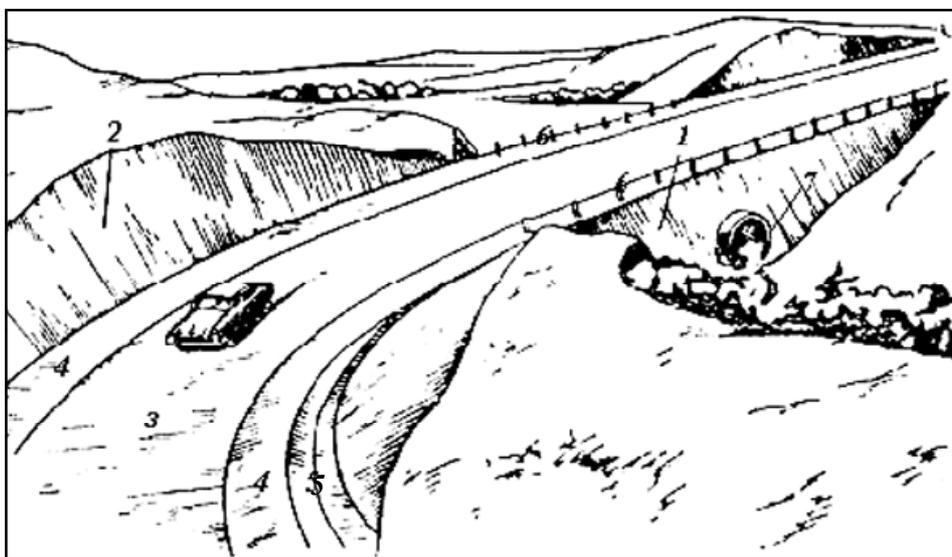
несущий слой (или слои) дорожной одежды, воспринимающий расчётную нагрузку автомобилей и предназначенный для обеспечения необходимой прочности и устойчивости автодорог. Дополнительный нижний слой основания имеет



Рис. 17. Автобан в Германии. На заднем плане – путепровод



**Рис. 18.** Поперечный профиль автомобильной дороги [6, с. 149]  
 а – ширина земляного полотна; б – проезжая часть; в – бровки земляного полотна; г – обочины; д – резервы (или кюветы); е – обрезы; ж – покрытие (верхний слой дорожной одежды); з – основание (несущий слой); и – дополнительный слой основания; к – крайевые полосы безопасности



**Рис. 19.** Устройство автомобильной дороги в условиях расчлененного рельефа [52, с. 36]. 1 – насыпь; 2 – выемка; 3 – дорожное покрытие (одежда); 4 – обочина; 5 – кювет; 6 – защитные ограждения; 7 – водопропускная труба

различное назначение (дренирующий, морозоустойчивый и т. п.). Для лучшей видимости границ проезжей части и укрепления краев покрытия устраивают крайевые полосы безопасности, отличающиеся от покрытия цветом. Слои покрытия и основания укладывают на подготовленное земляное полотно, обычно на ширину проезжей части.

**Искусственные сооружения.** Проложение транспортных путей невозможно без искусственных сооружений – мостов, труб, путепроводов, транспортных развязок и др. Их возводят в местах прохода железных и автомобильных дорог через неровности рельефа, ущелья, водотоки (реки, ручьи и т. п.), а также в местах пересечения с другими путями сообщения. Строительство инженерных сооружений подчас требует большого объема земляных работ и соответствующих строительных материалов [21, 25]. Наиболее распространенными на железных и автомобильных дорогах искусственными сооружениями являются мосты и трубы.

**Мосты** возводят при пересечении транспортных геосистем с реками, оврагами, дорогами. В зависимости от длины их делят на малые (до 25 м), средние (от 25 до 100 м) и большие (более 100 м). Путепроводы, виадуки и эстакады – это разновидности мостов, отличающиеся от них главным образом своим назначением.

**Путепроводы** – мостовые сооружения, предназначенные для пропуска одной дороги над другой, их устраивают при пересечении дорог в разных уровнях (рис. 20).

**Виадуки** – это мостовые сооружения, устраиваемые взамен высокой насыпи при пересечении дорогой глубоких лощин, оврагов, суходолов, ущелий (рис. 21).

**Эстакады** – мостовые сооружения, служащие для прокладки дороги на некоторой высоте над поверхностью земли, при этом подэстакадное пространство используется для прокладки других дорог, устройства различных хозяйственных объектов.

**Водопропускные трубы** устраивают внутри насыпи для пропуска через нее небольших водотоков (ручьев) и ливневых вод (рис. 22). Название «трубы» не всегда точно соответствует форме этих устройств, так как они могут иметь довольно большое поперечное сечение, а форма их может быть не только круглой.

**Тоннели** служат для прокладки дороги под землей при пересечении горных хребтов (горные тоннели – см. раздел II.4.3), в крупных городах (метрополитены), под руслами рек и каналов

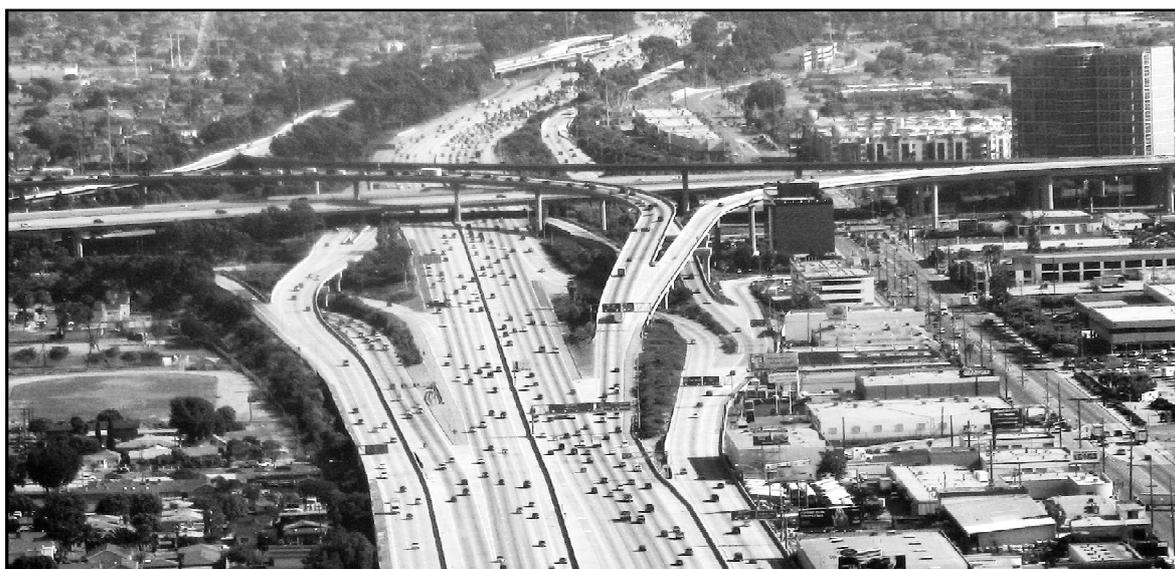


Рис. 20. Транспортный узел и путепроводы при пересечении двух автомагистралей (Лос-Анжелес, США).  
Фото Н. Г. Украинцевой

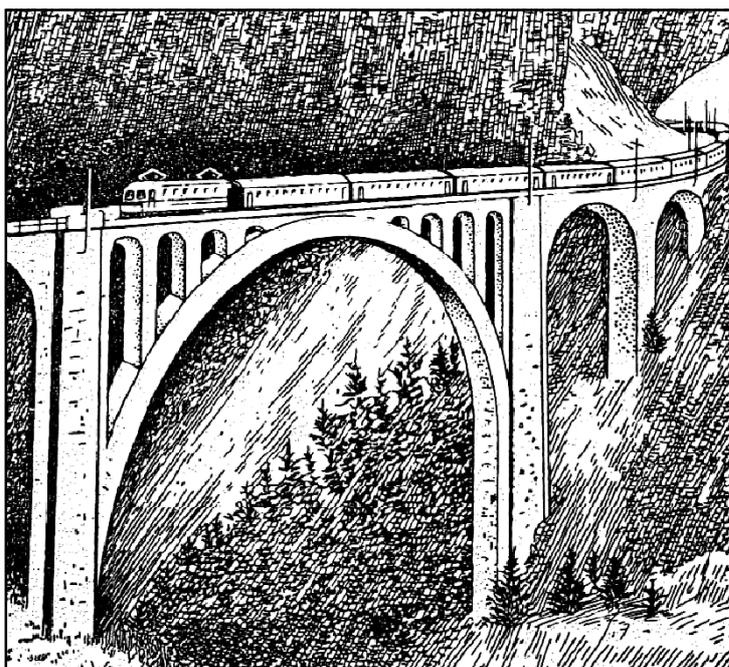


Рис. 21. Виадук [21, с. 41]

(подводные тоннели). Входную часть тоннеля, защищающую его сверху и с боков от обрушения горных пород, называют порталом.

**Подпорные стены** устраивают при прокладке дороги в горах, на косогорах, по берегам водотоков. Такие стены служат для поддержания откосов насыпей и выемок от обрушения, а также для защиты земляного полотна от подмыва водой.

**Противообвальные и противолавинные галереи** сооружают на горных участках дорог. Они защищают полотно дороги сверху и сбоку (рис. 23).

Подпорные стены и противообвальные галереи, являясь искусственными инженерными сооружениями, одновременно служат и для защиты основного объекта – транспортной геосистемы – от воздействия опасных природных процессов.

**Трубопроводы.** Согласно СНиП 2.05.06-85, магистральные трубопроводы подразделяются на четыре класса в зависимости от пропускной способности, определяемой условным диаметром труб (в мм): I – 1000–1420; II – 500–1000; III – 300–500; IV – менее 300. Прокладку трубопроводов осуществляют одиночно или в техническом коридоре. Под техническим коридором магистральных трубопроводов понимают систему параллельно проложенных трубопроводов по одной трассе, предназначенных для транспортировки нефти, нефтепродуктов или газа (газового конденсата). В отдельных случаях допус-



Рис. 22. Водопропускная труба [21, с. 41]

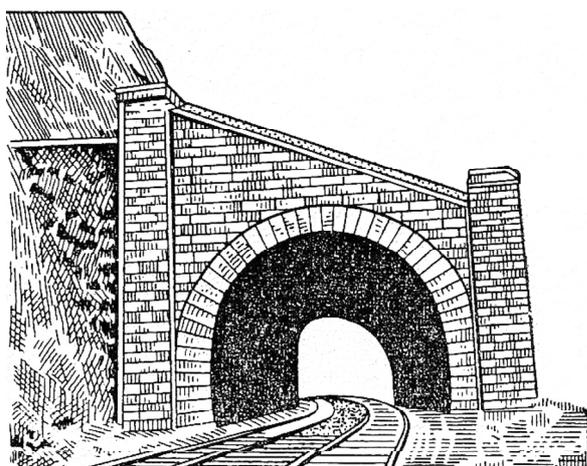


Рис. 23. Противоовальная галерея [21, с. 41]

кается совместная прокладка в одном техническом коридоре нефтепроводов и газопроводов.

Параллельно трубопроводу в полосе отвода прокладывают линию связи и автодорогу (рис. 24). Ширина полосы отвода для магистрального подземного трубопровода определяется в зависимости от его диаметра (табл. 12). До начала работ по рытью траншеи выполняют разбивку и закрепление на местности оси траншеи, расчистку полосы отвода от леса и кустарника, планировку полосы отвода, снятие и складирование плодородного слоя почвы на участках сельскохозяйственных угодий.

При большой протяженности магистрального трубопровода даже минимальная ширина полосы отвода земель потребует вывода из хозяйственного использования значительных площадей. Так, например, для нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан протяженностью 4 770 км с полосой отвода шириной 32 м общая площадь изымаемых земель превысит 150 км<sup>2</sup>.

Как правило, при строительстве магистральных трубопроводов применяют *подземный способ прокладки*, когда трубопровод закладывают в грунт на

глубину 0,8–1 м до верхней образующей трубы, если большая или меньшая глубина заложения не диктуются особыми геологическими условиями. К ее преимуществам относятся: надёжность трубопровода при внешних ударных воздействиях; стабильность температурного режима среды, окружающей трубопровод; технологичность строительства. Недостатком подземной прокладки является большой объём земляных работ, сложность ремонта, необходимость применения специальных мероприятий по обеспечению устойчивости трубы (балластировка, теплоизоляция, охлаждение и т. д.).

На участках со сложными инженерно-геологическими условиями, в районах с многолетнемерзлыми грунтами, активным проявлением эк-

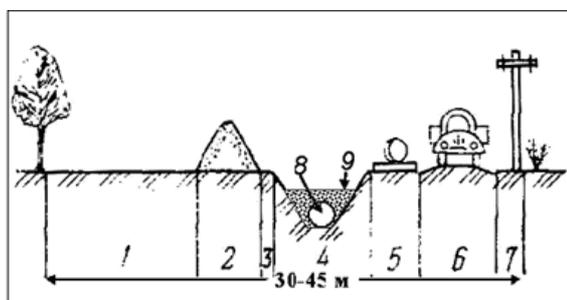


Рис. 24. Полоса отвода земель под строительство одного трубопровода [55]: 1 – полоса для работы бульдозера при засыпке траншеи; 2 – отвал; 3 – бровка; 4 – траншея; 5 – полоса для сборки и сварки труб; 6 – грунтовая дорога; 7 – линия связи; 8 – труба; 9 – грунт обратной засыпки

зогенных процессов, пересечённым рельефом, большим количеством болот, водотоков, искусственных препятствий применяется *надземная прокладка* трубопроводов. Трубопровод укладывается на отдельно стоящие опоры или эстакады высотой над поверхностью земли не менее 0,5 м.

Надземная прокладка имеет ряд преимуществ по сравнению с подземной. Полностью исключается тепловое воздействие трубопровода на грунты, сохраняется естественный сток поверх-

Таблица 12

Нормы отвода земель во временное пользование для строительства одного магистрального подземного трубопровода [55]

Диаметр трубопровода, мм	Ширина полосы отвода земель, м	
	на землях несельскохозяйственного назначения и землях Государственного лесного фонда	на землях сельскохозяйственного назначения худшего качества (при снятии и восстановлении плодородного слоя)
<426	20	28
426–720	23	33
720–1020	28	39
1020–1220	30	42
1220–1420	32	45

ностных и грунтовых вод, резко сокращается объем земляных работ [9, 51]. Тем не менее надземная прокладка в России широко не используется. Основная причина заключается в том, что в условиях холодного климата нашей страны велики теплопотери трубопроводов в зимний период. К недостаткам надземной прокладки относятся также создание определённых трудностей для движения транспорта и пешеходов, а в ненаселённой местности – для миграции животных. Кроме того, надземная прокладка требует применения труб из высококачественных хладостойких сталей, железобетонных опор с высокой морозостойкостью, а при прокладке нефтепродуктопроводов – дополнительных затрат на подогрев транспортируемых продуктов. Существенна также уязвимость конструкций при внешних ударных воздействиях.

**Линии электропередачи (ЛЭП).** Различают **воздушные и кабельные** линии электропередачи.

**Воздушные линии электропередачи** – устройства, предназначенные для передачи или распределения электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе и прикреплённым траверсами (кронштейнами), изоляторами и арматурой к опорам или другим сооружениям (мостам, путепроводам).

**Опоры** – это конструкции для подвески проводов и грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. Основные конструктивные элементы опор: стойки, фундаменты, траверсы, тросостойки и оттяжки.

Вдоль высоковольтных ЛЭП создаются охранные зоны, ширина которых в зависимости от рабочего напряжения ЛЭП составляет от 30 до 100 м в обе стороны от опор. Так, общая площадь отчуждаемых земель для ЛЭП-500 Сургут–Уренгой (протяжённостью 670 км) составляет около 50 км<sup>2</sup>.

**Кабельные линии электропередачи** делятся на подземные и подводные. По условиям прокладки и воздействию на природную среду подземные кабельные ЛЭП подобны трубопроводам.

### II.2.2. Влияние транспортных геосистем на географическую среду

Транспортные геосистемы, располагая достаточно мощным вещественно-энергетическим потенциалом, оказывают существенное воздействие на смежные природные и природно-антропогенные геосистемы. Вдоль транспортных артерий формируются полосы (поля) их ландшафтно-экологического влияния. Транспортная геосистема в совокупности с сопровождающими ее веще-

ственно-энергетическими полями превращается в некое подобие нуклеарной геосистемы, но не ядерного, а стержневого (потокового) типа [42]. При этом каждый вид транспортных геосистем имеет ряд специфических особенностей как транспортного стержня (потока), так и сопровождающих его полей.

Сильное влияние на окружающую природу оказывают **автомобильные дороги**. Это связано, во-первых, с тем, что современные автомагистрали в несколько раз шире, чем другие виды транспортных систем. Так, ширина земляного полотна железных дорог первой категории составляет 10–11,7 м, а рекомендуемая ширина земляного полотна международных автомагистралей и скоростных автодорог достигает 40–50 м и более (см. табл. 11). Ширина проезжей части скоростной платной автодороги Москва – Санкт-Петербург, строительство которой началось в 2011 году, составит восемь полос в Ленинградской и Московской областях и 10 полос на выезде из Москвы. При этом оптимальная ширина земляного полотна дороги должна быть соответственно 50 и 59 м [50].

Во-вторых, движущиеся по автодорогам автомобили выбрасывают в атмосферу значительное количество вредных веществ (см. табл. 17, 18). Основная масса этих веществ выпадает в непосредственной близости от автодорог, загрязняя основные компоненты ландшафта – почвенно-растительный покров, поверхностные и грунтовые воды. Большинство загрязняющих веществ состоят из *технофильных* химических элементов, добыча или производство которых значительно превышает их кларки в литосфере [43]. Асфальтированные поверхности дорог сами по себе являются искусственными телами, состоящими из технофильных элементов. Все это существенно трансформирует природное соотношение химических элементов в геосистемах автомобильных дорог. Ширина зоны влияния крупных автомагистралей достигает 400–500 м при максимальном загрязнении на расстоянии до 20 м от них. Кроме того, интенсивно используемые автомобильные дороги являются источниками сильного шума и вибрации грунта. По интенсивности воздействия на окружающую среду в соответствии с международными требованиями автодороги разделены на три экологических класса [50].

- **Первый класс** – экологически опасные крупные объекты, оказывающие значительное воздействие на окружающую среду: федеральные и областные магистральные и скоростные дороги первой и второй категорий, отдельные мосты и путепроводы длиной более 500 м.

- *Второй класс* – объекты, оказывающие существенное воздействие на окружающую среду. Дороги второй и третьей категории и сооружения на них, отдельные участки прочих дорог в населенных пунктах и на особо охраняемых территориях, а также в сложных условиях индивидуального проектирования.
- *Третий класс* – объекты, оказывающие незначительное, локальное воздействие на окружающую среду, технически несложные автомобильные дороги.

На прилегающей к дороге территории (за пределами полосы отвода) формируются поля – полосы, на которых проявляются ландшафтно-экологические воздействия дорожных сооружений и транспортных загрязнений.

*Резервно-технологическая полоса* – прилегающая к дороге территория в пределах полосы отвода, где постоянно превышаются санитарные нормы загрязнения воздуха, почвы, водоемов. Ландшафт полностью трансформирован. Земля для сельского хозяйства и длительного пребывания людей непригодна.

*Защитная полоса* – территория, граничащая с полосой отвода, на которой после строительства могут возникать изменения природных систем (осушение, заболачивание, эрозия и т. п.), не устранимые методами рекультивации, а транспортные загрязнения иногда (при неблагоприятном сочетании влияющих факторов) могут превышать установленные предельно допустимые концентрации или не соответствовать санитарным правилам и нормам (СанПиН). В силу этих причин территория защитной полосы не пригодна для постоянного пребывания людей и размещения жилых домов, а также для сельскохозяйственного и рекреационного использования.

*Зона влияния* – территория, на которой проявляются прямые или косвенные изменения природных систем вследствие строительства и эксплуатации дороги. Транспортные загрязнения превышают среднегодовые колебания фонового уровня, но не достигают установленных

санитарными органами нормативных ограничений. Воздействия самих сооружений не вызывают существенных необратимых последствий (табл. 13).

**Железные дороги** как геотехнические системы имеют много общих черт с автодорогами, но их воздействие на окружающую среду имеет несколько иной характер. Оно более интенсивно на этапе сооружения и менее значительно – в процессе их функционирования. При эксплуатации железных дорог в условиях электрической тяги источниками загрязнения воздушной и водной сред могут быть, главным образом, перевозимые грузы.

Строительство **магистральных трубопроводов**, как и других транспортных геосистем, сопряжено с крупными нарушениями природных геосистем в результате работы строительной техники. При трубопроводном строительстве сильнее всего проявляется барьерный эффект, от которого особенно страдают малые водотоки. При их пересечении трубопроводы чаще всего строят траншейным способом. Это приводит к нарушению водного режима и существенному загрязнению воды горюче-смазочными материалами и отходами строительства. Однако после рекультивации полоса временного землеотвода трубопроводов постепенно возвращается в состояние, близкое к исходному, а трассы подземных трубопроводов могут быть даже использованы как сельскохозяйственные угодья. Транспортировка нефти возможна только в жидком виде, при температуре выше +8...+10°C (чтобы нефть не загустела, ее иногда подогревают), поэтому нефтепроводы оказывают сильное тепляющее воздействие на ландшафт. Большой вред окружающей среде наносят разливы нефти при авариях.

В отличие от нефтепроводов, в газопроводах транспортируется сжиженный газ с отрицательной температурой. «Холодные» газопроводы не оказывают тепляющего воздействия, однако при авариях и утечках газа велика опасность взрывов и трудно ликвидируемых пожаров.

Таблица 13

Ориентировочные параметры полей воздействия автодорог на смежные территории [50]

Наименование территорий, испытывающих воздействия	Расстояние от края проезжей части, для экологического класса дороги, м		
	1	2	3
Резервно-технологическая полоса	30	12	–
Защитная полоса	250/150	150/90	60/30
Зона влияния	3000/1500	2000/1000	600

*Примечание.* В числителе приведены данные для условий свободного распространения воздействий, в знаменателе – при наличии препятствий в виде возвышений рельефа, застройки, леса по ширине не менее половины полосы. В лесах вдоль автомобильных дорог федерального, республиканского и областного значения установлены защитные полосы шириной от границы полосы отвода 250 м в каждую сторону с отнесением их к лесам первой группы.

Несмотря на существенные различия между основными видами транспортных геосистем, им свойственны некоторые общие черты:

- трансрегиональный характер (охватывают несколько физико-географических провинций, зон, стран);
- большая линейная протяженность при малых поперечных размерах (первые десятки метров);
- *барьерный эффект*: возникновение преград для природных миграционных потоков (речная и эрозионная сеть, пути миграции животных, грунтовый сток);
- наличие разнообразных *искусственных сооружений* (насыпей, траншей, выемок, тоннелей, мостов и др.) и большой объем перемещенных горных пород в ходе земляных работ;
- формирование *стержневых (потоковых) геосистем* со свойственными им вещественно-энергетическими полями (геофизическими, геохимическими и др.). Их описание см. в разделе II.3.

Строительство транспортных геосистем – основных элементов инфраструктуры регионов – имеет ряд *социально-демографических последствий*. Вдоль трасс линейных сооружений, служащих «осями притяжения», быстро растут населенные пункты и промышленные объекты, возникают новые рабочие места, происходит миграция населения. Эта тенденция существует с давних времен. Жива она и по сей день. Так, полоса наибольшей плотности населения в Западной и Восточной Сибири вытянута вдоль Транссибирской железной дороги. В отличие от ряда старинных сибирских городов – Томска (год образования 1604), Красноярска (1628), Иркутска (1661), Барнаула (1771), город Новосибирск (бывший Новониколаевск) был заложен лишь в 1903 г. благодаря Транссибу, на пересечении дорогой р. Обь. Во времена Столыпинской реформы освоение новых земель в Сибири и на Дальнем Востоке шло, главным образом, вдоль линии Транссиба.

### II.2.3. Концептуальная модель транспортной геосистемы

Анализ общих черт структуры и функционирования транспортных геосистем позволяет построить их концептуальную модель (рис. 25). Предложенная модель представляет транспорт-

ную геосистему не только в геотехническом, но и в геоэкологическом плане. Иными словами, модель носит геоэкологический характер, ее системообразующим стержнем (ядром) выступает собственно транспортный комплекс, включающий транспортные пути, транспортные средства (подвижной состав), транспортируемые грузы и пассажиры.

Особую роль в транспортных геосистемах играет природная среда. Будучи инородным образованием, внедренным в ландшафт, транспортная геосистема, как правило, испытывает возмущающие, порой разрушительные воздействия природной среды. С другой стороны, сами линейные сооружения наносят немалый вред естественному ландшафту. Поэтому обязательными структурными элементами транспортных геосистем становятся:

*инженерно-технический комплекс*, направленный на защиту транспортных путей, транспортных средств, грузов и пассажиров от неблагоприятных воздействий природной стихии;

*природоохранный и мелиоративный комплекс*, предохраняющий природную среду от деградации.

Транспортная геосистема работает в условиях постоянного антропогенного **управления**, неотъемлемым элементом которого является **мони-**

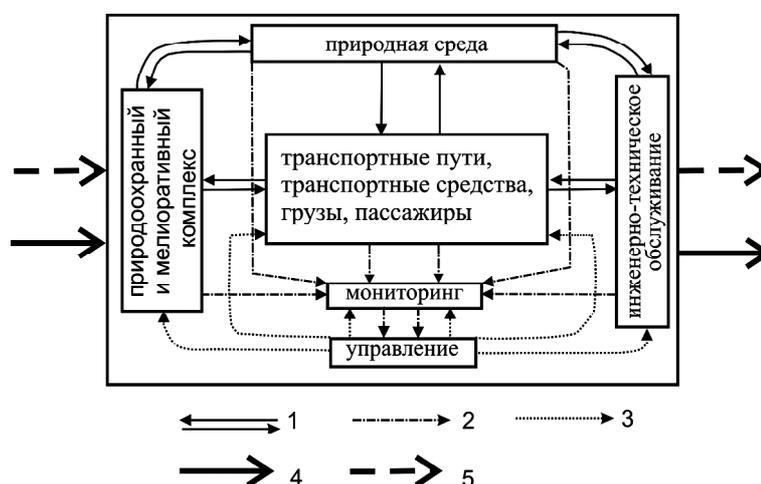


Рис. 25. Концептуальная модель линейной транспортной геотехнической системы. Внутрисистемные связи: 1 – вещественно-энергетические; 2 – информационные; 3 – управления. Внешние связи: 4 – ландшафтно-экологические; 5 – социально-экономические

торинг всех структурных составляющих системы. Наряду с регуляцией транспортных функций в ведении управления находятся инженерно-техническое обслуживание транспортных путей и транспортных средств, а также природоохранные функции.

Как уже отмечалось, стержнем транспортной геосистемы служит активный вещественно-энергетический поток, а зонами его влияния – ландшафтно-географические поля, формирующиеся в окружающем ландшафтном пространстве. По характеру вещественно-энергетического обмена в пределах зоны влияния транспортных геосистем различаются ландшафтно-геохимические и геофизические поля, а по направлению движения вещества – *рассеивающие (диссипативные)* и *стягивающие (аттрактивные)* поля [42].

**Ландшафтно-геохимические поля** характерны для всех типов транспортных геосистем, за исключением ЛЭП. Действие ландшафтно-геохимических полей принципиально различается в зависимости от типа миграции загрязняющих веществ – воздушной или водной. При *воздушной миграции* загрязняющих веществ формируются поля рассеивания (диссипативные), подчиняющиеся *правилу убывания (плоты за расстояние)*: по мере удаления от линейного сооружения концентрации загрязняющих веществ снижаются и постепенно приближаются к общему природному фону. Форма и размеры ореолов диссипативных полей определяются *правилом вектора*: потоки загрязняющих веществ вытянуты в направлении господствующих ветров. Кроме розы ветров, равномерность рассеивания загрязняющих веществ (поллютантов) могут нарушить и другие метеорологические явления. Так, при ударе молнии электризация нижних слоев воздуха приводит к активному выпадению загрязняющих веществ на поверхность почвенно-растительного покрова.

*Водная и почвенно-грунтовая миграция* загрязняющих веществ происходит локально, в пределах ландшафтно-геохимических катен. Миграционные потоки направлены по уклону поверхности и приурочены, как правило, к овражно-балочной и долинной эрозионной сети. Аккумуляция загрязняющих веществ происходит в нижних звеньях ландшафтных катен – в трансаккумулятивных и аккумулятивных геосистемах (вблизи местного базиса эрозии). Если же загрязнена притрассовая полоса, находящаяся выше трассы по рельефу, то загрязнение концентрируется у самой трассы, либо распространяется вниз по уклону поверхности и накапливается в понижениях рельефа.

**Геофизические поля** также можно разделить на группы:

- шумовые (акустические),
- электромагнитные,
- тепловые,
- гравитационные.

По ареалам и характеру распространения они похожи на описанные ранее ландшафтно-геохимические поля.

*Шумовые поля* характерны для автомобильных и железных дорог, а *электромагнитные и тепловые поля* – для электрифицированных железных дорог, трубопроводов и ЛЭП. Это рассеивающие поля, они действуют континуально по всей длине трассы, сила их быстро падает по мере удаления от линейного сооружения.

*Гравитационные поля* и обусловленные ими проявления экзогенных процессов (эрозионных, оползневых, обвально-осыпных) характерны для всех типов транспортных геосистем, но действуют локально (дискретно) – на возвышенных расчлененных участках с большим объемом земляных работ и удаленным почвенно-растительным покровом.

Вследствие барьерного эффекта транспортные объекты, связывая одни геосистемы, искусственно разрывают другие, что особенно губительно сказывается на латеральных внутриландшафтных и межландшафтных связях. Больше всего от этого страдает биотический континуум ландшафтной оболочки (см. раздел II.2.2).

### II.3. Ландшафтно-экологические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных геосистем

Транспортные геосистемы проходят три основных этапа: *проектирование, строительство и эксплуатацию* (рис. 26). Для магистральных трубопроводов, срок эксплуатации которых ограничен несколькими десятками лет, добавляется также стадия *ликвидации*.

Для устойчивого функционирования целостной и своего рода «живой» геотехнической системы, объединенной тесным энергетическим взаимодействием между ее элементами, необходима комплексная оценка последствий техногенного воздействия на природную среду, контроль за состоянием всех элементов системы (как природных, так и техногенных). Комплексные ландшафтные исследования позволяют решить эту проблему. Задачи ландшафтных исследований, виды, объемы, состав работ, а также методика их проведения специфичны на каждом этапе (см. рис. 26), однако красной нитью в течение всего периода существования линейного сооружения проходят ландшафтно-экологическое картографирование и мониторинг.

<b>Проектирование</b>	<b>Строительство</b>	<b>Эксплуатация</b>
<b>Выбор оптимальной трассы</b>	<b>Мониторинг</b> изменений компонентов природной среды в ходе строительства и прогноз их развития	<b>Мониторинг</b> изменений компонентов транспортных геосистем при эксплуатации.
Инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания	Выявление зон экологического риска, обоснование <b>наблюдательной сети</b> мониторинга на этапе эксплуатации	Диагностика и получение оперативной информации о состоянии природной и техногенной составляющих транспортной геосистемы. <b>Контроль и управление</b>
Оценка <b>антропогенной нарушенности</b> ландшафтов до начала строительства	Инвентаризация форм проявления <b>опасных экзогенных процессов</b> , возникших или активизировавшихся в результате строительства	
Определение и оценка техногенного воздействия на природную среду ( <b>ОВОС</b> )		
Оценка активности <b>опасных экзогенных (и эндогенных) процессов</b> , выявление зональных и региональных особенностей их проявления	Ступение наблюдательной сети и увеличение периодичности наблюдений в зонах экологического риска	Постепенное сокращение наблюдательной сети и снижение периодичности наблюдений
Обоснование <b>наблюдательной сети</b> и разработка Программы экологического мониторинга	Картографирование зон (участков) экологического риска в масштабе 1: 1 000; 1: 5 000	
Оценочное и прогнозное <b>картографирование</b> полосы трассы		
Разработка природоохранных мероприятий, обеспечивающих экологическую стабильность природных экосистем полосы освоения и надежность функционирования транспортной геосистемы		

**Рис. 26.** Ландшафтные исследования при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных геосистем

### II.3.1. Задачи предпроектного и проектного этапов

**Выбор оптимальной трассы.** На начальном этапе работ (стадия обоснования инвестиций) самая главная задача – выбор будущей трассы линейного сооружения.

Для выбора трассы специалисты тщательно изучают физико-географические условия района будущего строительства. Используют материалы дистанционного зондирования Земли (космические и аэрофотоснимки) и обзорные мелко-среднемасштабные карты (ландшафтные, физико-географического районирования, почвенные, растительности, геологические и инженерно-геологические). Для технико-экономического обоснования (ТЭО) будущего строительства по выбранным вариантам трасс проводится оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий и собираются сведения о наличии дорожно-строительных материалов и возможных источниках водоснабжения. Большие и средние мостовые переходы и места индивидуального проектирования (участки развития опасных гео-

логических явлений, возможного расположения крупных инженерных объектов и др.) требуют наиболее детального обследования [35, 54].

По каждому варианту трассы определяют объемы работ, строительную стоимость и эксплуатационные расходы, оценивают сложность (контрастность и неоднородность) территории для строительства. Сравнив показатели всех вариантов, выбирают оптимальный. Многообразие природных условий представляют в виде цифровой модели местности [51].

Ширина полосы картографирования на этом этапе зависит от расстояния между вариантами трассы и, как правило, достигает 30–50 км (иногда более). В каждом случае она должна быть оптимальной, позволяющей выявлять весь комплекс природных условий. Для трассы магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан», которая была перенесена в обход бассейна оз. Байкал, пришлось создавать несколько несмыкающихся полос карт, так как варианты трассы на отдельных участках находились на расстоянии нескольких сотен километров друг от друга.

Одним из принципов выбора оптимального варианта трассы является **принцип «минимизации конфликтов»**. Он заключается в первоначальном выявлении коридора, в котором трасса находилась бы в наименьшем конфликте с окружающей средой. При поиске такого коридора принимаются во внимание различные компоненты окружающей среды, для каждого из которых составляется карта, отражающая относительную степень важности того или иного объекта или явления, создаются оценочные шкалы. В результате наложения друг на друга карт различных компонентов и суммирования оценочных критериев на итоговой карте четко вырисовываются участки территории, требующие безусловного сохранения, и менее ценные коридоры местности, пригодные для проведения дорог. Такая «карта конфликтов», создаваемая на территорию строительства, позволяет предусмотреть несколько вариантов трасс, оптимальных с ландшафтно-экологической точки зрения. В последнее время карты создаются в цифровом виде с применением геоинформационных технологий.

Более объективной оценке вариантов проектных решений с учетом требований охраны окружающей среды помогают **количественные показатели**. Например, при проектировании автомагистрали в ФРГ при сравнении двух возможных вариантов трассы использовалась система критериев количественной оценки, содержащая 41 показатель и учитывающая не только различные нарушения в ландшафтах и ресурсах, но также возникающие неудобства для жизни и деятельности людей [58].

**Принцип устойчивости (или экологической уязвимости) природных геосистем к воздействию** близок к предыдущему. Однако он требует создания комплексной карты устойчивости геосистем к возникающим в ходе строительства и эксплуатации дороги внешним воздействиям. Чаще всего такие карты создаются на основе ландшафтных карт и схем физико-географического районирования. Все природные геосистемы подразделяются на неустойчивые (уязвимые) и устойчивые, то есть наиболее благоприятные для трассирования с природоохранной точки зрения.

*Экологическая уязвимость* определяется как свойство ландшафта утрачивать экологические функции, т. е. положительную роль в жизнеобеспечении организмов в определенном диапазоне негативных воздействий. Напротив, *устойчивость* (понятие, обратное уязвимости) характеризует защищенность ландшафта, его способность сопротивляться опасному техногенному воздействию.

Подразделение природных геосистем на устойчивые и неустойчивые основано на их реак-

ции на техногенное воздействие. Устойчивые участки после окончания воздействия постепенно возвращаются в стабильное состояние, близкое к исходному, пройдя серию стадий восстановления (восстановительные сукцессии). В неустойчивых участках техногенное воздействие приводит к потере стабильности геосистем за счет значительных изменений основных природных сред (растительности, поверхностных и подземных вод, почв, рельефа, горных пород, микроклимата) или активизации экзогенных процессов. Такие участки становятся экологически уязвимыми при техногенном воздействии.

Уязвимость ландшафтов можно оценить в *геохимическом, динамическом и ресурсном* аспектах. При оценке уязвимости ландшафта в геохимическом аспекте имеется в виду степень незащищенности различных компонентов ландшафта от проникновения и накопления в них загрязняющих техногенных веществ. Динамический (геофизический) аспект предполагает возможность коренного изменения рельефа, необратимого нарушения сплошности геологической среды, возникновения и активизации рельефо- и почвообразующих процессов и явлений. Ресурсный аспект уязвимости – это уменьшение в результате намечаемой деятельности природно-ресурсного потенциала ландшафта.

После выбора трассы проводят *инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания*.

Основными видами *инженерно-геологических изысканий* являются съемка полосы вдоль трассы шириной 200–300 м по обе стороны в масштабах 1 : 5000 (для автомобильных дорог) и 1 : 10 000 (для железных дорог), бурение скважин и разведочные работы. Кроме того, выполняется попутное описание природных условий по трассе [54]. В ходе инженерно-геологических изысканий (СП 11-105-1997) проводится детальное исследование геологического строения оси трассы и притрассовой полосы. В результате опробования скважин и других горных выработок определяются категория грунтов (верхних слоев горных пород, вовлеченных в линейное строительство), их физические и химические свойства, гидрогеологические условия (состав, характер залегания и уровень грунтовых вод) и экзогенные процессы (характер проявления, пораженность площади и т. д.) [35]. Помимо общих инженерно-геологических изысканий проводятся специальные виды изысканий: для энергоснабжения, водоснабжения и канализации, обследования дорожной сети и выявления местных ресурсов строительных материалов.

Целью *инженерно-экологических изысканий* является оценка современного состояния компо-

нентов природных геосистем, их устойчивости к техногенному воздействию и способности к восстановлению [17].

В результате инженерных изысканий и закрепления трассы на местности должны быть получены:

- план трассы масштаба 1 : 25 000 с шириной полосы съёмки 2–2,5 км; на план должны быть нанесены основные элементы инфраструктуры (дороги, населенные пункты);
- продольный профиль трассы и инженерно-геологический разрез; из-за несоответствия длины трассы и амплитуды абсолютных отметок горизонтальный масштаб составляет 1 : 10 000, а вертикальный – от 1 : 200 до 1 : 1000 (для геологического строения – 1 : 100);
- ведомость угодий и землепользователей (контуры угодий наносятся на план трассы);
- каталоги материалов изысканий (ведомость реперов, разведочных выработок и др.).

Главными ландшафтно-экологическими принципами проектирования транспортных геосистем (в дополнение к применявшимся при выборе трассы) являются **принципы повсеместности и превентивности природоохранных мероприятий** («легче предупредить, чем лечить»), **территориальной дифференцированности, оптимизации и комплексности** [17].

Суть **принципа повсеместности и превентивности природоохранных мероприятий** заключается в том, что меры по предупреждению негативных последствий воздействия должны распространяться на все природные объекты в полосе трассы. Это обходится дешевле, чем ликвидация последствий экологических аварий и катастроф.

В зависимости от видов нарушений и важности объекта степень защиты природной среды может быть разной. Чаще всего применяют следующие виды защиты:

1. Максимальная защита, т. е. сохранение важных в природоохранном отношении объектов в нетронутом виде путем трассирования дороги в обход.
2. Рекультивация ландшафтов, нарушенных при строительстве.
3. Благоустройство придорожной полосы, т. е. озеленение и другие мероприятия, направленные на поддержание естественного функционирования геосистем, затронутых строительством дороги (комплексно-устроительный подход).

Трансрегиональный характер линейных объектов обуславливает необходимость применения **принципа территориальной дифференцированности**. Он заключается в совместном использовании регионального и ландшафтного подходов [17]. Учет местных природных особенностей ландшаф-

тов и их морфологических частей обязательно должен проводиться на окружающем их фоне, например, в рамках физико-географических провинций (или административных районов и областей). Принцип территориальной дифференцированности получил довольно широкое распространение в проектировании и строительстве автомобильных дорог. На обширной территории России от арктических пустынь и тундр до пустынь умеренного пояса и субтропиков в широких пределах изменяются климатические показатели. Выделено пять дорожно-климатических зон (СНиП 23-01-99), учет которых важен для строительства дорог (количество выпадающих осадков и интенсивность их выпадения, амплитуда колебания температуры воздуха и грунтов, объем испаряющейся с поверхности суши воды, глубина промерзания почв и т. д.).

**Принцип оптимизации** заключается в рациональном использовании природных ресурсов и оптимальном функционировании транспортной геосистемы при минимальных негативных воздействиях ее на природу. Это означает минимизацию эффекта дороги как *экологического барьера* и минимизацию интенсивности и пространственного распространения создаваемых ею *вещественно-энергетических полей*.

Оптимальное сочетание транспортных геосистем с окружающей средой зависит и от того, насколько удастся противодействовать развитию нежелательных экзогенных процессов, являющихся последствиями проявления геофизических полей и угрожающих устойчивости самих инженерных сооружений. Здесь важно соблюдение следующих требований:

- сохранения динамического равновесия элементов рельефа и охраны уникальных геоморфологических объектов в зоне строительства;
- предотвращения случаев нарушения устойчивости элементов рельефа, не вовлеченных в строительство;
- оптимальной организации и последовательности ведения земляных работ с учетом потенциальной активизации экзогенных процессов.

Необходимость соблюдения **принципа комплексности** обусловлена тем, что природные ландшафты – это сложные пространственно-временные открытые геосистемы, обладающие внутренней взаимной связанностью и взаимодействием компонентов и структурных частей (подсистем). Одновременно они связаны с соседними геосистемами и геосистемами более крупного таксономического ранга.

В соответствии с требованиями СНиП 11-01-95 в составе проектной документации должен разрабатываться раздел «Оценка воздействий на окружающую среду и охрана окружающей среды»,

содержащий краткие сведения о проектируемом объекте, а также материалы по оценке современного состояния, охране и рациональному использованию всех природных сред (земельных ресурсов, почв, горных пород, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, растительности и животного мира, ландшафтов). При разработке раздела проводится типизация воздействий транспортных геосистем на окружающую природную среду и оценка изменения природной среды в результате планируемого воздействия. На основе этих данных разрабатывается Программа мониторинга окружающей среды на стадии строительства транспортной геосистемы.

**Оценка современного состояния природной среды** проводится по основным компонентам природных геосистем.

Для оценки морфолитогенной основы ландшафтов полосы строительства приводятся данные о составе горных пород по оси трассы, условиях их залегания, физико-механических свойствах, коррозийной активности, классе по трудности разработки и др. Определяется уровень грунтовых вод по трассе и его изменение в течение года [51].

Важную роль для строительства линейных сооружений играет такой элемент морфолитогенной основы ландшафтов, как *рельеф* – густота и степень его расчлененности, мезо- и микронеровности [52]. Рельеф территории определяет типы трассировочного хода. Различают *долинный*, *водораздельный*, *косогорный* и *поперечно-водораздельный* ходы.

Если конечные пункты лежат в одной и той же речной долине, то трасса будет иметь *долинный* ход. Долинный ход трассы дороги почти всегда прокладывается по низким надпойменным террасам, менее расчлененным, чем террасы высокие. Однако трассы дорог нередко пересекают глубокие овраги и балки, многочисленные ручьи и речки, оползневые и обвальные склоны, конусы селевых выносов, болота, затопляемые и подмываемые участки. Удобны для трассирования долины несильно меандрирующих рек. На речных террасах часто встречаются месторождения пригодных для балласта минеральных строительных материалов: песка, гравия, галечника и др. Неблагоприятны ни в строительном, ни в эксплуатационном отношении глубокие долины-ущелья, где обычно проектируют серпантинные с минимальными радиусами кривизны, относящиеся к наиболее сложным способам трассирования [23].

На равнинных территориях чаще применяется *водораздельный тип* трассировочного хода. В условиях водораздельного хода дорога обычно располагается дальше от источников водоснабжения и месторождений естественных балластных материалов. Здесь часто обнаруживается дефицит необходимых рыхлых обломочных или гли-

нистых пород для возведения насыпей. Однако инженерно-геоморфологические условия достаточно благоприятны, особенно на широких слаборасчлененных плакорах, где трассу дороги можно вести длинными ходами.

Если конечные пункты дороги располагаются частично в долине, а частично на водораздельной равнине, то трасса приобретает *косогорный (смешанный долинно-водораздельный)* ход. Инженерно-геологические условия проложения трассы при таких обстоятельствах всегда более сложные. Возникает необходимость преодолевать подъемы, спуски, речные долины и реки, иногда высокие холмистые водоразделы и т. д. [23, 35].

При больших уклонах и расчлененности необходимы выравнивание рельефа, проведение большого объема земляных работ. В ряде случаев автотрасса вынуждена огибать неблагоприятные для строительства природные объекты: болота, озера, крутые склоны, активные овраги.

*Поперечно-водораздельный тип* трассировочного хода чаще всего применяется в горах. Условия проложения автотрасс в горах будут рассмотрены ниже (см. раздел II.4).

Типы трассировочного хода едины как для автомобильных, так и для железных дорог. Однако требования к продольным уклонам, радиусам кривизны в плане и другим характеристикам для них различаются.

*Предельные продольные уклоны автодорог* зависят от мощности двигателя, веса машины с грузом, её скорости и ряда других параметров.

Примерные показатели уклонов и возможные скорости движения легковых автомобилей следующие:

- на горизонтальной поверхности дороги скорость движения может достигать 140–150 км/час;
- при уклонах в 7%\* (или 4°) водитель переходит на третью передачу, а скорость падает почти в три раза;
- при уклонах 17–18% (более 10°) происходит переход на вторую передачу, а скорость падает до 10–20 км/час;
- при уклонах 35% (около 20°) включается первая передача, а скорость не превышает 5–7 км/час.

Показатели уклонов специально обозначаются на придорожных знаках.

\*Уклоны в автодорожном строительстве определяются или в процентах (%), или в в промилле (‰).

Уклоны в ‰ – понижение или повышение поверхности в метрах на 100 м трассы. Например, 1,2‰ – это уклон, равный 1,2 м на 100 м; 0,1‰ – 10 см на 100 м.

Уклоны в ‰ – понижение или повышение поверхности на 1000 м трассы. Например, 1‰ – это 1 м на 1000 м; 12‰ – это 12 м на 1000 м.

Таким образом, проложение автодорог целесообразно на поверхностях с уклонами не более 2–3°, а еще лучше – по горизонтальной поверхности. Такими малыми уклонами обладают низ-

Из-за значительной длины железнодорожного состава важным фактором становятся повороты железнодорожного полотна, которые также определяются рельефом местности (рис. 27).

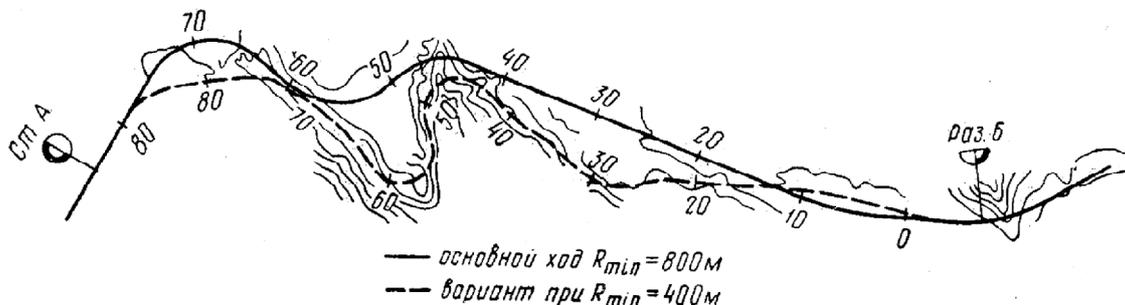


Рис. 27. Трассирование железной дороги в пересеченной местности («вписывание в рельеф») [21, с. 32]

менные равнины (например, Прикаспийская), надпойменные террасы речных долин и иногда – нерасчлененные плакоры. В горах, как правило, склоны круче 20°.

Радиус закругления дороги в горизонтальной плоскости находится в зависимости от тех же факторов, что и уклоны продольного профиля. Для дорог различного класса радиусы закруглений различны и определяются скоростью движения автомобиля на поворотах. На крутых склонах (особенно в горах) приходится прокладывать дорогу в виде серпантина, что удлинняет трассу во много раз и осложняет ее эксплуатацию.

Для современных железных дорог существуют еще более жесткие ограничения по продольным уклонам поверхности. Уклон пути обозначается числом тысячных со знаком ‰ (в промилле). Каждая тысячная подъема вызывает дополнительное сопротивление движению поезда, равное 1 кг на 1 т веса поезда. Поэтому при постройке железных дорог стараются использовать возможно меньшие уклоны. Различают уклоны: руководящий, вредный, безвредный и др.

*Руководящим уклоном* называется наибольший затяжной подъем на участке, по величине которого устанавливается весовая норма поезда при одиночной тяге и расчетно-минимальной скорости движения. Правильный выбор руководящего уклона является одним из основных вопросов проектирования железной дороги. На железных дорогах I и II категорий (см. табл. 11) величина руководящего уклона допускается не больше 15‰, на дорогах III категории – не больше 20‰, а на дорогах IV категории – до 30‰.

*Вредными* называются уклоны, на которых приходится тормозить поезд. При этом интенсивно изнашиваются рельсы, бандажи и тормозные колодки. Уклоны, на которых скорость поезда не превышает наибольшую допускаемую и торможение не применяется, называются *безвредными*.

Для лучшего вписывания железнодорожной линии в рельеф сильно пересеченной местности и уменьшения объема земляных работ в ряде случаев приходится применять кривые малых радиусов. Это приводит к увеличению расходов по содержанию пути и ремонту подвижного состава, уменьшению коэффициента сцепления колес с рельсами, увеличению общей длины линии и сопротивления движению поезда. Одним из важнейших недостатков крутых кривых является ограничение допускаемой скорости движения поездов  $V$  по этим кривым в зависимости от величины их радиуса  $R$ :

$$V \leq 4,6 \sqrt{R} \text{ км/ч.}$$

Таким образом, чем меньше  $R$ , тем меньше  $V$  (скорость).

Строительными нормами и правилами (СНиП) величины радиусов кривых в зависимости от категории дороги, размеров движения и условий трассирования допускаются в пределах от 4000 до 150 м. Для ширококолейных дорог радиус кривизны в горизонтальной плоскости должен быть не менее 600 м [21].

**Оценка состояния воздушной среды** перед началом строительства проводится вблизи населенных пунктов и особо охраняемых природных территорий (на границе защитных зеленых зон населенных пунктов, буферных зон заповедников и др.). Определение химического состава атмосферного воздуха включает в себя наблюдения за содержанием токсичных веществ, выбрасываемых автомобильным, железнодорожным транспортом и строительной техникой. Это прежде всего окислы углерода, азота и серы ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ), сажа, формальдегид, бенз(а)пирен, соединения свинца.

По всем **водным объектам**, пересекаемым проектируемой трассой (включая малые пересыхающие ручьи), должны быть собраны гидроло-

гические и гидрометрические данные (гидрограф с меженным и паводковым уровнями, данные о скорости течения по сезонам года, ледовый режим, сроки ледохода и ледостава (шугохода), химический состав воды). Для проектирования мостовых переходов на крупных и средних реках организуются специальные гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания.

В пределах земельного отвода и в зоне влияния транспортной геосистемы проводится **оценка фонового состояния почвенного покрова** (плодородия, деградации и загрязнения почв до начала строительства), фиксация сельскохозяйственных земель и пастбищ.

Наблюдения за состоянием **биоты** включают в себя выявление популяций и оценку обилия редких и охраняемых видов растений и животных, внесенных в Красную книгу России и регионов строительства. На реках, имеющих рыбохозяйственное значение, и особенно, в местах нерестилищ ценных промысловых пород рыб проводится контроль рыбных запасов и состояния молоди.

При выборе трассы линейного сооружения обязательно принимают во внимание **особо охраняемые природные территории (ООПТ)**. В соответствии с требованиями Российского законодательства (Федеральные законы «Об охране окружающей среды», «Об особо охраняемых природных территориях» и др.) ООПТ не должны попадать в зону влияния трассы. Если разрешение на прокладку трассы все же получено, то участки, находящиеся вблизи заповедников, заказников, водоохранных зон и других ООПТ, становятся зоной экологического риска. На таких участках обязательно планируют точки мониторинга наиболее уязвимых компонентов ландшафта, а все проектные решения направлены на минимизацию техногенного воздействия на природную среду (даже при значительном удорожании строительства).

Заключительным этапом инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий является исследование ландшафтной структуры в полосе проектируемой трассы и **оценка современного состояния ландшафтов** и локальных природно-территориальных комплексов (ПТК), образующих их морфологическую структуру. По ландшафтной карте определяется протяженность локальных ПТК и ландшафтов по оси трассы, доля их площади в полосе картографирования, степень заболоченности и заозеренности. Обязательной задачей ландшафтных исследований является **оценка антропогенной нарушенности ПТК в коридоре трассы** до начала строительства, что в значительной степени влияет на выбор технических решений, способов прокладки и методов рекультивации.

В качестве примера можно привести ландшафтно-экологические исследования при проектировании Северо-Европейского газопровода – первого этапа проекта Северный поток [26].

В пределах зоны влияния газопровода выделено пять категорий антропогенной нарушенности ПТК – от очень слабой (условно-коренные ПТК с растительностью, близкой к зональной) до очень сильной (техногенные комплексы с постоянными поступлениями вещества и энергии со стороны человека).

Без подобного рода исследований сложно определить, связаны ли нарушения природной среды с проведением строительных работ или они существовали до начала строительства. А это, в свою очередь, не позволит выявить наиболее проблемные участки, где необходимы особые методы рекультивации или создание инженерной защиты транспортной геосистемы.

Предстроительная (фоновая) оценка степени антропогенного воздействия на природные геосистемы необходима и в отдаленных малонаселенных районах с относительно «нетронутой» природой. Например, в таежных районах Западной и Восточной Сибири, где сейчас активно ведется дорожное и трубопроводное строительство. Опыт такого строительства показал, что и здесь нередко можно встретить природные геосистемы, испытавшие техногенную или антропогенную трансформацию. Прежде всего, это относится к пожарам, которые могут быть вызваны деятельностью человека (производственной или бытовой). Современные материалы дистанционного зондирования (космические снимки) позволяют четко различить не только свежие, но и старые гари. Их необходимо показать на крупномасштабных картах растительности или природных геосистем притрассовой полосы. Такие карты вошли в состав проектной документации нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан».

Нарушения природных ландшафтов могут быть связаны и с проявлением ландшафтно-геохимических полей. Повышенный фон тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в природных водах (поверхностных и подземных) наблюдается в районах горнодобывающей промышленности (добыча золота, редких металлов). При пересечении латеральных миграционных потоков (переходе через малые реки, ручьи и временные водотоки) необходимо одновременно отбирать пробы выше и ниже по течению (потоку) от места будущего перехода (СП 11-102-1997). Химическое загрязнение (в том числе и радиоактивное) биоты и природных вод иногда бывает следствием атмосферных выпадений при региональном воздушном переносе загрязняющих веществ. Фоновое предстроительное опробование природных геосистем

и их основных компонентов (почв, растительности и природных вод) позволит отделить региональный и локальный геохимический фон от загрязнения, связанного со строительством линейных сооружений.

Следующей стадией разработки природоохранного раздела проектной документации является **типизация воздействий транспортных геосистем на окружающую природную среду**.

Среди разнообразных техногенных нагрузок, сконцентрированных в узкой притрассовой полосе (полосе отвода земель), распространенными (типичными) являются [1]:

- расчистка трасс и строительных площадок;
- вырубка лесов;
- работа и проезды строительной техники и транспорта (механические нарушения рельефа и горных пород, загрязнение воздуха);
- снятие (либо уплотнение) почвенно-растительного покрова;
- снятие (либо уплотнение и нарушение мощности) снежного покрова;
- загрязнение почв и растительности строительными растворами и горюче-смазочными материалами (а при прокладке трубопроводов – отходами сварочных работ);
- планировка рельефа и земляные работы (строительство насыпей, выемок, мостов и других искусственных сооружений).

В ответ на это воздействие возникают или резко активизируются природные и природно-антропогенные процессы: эрозия, эоловые, склоновые и криогенные процессы, заболачивание, подтопление. Нередко строительство линейных сооружений сопровождается сильными пожарами. Процессы, вызванные строительством, выходят за пределы узкой притрассовой полосы, расширяя ареалы техногенно нарушенных ландшафтов. Для транспортных геосистем отношение площади самого сооружения (землеотвода) к площади зоны его техногенного воздействия обычно составляет 1 : 3, а в районах криолитозоны может достигать 1 : 5 и более [9, 15]. Эта величина позволяет считать линейные сооружения импактными стержневыми геосистемами большой протяженности.

С. Е. Гречищев и Н. Г. Москаленко [1, 9] разработали комплексную схему техногенных воздействий для криолитозоны, выделяя три основных типа нарушений (по длительности и силе воздействия на природные среды):

- *импульсные*, когда растительный покров и верхний органогенный горизонт почв уничтожены в ходе строительных работ, но затем происходит их беспрепятственное восстановление;

- *с постоянно разрушенной биотой*, когда самовосстановление почв и растительности по окончании строительства не происходит;
- *с постоянно разрушенной биотой и снежным покровом*, когда в дополнение к предыдущему зимой постоянно производится удаление снежного покрова или он сдувается ветром; в криолитозоне это может привести к понижению температуры мерзлых пород и активизации криогенных процессов (пучения, растрескивания и др.).

Нарушения импульсного типа занимают до 70–90% всей нарушенной территории и характерны для временных объектов строительства и временных проездов в полосе трассы, а также гарей. Второй и третий типы нарушений свойственны полосе постоянного землеотвода и основным объектам строительства. Участки с постоянно разрушенной биотой – это поселки, карьеры, линии ЛЭП и трубопроводы. Удаление снежного покрова происходит в пределах взлетных полос аэропортов, насыпей и земляного полотна авто- и железных дорог.

После анализа современного состояния природной среды в полосе проектируемой трассы, а также выбора и типизации характерных воздействий проводится прогнозная оценка реакции природной среды на планируемые воздействия. Выявляются наиболее и наименее устойчивые к воздействиям природные геосистемы. Последние относятся к зонам экологического риска, или (по А. Л. Ревзону [48]) участкам потенциального возникновения критических (аварийных) ситуаций. Для предотвращения аварий и экологических катастроф разрабатывается **Программа мониторинга окружающей среды на этапе строительства транспортной геосистемы**, представляющая завершающий вид работ проектного этапа.

Экологический мониторинг является главным инструментом получения информации о состоянии линейного сооружения и окружающих его ландшафтов, отслеживания динамики параметров транспортной геосистемы в ходе ее развития (Федеральный закон «Об охране окружающей среды»). Разработка принципов и Программы экологического мониторинга на этапе строительства – это базовая задача предпроектного и проектного этапов.

На этапе проектирования создается геоинформационная система (ГИС) – основа мониторинга: вся фактическая информация материалов изысканий в форме таблиц, рисунков и текстовых файлов (колонки скважин, температурные замеры, точки отбора проб воздуха, воды, почв, горных пород, маршрутные описания растительности и животного мира) привязывается к цифровой кар-

тографической основе. Дополнительными слоями включаются в ГИС обзорные (мелко- и среднемасштабные) и детальные картографические материалы: схемы физико-географического районирования, покомпонентные и комплексные ландшафтные карты на район проектируемой трассы. Иногда эту стадию работ называют *фоновым предстроительным мониторингом* [19, 29].

Главные принципы фонового мониторинга – максимальный охват природного разнообразия, комплексность, изучение ландшафтной структуры и ландшафтного рисунка. Для транспортных геосистем, протяженность которых составляет сотни и даже тысячи километров, это возможно только с использованием методов дистанционного зондирования полосы будущего строительства (аэро- и космосъемок, геолокации, аэровизуальных обследований и др.) [8, 11, 19, 48, 49, 56]. Составляется кадастр форм проявления природных процессов с поикетной (километровой) привязкой к трассе. Выявляются категории опасности природных процессов (Приложение Б к СНиП 22-01-95), а также зональные особенности их проявления.

Фоновый (предстроительный) мониторинг позволяет обоснованно выделить зоны экологического риска – наиболее неустойчивые, уязвимые к техногенному воздействию участки, – а также разработать программу наблюдений и обосновать размещение по трассе наблюдательной сети мониторинга на этапе строительства.

Все виды работ проектного этапа – выбор трассы, оценка современного состояния и антропогенной нарушенности (трансформации) природных геосистем, оценка воздействий и разработка программы мониторинга – требуют проведения картографических работ, оценочного картографирования будущей трассы.

**Оценочное картографирование.** Изучение транспортных геосистем невозможно без их картографирования. Карты играют важную роль уже на начальной стадии проектирования, при выборе трассы будущего объекта. Помимо общенаучных ландшафтных, инженерно-геологических и ряда других природных карт разрабатываются и применяются специальные карты оценки природных условий для строительства линейных объектов.

В 1960–1970 гг., когда широкий размах приобрело трубопроводное строительство и связанное с ним дорожное строительство, появились мелкомасштабные оценочные карты для указанных целей.

Одной из таких карт является «Карта оценки природных условий Тюменской области для дорожного строительства», вошедшая в состав Атласа Тюменской области [2]. В легенде к карте, разработанной Т. В. Звонковой и Н. В. Фи-

ланчук в 1972 г. [24], выделены основные природные факторы, осложняющие строительство и увеличивающие километровую стоимость дорог:

- избыточная влажность пылеватых супесей и суглинков, приводящая к деформации дорожного полотна;
- высокий процент заболоченности и заозеренности (сезонность эксплуатации);
- раннее установление мощного снежного покрова, сокращающее продолжительность и объемы зимних перевозок;
- высокая льдонасыщенность многолетнемерзлых пород (ММП), деградация которых может привести к деформации полотна;
- обилие рек, большая ширина пойм, высота и продолжительность паводков, что требует резкого увеличения числа инженерных сооружений (дамб, мостов, эстакад) и большого объема земляных работ.

Проведена инженерно-геологическая типизация основных показателей горных пород и рельефа. По совокупности всех показателей выделены районы по степени сложности природных условий для строительства дорог: очень сложные, сложные, осложненные и относительно простые (табл. 14).

Похожие методы оценки, но уже применительно к трубопроводному строительству, разработал С. А. Сладкопеев [53]. Он попытался приблизиться к требованиям проектировщиков и строителей, выделив главные данные для проектирования: характеристики грунтов и болот; отношение «сухих» участков к болотам и озерам; мерзлота; климат. При характеристике болот использована их классификация по проходимости, разработанная в Гипроспецгазе на основе карты болот Л. В. Шумиловой (табл. 15).

Многолетнемерзлые породы типизированы по устойчивости к трубопроводному строительству. Выделены зоны:

- устойчивой мерзлоты со среднегодовой температурой менее  $-3^{\circ}\text{C}$ , мощность ММП = 250–600 м, льдистость – максимальная, *растепление* (здесь и далее – рост среднегодовой температуры ММП и увеличение глубины протаивания) – минимальное;
- относительно неустойчивой мерзлоты со среднегодовой температурой  $-1 \dots -3^{\circ}\text{C}$ , мощность ММП = 250–400 м, льдистость и растепление значительное;
- неустойчивой мерзлоты со среднегодовой температурой от 0 до  $-1^{\circ}\text{C}$ ; с двухслойным строением ММП (верхний слой 10–100 м), льдистость – минимальная, растепление – максимальное;

Таблица 14

Группы районов по сложности природных условий для дорожного строительства в Тюменской области [24]

Районы	Характеристика
Очень сложные	Заболоченность и заозеренность – до 80%, деградирующие многолетнемерзлые торфяники, относительно позднее и неглубокое промерзание болот, обилие рек и длительные паводки, большой объем земляных работ по сооружению водотоков, эстакад, дамб и насыпей
Сложные	Заболоченность и заозеренность – до 50%, ММП сильнольдистые, иногда просадочные и пучинистые, частично затопляемые поймы крупных рек, значительные уклоны и лавиноопасные участки на склонах гор, большой объем земляных работ
Осложненные	Заболоченность – до 25%, островное распространение ММП, иногда – льдистых, некоторое увеличение объемов земляных работ и длины пути за счет обхода пересеченных участков
Относительно простые	Заболоченность менее 10%, лессовидно-просадочные грунты, непродолжительные паводки на реках

Таблица 15

Классификация болот Западной Сибири по условиям проходимости (по материалам Гипроспецгаза и карте Л. В. Шумиловой [53])

Тип болот	Максимальная глубина, м	Степень сложности
1. Низинные, переходные со сплавиной и сапропелем, верховые	более 4	высшая
2. Переходные и верховые	1,54	высокая
3. Низинные	до 1,5	средняя
4. Верховые и переходные на неустойчивом мерзлом основании	до 1,5	низкая
5. То же, на устойчивом мерзлом основании	до 1 и менее	низшая

- то же, со среднегодовой температурой от 0 до  $-0,5^{\circ}\text{C}$  – на торфяниках;
- погребенной мерзлоты со среднегодовой температурой от 0 до  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

Среди климатических характеристик учитываются:

- скорость ветра (повторяемость более 15 м/сек);
- средние многолетние суточные колебания температуры воздуха весной и осенью (вызывают потери нефтепродуктов от испарения);
- число дней со среднегодовой температурой воздуха ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  (повышенная хрупкость и ломкость металла);
- абсолютный минимум и максимум температуры воздуха.

Несмотря на новизну и ряд удачных методических приемов мелкомасштабные оценочные карты слабо использовались при проектировании и строительстве транспортных геосистем. Этому препятствовал мелкий масштаб и слишком обобщенные, большей частью качественные, характеристики ведущих факторов.

Позже географы пришли к выводу, что особенности транспортных сооружений – большая протяженность (на уровне физико-географических районов, областей, стран) и малая ширина полосы отчуждения (десятки и первые сотни метров) требуют обязательного сочетания мелкомасштабного картографирования (районирования) со средне- и крупномасштабными картами-врезками для каждого типа региональных ПТК (районов, ландшафтов и т. д.). Возник термин «*этажерка масштабов*» – сочетание мелкомасштабных обзорных карт при выборе трасс будущих объектов, карт среднего масштаба (1 : 100 000 – 1 : 500 000) при проведении инженерных изысканий и крупномасштабных карт (1 : 10 000 – 1 : 25 000) на стадии проектирования и строительства. Переход от масштаба к масштабу осуществлялся на основе анализа ландшафтной структуры территории, количественные методы изучения которой разработаны В. А. Николаевым, А. С. Викторовым и др. [10, 11, 27, 28, 41].

В последнее время за рубежом и в России большое распространение получили дистанционные методы оценки состояния окружающей среды. Составление серий разномасштабных оценоч-

ных карт базируется на использовании материалов дистанционного зондирования – космических и аэрофотоснимков (многозональных, тепловых инфракрасных и др.) [8, 37, 56]. Динамические ритмы и тренды ПТК позволяет отслеживать повторная аэрокосмическая съемка и видеосъемка [19].

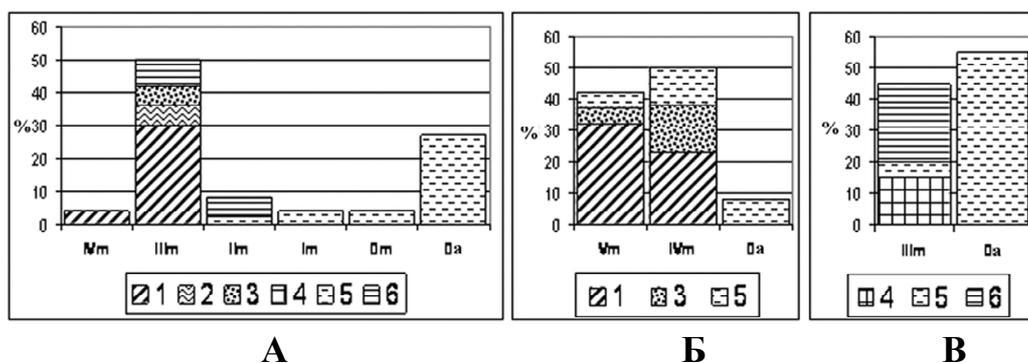
Необходимость подобного комплексирования ландшафтных исследований на разных стадиях проектирования признают не только специалисты-географы (Г. П. Миллер, В. Н. Петлин, Е. С. Мельников, А. Л. Ревзон, А. П. Камышев, Н. Н. Хренов и др.) [9, 39, 49, 56], но и проектные организации (НПЦ «Аэроизыскания», Фундаментпроект, ВНИИСТ, ВНИИГАЗ, Ленгипротранс и др.). Начало компьютерной эры и переход к цифровому картографированию на много упростил процедуру перехода от масштаба к масштабу: карты просто вписываются одна в другую с соответствующей детализацией топографической основы и содержательной нагрузки. Меняется только ширина полосы картографирования – от десятков километров на обзорных картах до 5–10 км на картах среднего масштаба и 1–2 км на детальных картах (по 0,5–1 км в обе стороны от оси трассы). В районах развития густой овражно-балочной сети ширина полосы должна превышать размеры водосборов самых крупных из распространённых эрозионных форм [60].

Развитие *методов математико-статистического анализа* комплексных ландшафтных карт позволило насытить оценочные карты количественными показателями, существенно повысить их научную и практическую ценность для линейного строительства [10, 11, 14, 27, 28, 41]. Количественные характеристики сложности, неоднородности, контрастности ландшафтной структуры в районе проложения трассы успешно использовались проектировщиками и строителя-

ми для планирования объемов инженерных изысканий, оценки строительной стоимости и эксплуатационных расходов. Так, при проектировании магистрального газопровода на Ямале индекс контрастности ландшафтной структуры (по [28]) служил весовым коэффициентом для определения объемов и стоимости буровых работ по оси трассы, что позволило выбрать оптимальный вариант трассирования.

Количественные характеристики ландшафтной структуры территории нередко показывают прямо на картографических материалах. Например, карта природных комплексов Севера Западной Сибири [30] дополнена серией врезок с гистограммами ландшафтной структуры каждого района и провинции (рис. 28). На гистограммах показаны доли ландшафта в районе и состав местностей в пределах ландшафта. Для каждого типа местностей в табличной форме даны характеристики: озерность, состав поверхностных отложений (до глубины 10 м) и мощность торфа, распространение, льдистость и среднегодовая температура ММП, глубина промерзания-протаивания, ведущие экзогенные процессы, устойчивость к техногенному воздействию (при массовом строительстве). Приведенные данные позволяют по любому проектируемому варианту трассы подсчитать относительную протяженность местностей, ландшафтов, районов и по комплексу признаков оценить сложность природных условий для линейного строительства. Можно сравнивать несколько вариантов трасс и выбирать из них оптимальный.

Применение ГИС-технологий и геоинформационное картографирование вдохнули новую жизнь в методы картографо-математического анализа ландшафтной структуры. Ландшафтная карта становится не только результатом, пространственной моделью природных объектов, но



**Рис. 28.** Гистограммы ландшафтной структуры физико-географических районов в тундрах Западной Сибири [30]. Районы: А – Западно-Ямальский; Б – Центрально-Ямальский; В – Северо-Гыданский. Ландшафтные ярусы типично-тундровых равнин и террас: а) морских: Vm – пятая; IVm – четвертая; IIIm – третья; IIIm – вторая; IIm – первая; Oa – современная (лайда); б) аллювиальных: Oa – пойма. Местности: 1 – крупнохолмистые термоденудационные; 2 – холмисто-увалистые; 3 – плосколожбинные; 4 – озерно-котловинные; 5 – озерно-болотные; 6 – хасырейные

и основой для дальнейших многоцелевых исследований: количественной оценки устойчивости (уязвимости) природных геосистем, сложности природных условий для линейного строительства [18, 34].

### II.3.2. Ландшафтно-экологические требования на этапе строительства

Технология строительства транспортных объектов всегда связана хотя и с единовременным, но глубоким вмешательством в природную среду. Техногенные элементы транспортной геосистемы только создаются и пока еще не взаимодействуют с природными геосистемами. Главный экологический принцип этапа строительства транспортных геосистем – охрана и защита природных геосистем от мощного «импактного» строительного воздействия. Нет большой разницы между видами (типами) линейных сооружений. При сооружении железных дорог, автомагистралей, трубопроводов и ЛЭП проводятся одни и те же виды строительных работ (и связанных с ними воздействий на природную среду). Это расчистка полосы трассы (сведение лесов, корчевка пней, снятие почвенно-растительного покрова), разнообразные земляные работы (планировка рельефа, выемки, насыпи, траншеи и др.), интенсивная работа автономных источников электроснабжения (дизельгенераторов), строительного оборудования, строительной техники и автотранспорта, утилизация промышленных и хозяйственно-бытовых отходов от «нанизанных на трассу» передвижных механизированных колонн и временных городков строителей. При работе двигателей генераторов, автотранспорта, дорожной и строительного-монтажной техники происходит загрязнение воздуха токсичными продуктами сгорания топлива. В почвы и природные воды попадают горюче-смазочные вещества, строительные отходы. Формируются ландшафтно-геохимические поля миграции загрязняющих веществ: *стягивающие* (аттрактивные) и *рассеивающие* (диссипативные) [42].

Проведение земляных работ на трассе приводит к перемещению значительной массы грунта, к изменению рельефа, уничтожению растительного покрова, нарушению системы поверхностного и подземного стока и т. д. Активизируются экзогенные процессы, прежде всего, денудационные, связанные с изменением гравитационного потенциала притрассовой полосы (*геофизические поля*).

Общий комплекс строительных работ сходен и определяется главной особенностью транспортных геосистем – их **трансрегиональным характером**. В разных типах транспортных геосистем может меняться состав строительной техни-

ки, интенсивность и длительность воздействий, ширина полосы отвода (последняя устанавливается ведомственными нормативами).

В экологическом сопровождении строительных работ главный упор делается на **детальную инвентаризацию воздействий**, мониторинг нарушений природной среды, контроль вредных выбросов от строительной техники (отбор проб воздуха в местах ее скопления), ведение кадастра экзогенных процессов и рекультивацию нарушенных земель.

В соответствии с Программой мониторинга окружающей среды, которая была разработана на этапе проектирования, в каждой точке наблюдательной сети проводятся наземные работы: маршрутные обследования, геохимическое экспресс-опробование элементов природной среды, различного рода инструментальные съемки, организуются режимные стационарные площадки и ключевые участки. В систему мониторинга, помимо компонентов природной среды, включаются и возникающие в ходе строительства инженерные сооружения (насыпи, траншеи, дамбы и др.) как источники воздействия на природные геосистемы. Для получения оперативной и достоверной информации о состоянии как природной, так и техногенной составляющей транспортной геосистемы необходимы повторные аэро- и наземные видеосъемки [8, 19, 57].

Объем полевых работ по мониторингу на этапе строительства максимален, многие виды работ проводятся периодически, с интервалами от недельных до одного раза в сезон. Результаты исследований заносятся в созданную ранее Базу данных, с применением ГИС-технологий составляются крупномасштабные карты: комплексные и покомпонентные, ситуационные и динамические, прогнозные. Выявляются уже не потенциальные, а фактически возникшие зоны экологического риска.

Так, например, при строительстве железной дороги Обская-Бованенково на южном Ямале [48] на основе повторной аэрофотосъемки была составлена серия крупномасштабных карт, на которых показаны техногенные нарушения на участке Хальмер-То (139–141 км) в августе 1988 г. (начало строительства) и в августе 1990 г. (завершающий этап строительства). Сопоставление разновременных карт позволило установить, что площади техногенных элементов транспортной геосистемы (насыпей, карьеров, водоотводных канав) заметно растут в ходе строительства. Нарушения природных геосистем носили кратковременный импульсный характер, быстро шло восстановление растительного покрова, и площади нарушенных земель сокращались. Сооружение водоотводных канав и водопропускной трубы позволило ликвидировать возникший при строи-

тельстве участок подтопления. Из-за отсутствия водопропускной трубы на одном из участков вследствие подтопления возникла зона экологического риска, где для предотвращения возможных аварий необходимы были дополнительные меры инженерной защиты.

**Природные процессы** относятся к трудным для картирования объектам. Наблюдать ход процессов в природе (за исключением быстрых катастрофических) далеко не всегда возможно. Активность того или иного процесса оценивается по «пораженности» или «площадной пораженности» – распространению форм его проявления (в %) в пределах природной геосистемы или на единицу площади (СНиП 22-01-95, [9, 34]). Основой для составления кадастра природных процессов служат повторные маршрутные обследования притрассовой полосы и режимные полустационарные площадки, где повторно проводятся описания, измерения и инструментальные съемки. Помимо пораженности площади определяют площадь и продолжительность разового проявления процесса, объем перемещаемого материала, повторяемость и по возможности – скорость. По совокупности параметров оценивается опасность природных процессов (Приложение Б к СНиП 22-01-95).

По завершении строительных работ обязательно проводится **рекультивация земель**, нарушенных при строительстве линейного объекта.

На пашне и других сельскохозяйственных угодьях предусматривается обратное перемещение снятого ранее плодородного гумусового горизонта (со средней мощностью 0,15–0,25 м) на полосу временного землеотвода. Обратную засыпку нарушенных земель производят, начиная с минерального грунта, затем перемещается гумусо-аккумулятивный горизонт. На земли постоянного отвода – основания инженерных сооружений (насыпей, зданий, мостовых опор и др.) – снятый плодородный слой почв не возвращается. Он может быть использован для улучшения (землевание) малопродуктивных угодий, создания новых площадей сельскохозяйственного освоения на неудобьях, на озеленение территории и откосов, устройство газонов и т. п. (ГОСТ 17.4.3.02-85; ГОСТ 17.5.3.-06-85).

Помимо возвращения плодородного слоя почвы в рекультивацию входят проведение противоэрозионных и берегоукрепительных мероприятий (травосеяние, каменная наброска, посадка кустарника), сбор и утилизация мусора, строительных и бытовых отходов, ликвидация временных дорог и карьеров, а также пятен загрязнений почвенного покрова горюче-смазочными материалами.

Зоны экологического риска, выявленные при проведении строительных работ, обязательно

включаются в наблюдательную сеть Мониторинга окружающей среды на стадии эксплуатации транспортных геосистем.

### II.3.3. Эксплуатация и функционирование транспортных геосистем

На этапе эксплуатации транспортный (линейный) объект переходит в новое качественное состояние – он впервые становится геотехнической системой – природно-антропогенным ландшафтом, где сосуществуют и взаимодействуют как природные, так и техногенные элементы. Главная задача комплексных ландшафтных исследований на этом этапе – обеспечить надежное и безопасное функционирование инженерных сооружений, а также стабильное состояние элементов природной среды.

Разные типы транспортных геосистем отличаются по характеру проявления барьерного эффекта и действию ландшафтных геохимических и геофизических полей (табл. 16).

**Эксплуатация и функционирование автомобильных дорог.** При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт становится угрожающим фактором как окружающей среде, так и здоровью человека. Помимо барьерного эффекта, для автодорог характерно сильное проявление акустического (шумового) и гравитационного полей, заметно тепловое воздействие автомагистралей. Наиболее значимым фактором отрицательного влияния автомобильного транспорта является загрязнение воздуха. Основными токсичными веществами – продуктами неполного сгорания топлива автомобильных двигателей служат сажа, окись углерода, углеводороды, углекислый газ, альдегиды, тяжелые металлы (преимущественно, свинец) [46, 50].

Госкомэкологией России разработана и утверждена методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы [38]. В ней приводятся результаты статистических расчетов выбросов загрязняющих веществ различными группами автомобилей (табл. 17) и коэффициенты изменения количества выбросов в зависимости от скорости автомобиля (табл. 18).

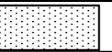
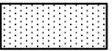
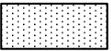
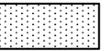
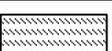
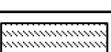
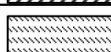
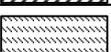
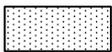
В районах плотной жилой застройки вдоль крупных автотрасс проводится постоянный мониторинг содержания токсичных веществ в приземных слоях воздуха.

Автотранспорт является *источником внешнего шума*, интенсивность которого (в дБА) составляет от:

легкового автомобиля	– 65–80
автобуса	– 80–85
грузового автомобиля	– 80–95
мотоцикла	– 90–95

Таблица 16

Вещественно-энергетическое воздействие транспортных геосистем на ландшафтную среду

Особенности функционирования		Автодороги	Железные дороги	Трубопроводы	ЛЭП
Барьерный эффект					
Ландшафтно-геохимические поля:	выбросы ЗВ* в атмосферу				
	водная и почвенно-грунтовая миграция ЗВ				
Геофизические поля:	акустическое (шумовое)			–	–
	электромагнитное	–	 **		
	гравитационное				
	тепловое			 ***	
Степень проявления:		 сильно	 средне	 слабо	

Примечание: \* ЗВ – загрязняющие вещества; \*\* сильное проявление – для электрифицированных железных дорог; \*\*\* сильное проявление – для нефтепроводов.

Таблица 17

Пробеговые выбросы загрязняющих веществ для различных групп автомобилей, по данным Госкомэкологии России [38]

Наименование группы автомобилей	№ группы	Выбросы загрязняющих веществ (г/км)							
		CO	NO <sub>x</sub> (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	CH	Сажа	SO <sub>2</sub>	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
Легковые	I	19,0	1,8	2,1	–	0,065	0,006	0,019	1,7 · 10 <sup>-6</sup>
Легковые дизельные	Id	2,0	1,3	0,25	0,1	0,21	0,003	–	–
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью до 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе) и микроавтобусы	II	69,4	2,9	11,5	–	0,20	0,020	0,026	4,5 · 10 <sup>-6</sup>
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью более 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе)	III	75,0	5,2	13,4	–	0,22	0,022	0,033	6,3 · 10 <sup>-6</sup>
Автобусы карбюраторные	IV	97,6	5,3	13,4	–	0,32	0,03	0,041	6,4 · 10 <sup>-6</sup>
Грузовые дизельные	V	8,5	7,7	6,0	0,3	1,25	0,21	–	6,5 · 10 <sup>-6</sup>
Автобусы дизельные	VI	8,8	8,0	6,5	0,3	1,45	0,31	–	6,7 · 10 <sup>-6</sup>
Грузовые газобаллонные, работающие на сжатом природном газе	VII	39,0	2,6	1,3	–	0,18	0,002	–	2,0 · 10 <sup>-6</sup>

Таблица 18

Коэффициент изменения количества выбрасываемых вредных веществ в зависимости от скорости движения [38]

	Скорость движения (V, км/час)												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
$r_{V_{k,i}}$	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65

Для диоксида азота значение  $r_{V_{k,i}}$  принимается постоянным и равным 1 до скорости 80 км/час.

Автомобильные средства по интенсивности шума различаются довольно резко. К самым шумным относятся грузовые автомобили с дизельным двигателем (90–95 дБА), к самым «тихим» – легковые автомобили высоких классов (65–70 дБА) [32, 50].

Уже много лет осуществляется нормирование транспортных шумов. Выработаны международные нормы, определяющие уровни шума, производимые автомобильными транспортными средствами. В условиях акустического дискомфорта по уровню автотранспортного шума проживает не менее 12,5 млн городских жителей России.

Разработаны разнообразные способы и методы борьбы с шумом [32]. Один из главных – ограничение скорости. Экспериментально установлено, что шум от легковых машин минимален при скоростях 70–75 км/час, а грузовых – при скорости около 50 км/час. При больших скоростях уровень шума зависит от конструкции автомобиля и качества дорожного покрытия. Прочность, шероховатость и пористость покрытия максимально поглощают звук. Наряду с чисто технологическими, существуют методы борьбы с шумом, использующие особенности природных ландшафтов.

При строительстве новых автодорог эффективно создание резервных зон с лесными массивами, естественными или искусственными водоемами, с естественными неровностями рельефа. Все это гасит автотранспортный шум. Вдольграссовые зеленые насаждения должны быть высокими и звуконепроницаемы как летом, так и зимой. Эффективность снижения шума зависит от конструкции посадки, подбора древесно-кустарниковых пород, плотности и густоты крон, возраста посадок. Норму посадки деревьев на 1 м<sup>2</sup> в шумозащитных полосах принимают выше, чем при обычном озеленении. Оптимальная ширина зеленых насаждений должна быть по 50–100 м в обе стороны от дороги, а высота деревьев – не менее 5–8 м [50].

Для построенных дорог или дорог, проектируемых в освоенных густонаселенных районах, применяют другие способы. Одним из них является устройство земляного полотна в выемках. Для большего снижения шума откосы выемок

рекомендуется выполнять без округления верхней кромки. Заметный шумопоглощающий эффект достигается, если глубина выемки равна или больше максимальной высоты автомобилей [50].

Эффективны для борьбы с шумом и относительно дешевы в равнинных районах тоннели. При длине 0,5–1 км тоннели можно строить без дорогостоящей системы вентиляции (или устраивать открытые промежутки). Недостатки тоннелей – слабое освещение, слабая вентиляция, большой шум внутри (вредны для водителей и пассажиров автотранспорта).

Широкое распространение в густонаселенных районах получили противошумовые (шумозащитные) экраны. От защищаемых объектов (зданий) экраны должны располагаться на расстоянии, равном четырехкратной высоте объекта. Например, при высоте здания 15 м противошумовой экран должен находиться в 60 м от здания. Расчетная высота противошумового экрана должна соответствовать частоте шумовых колебаний (преобладающие длины волн от 1,8 до 7,2 м). Практический опыт показывает, что достаточно 2,5–3-метровой высоты экрана. Шумозащитные экраны следует выносить за границу полосы отвода автомобильной дороги, защищать ограждениями [50].

Первый противошумовой экран был создан в Швейцарии из бетона и имел высоту 2 м. Помимо бетона для экранов используют стекловолокно, пластик, другие материалы. Стенки экранов защищают решетками, перфорированными плитами. Перспективны экраны с наклоном к дорожному полотну под углом 65–70°.

**Эксплуатация и функционирование железных дорог.** Железнодорожный транспорт, особенно после его массовой электрификации, уже не оказывает сильного загрязняющего воздействия на воздушную среду, как это было в прошлом, когда в локомотивном парке преобладали паровозы. В наше время особое внимание следует уделять проявлению барьерного эффекта при пересечении железной дорогой постоянных и временных водотоков и действию гравитационного

поля, провоцирующего возникновение ряда экогенных процессов в притрассовой полосе. Влияние электромагнитного поля железных дорог на биоту и человека пока еще слабо изучено. Совместное действие барьерного эффекта и гравитационного поля на возвышенных расчлененных равнинах может привести к резкой активизации водной эрозии, если водопропускные сооружения рассчитаны неправильно и усиливают эродирующую энергию водного потока [60].

Проявление барьерного эффекта на слабо расчлененных равнинных участках при недостатке водопропускных сооружений может вызвать рост заболачивания и образование подпруженных озерков, как это случилось на строящейся трассе железной дороги Обская – Бованенково на Ямале.

Распространенным и универсальным способом защиты железных дорог и автомагистралей от неблагоприятных явлений природы, нарушающих движение транспортных средств, являются лесные полосы особой конструкции – защитные лесные насаждения.

*Защитные лесные насаждения* в виде живых изгородей из ели, а в южных засушливых районах – из лиственных пород деревьев и кустарников, начали создаваться в России в 60–70 годах XIX в. на Московско-Нижегородской, Курско-Харьковско-Азовской и Воронежско-Ростовской железных дорогах. Это позволило снять с эксплуатации деревянные снеговые щиты, для изготовления которых нужны были десятки тысяч рабочих и большое количество лесоматериалов. Было установлено, что защитные лесные полосы являются надежным средством ограждения транспортных путей от снежных и песчаных заносов. Их главная роль – торможение и рассеивание ветра [31, 7].

Специалистами-лесомелиораторами разработаны высокоэффективные типы и конструкции полосных защитных лесонасаждений с разрывами внутри посадок, которые полностью обеспечили защиту от снежных заносов. Защитные лесонасаждения в зависимости от заносимости создаются однополосными (ширина снегосборных полос до 50 м), двухполосными (ширина полос от 50 до 90 м), трёхполосными (ширина более 90 м). В лесной зоне вместо чисто еловых применяются 12–13-рядные хвойно-лиственные посадки из ели, лиственных деревьев и снегоустойчивых кустарников. Для лесостепных и степных районов, где возможно лесоразведение, разработаны схемы многорядных сплошных посадок и посадок из нескольких древесно-кустарниковых полос.

Различают следующие основные виды транспортных защитных лесонасаждений: снегозащитные, ветрозащитные, пескозащитные, почвоукрепительные, водорегулирующие, озеленительные. В защитных лесах запрещены сплошные рубки на расстоянии до 500 м в каждую сторону от пути, установлен особый режим лесного хозяйства [7, с. 402–403].

**Эксплуатация и функционирование трубопроводов.** При эксплуатации трубопроводного транспорта сильнее всего проявляется барьерный эффект, активно действует гравитационное поле (за счет удаления почвенно-растительного покрова в полосе отвода), а в криолитозоне – еще и тепловое (см. табл. 16, раздел II.4.1). Ландшафтно-геохимические поля возникают только при крупных авариях с разливами нефти.

Действие *барьерного эффекта* при пересечении малых водотоков и заболоченных участков было исследовано на газопроводе Надым–Пунга. Через 35 лет после прокладки на заболоченном участке трассы отмечено большое количество подпрудных озер, образовавшихся выше по рельефу от трассы газопровода (рис. 29) [1]. Ширина нарушенной полосы составляет здесь от 50 до 150–200 м. Ниже по рельефу подпрудных озер нет.

В период эксплуатации трубопроводы отличаются крайней сложностью оперативного управления. Нередко аварии на трассах магистральных трубопроводов происходят далеко от населенных пунктов, в безлюдной труднодоступной местности. Последствия аварии здесь во многом зависят от времени ее устранения, от оперативности прибытия аварийных бригад к месту аварии. Например, в Западной Сибири, в подзоне средней тайги, на магистральном газопроводе произошла утечка газа и последующее возгорание. Аварийная бригада смогла прибыть на место аварии только через два часа после сигнала, поступившего в диспетчерский пункт, и встретила «стену огня высотой 25 м и протяженностью около 130 м».

**Эксплуатация и функционирование ЛЭП.** В период эксплуатации основным фактором воздействия ЛЭП на окружающую среду становится электромагнитное поле. Дальность воздействия электромагнитного поля, создаваемого ЛЭП, прямо пропорциональна мощности самой линии [20]. Основной способ защиты живых организмов и людей от возможного вредного воздействия электромагнитных полей – создание охранных зеленых зон, ширина которых устанавливается нормативами в зависимости от рабочего напряжения ЛЭП и составляет от 20 до 100 м.

Значительная часть воздушных магистральных электросетей России проходит в лесной зоне.



*Рис. 29. Подпрудное озеро и деградация лиственничной редины вдоль трассы газопровода Надым–Пунга (Западная Сибирь). Фото О. Е. Пономаревой*

Деревья и кустарники, растущие в непосредственной близости от проводов, могут стать причиной коротких замыканий, которые, в свою очередь, помимо технологических нарушений в работе энергосистемы способны привести к лесным пожарам. Для ЛЭП 330–500 кВ расстояние от проводов до крон деревьев должно быть не менее 7 м. Аварийные ситуации могут возникнуть также из-за падения деревьев на провода ЛЭП. Чтобы этого не допустить, периодически (раз в 4–5 лет) проводится расчистка просек на трассах высоковольтных линий. Для максимально быстрой очистки просеки от деревьев, кустов и сней путем дробления их в щепу используются специальные машины – мульчеры. В последнее время стала применяться химическая расчистка трасс высоковольтных ЛЭП. Используют гусеничные вездеходы, оснащенные распылителями химического раствора, замедляющего процесс роста деревьев и кустарников на трассах линий электропередачи.

Надежное и безопасное функционирование всей системы и стабильное состояние элементов природной среды помогает обеспечить **мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг)** на этапе эксплуатации транспорт-

ных геосистем. Продолжение работ в системе геоинформационного мониторинга окружающей среды заключается в расширении и пополнении Базы данных, собранной в ходе проектирования и строительства транспортных путей, и выявления уязвимых участков трассы (зон экологического риска). Именно в этих местах создается сеть точек наблюдения на этапе эксплуатации [5, 15, 29, 37, 64].

Задачи мониторинга транспортных геосистем на этапе эксплуатации:

- диагностика текущего состояния системы, получение оперативной информации о параметрах ее природной и техногенной составляющих;
- инженерная защита в зонах экологического риска;
- контроль фактического воздействия линейных объектов на окружающую среду, выявление новых, возникших уже в ходе эксплуатации, зон экологического риска;
- управление – т. е. разработка мероприятий, обеспечивающих экологическую стабильность и надежность функционирования транспортных геосистем.

## II.4. Функционирование транспортных геосистем в сложных физико-географических условиях

### II.4.1. Транспортные геосистемы в криолитозоне

Криолитозона занимает более 60% территории России. Здесь сосредоточен главный ресурсный потенциал страны: месторождения полезных ископаемых (нефть, природный газ, алмазы, золото и др.), основные запасы промышленного леса, гидроэнергетические и рыбохозяйственные ресурсы (крупнейшие реки – Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма). И одновременно – это самые малонаселенные и неосвоенные районы России. Дальнейшее развитие страны невозможно без создания современной инфраструктуры, и в первую очередь – развития транспортной сети, дорожного и трубопроводного строительства в районах криолитозоны.

Подтверждением тому могут служить крупные государственные Программы и инвестиционные проекты. Среди них:

- начавшееся в 2007 году строительство гигантской трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» протяженностью более 4,5 тыс. км;
- инвестиционный проект «Урал Промышленный – Урал Полярный», включающий в себя строительство железнодорожной линии Обская – Полуночное (по восточному склону Урала), железнодорожной линии Обская – Надым (восстановление участков «Мертвой» железной дороги Салехард – Игарка) и автомобильной дороги Тюмень – Урай – Агириш – Салехард.

Главный фактор, осложняющий строительство в криолитозоне, – многолетнемерзлые породы (ММП), содержащие подземный лед в виде кристаллов, прослоев (шлиров), линз и крупных залежей. Присутствие ММП создает специфические условия для линейного транспортного строительства:

- в десятки раз возрастает *барьерный эффект* транспортной геосистемы, так как ММП являются водупором, затрудняют сток и резко усиливают процессы заболачивания и подтопления в притрассовой полосе (см. рис. 29);
- увеличивается роль *теплового поля* транспортной геосистемы. Оно нарушает стабильность ММП, может привести к вытаяванию подземного льда, содержащегося в мерзлых породах, образованию подземных талых зон (таликов), просадкам и смещениям грунта (см. рис. 31);

- активно проявляются разнообразные *криогенные процессы*: морозобойное растрескивание, термокарст, термоэрозия, солифлюкция и криогенное оползание, наледи. К обычному механическому и химическому (растворяющему) действию природных вод добавляется тепловое воздействие, во много раз усиливающее их разрушающую работу. В криолитозоне процессы, связанные с действием природных вод, называются термоэрозией, термоабразией, термоденудацией.

Главной задачей в области обеспечения безопасности при эксплуатации транспортных геосистем в криолитозоне является предупреждение нарушения теплообмена в ландшафтах и последующей активизации криогенных процессов [9, 37, 62].

По характеру распространения ММП в криолитозоне России выделяются две широтные геокриологические зоны: I – северная (сплошного распространения ММП) и II – южная (неплошного распространения мерзлых толщ) [9, 34].

В *северной геокриологической зоне* низкотемпературные ММП имеют сплошное распространение; при нарушении почвенно-растительного покрова мерзлые грунты начинают более активно промерзать и выхолаживаться. При этом возможна активизация морозобойного растрескивания и многолетнего пучения. Растрескивание пород и рост ледяных жил создают разрывные деформации в верхних горизонтах горных пород, которые очень опасны для свайных опор мостов и подземных трубопроводов. Активизация пучения может изогнуть и деформировать дренажные трубы под насыпью дороги, что резко снизит их водопропускную способность и усилит подтопление. Такое явление нередко наблюдалось на юге Ямала, на строящейся железной дороге Обская – Бованенково.

Наибольшую опасность представляет активное оттаивание ММП в *южных районах криолитозоны* – на юге тундры, в лесотундре и северной тайге, где мерзлые породы имеют островное распространение, а их температура близка к нулю. При нарушении теплового баланса здесь может происходить смена состояния горных пород (переход их из мерзлых в талые), понижение кровли ММП. Одновременно активизируется комплекс криогенных процессов, усиливающих деградацию мерзлоты (термокарст, термоэрозия, солифлюкция и криогенное оползание). Возникает цепная реакция, которая может привести к катастрофическим последствиям для транспортной геосистемы [5, 9]. Изменение условий поверхностного и подземного стока, возникновение многочисленных термокарстовых просадок, термоэрозия и склоновые процессы (сползание и течение оттаявших грунтовых масс) могут выз-

вать деформации верхнего строения пути и насыпей (рис. 30), водопропускных труб, опор трассовых ЛЭП и транспортных зданий.

вдоль трубопроводов. На плоских слабодренированных участках происходит интенсивное обводнение ореолов оттаивания и активизация эро-



**Рис. 30.** «Мертвая» дорога Чум–Салехард–Игарка в наши дни (см. рис. 14). Деформация верхнего строения пути за счет экзогенных процессов

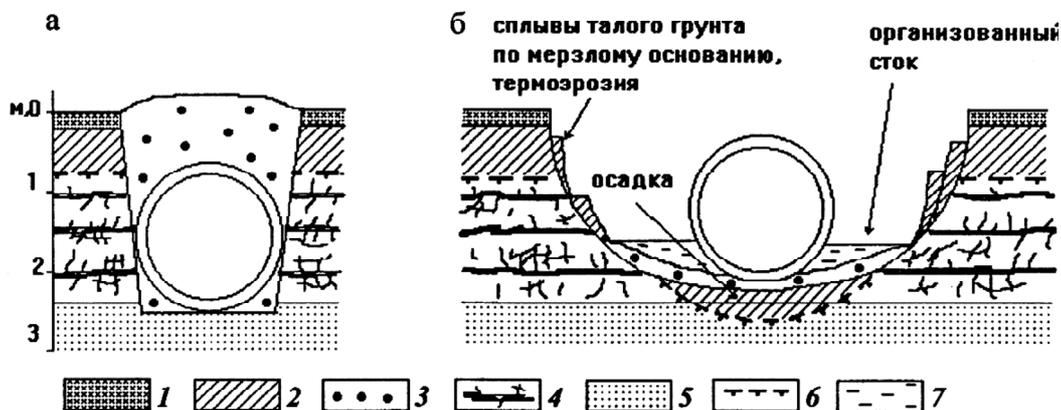
Сильное *тепловое воздействие* на грунты оказывают трубопроводы при подземном способе прокладки (см. раздел II. 2). При транспортировке продукта с положительной среднегодовой температурой вокруг трубопроводов, уложенных в мёрзлые грунты, происходит формирование ореолов оттаивания, размеры которых достигают 3–10 м и более за 7–10 лет эксплуатации. Наибольшая интенсивность оттаивания мёрзлых грунтов наблюдается в первые 2–4 года эксплуатации, когда скорость оттаивания составляет от 1,0–1,8 м/год при температуре продукта 20–30° С до 0,6–1,0 м/год при температуре 5–10°С [9, 63].

Оттаивание мёрзлых грунтов приводит к образованию мощных и протяжённых таликовых зон

зионных процессов, приводящих к расширению траншеи и частичному обнажению трубы. Например, на трассе газопровода Уренгой – Надым – Пунга (0–250 км) протяжённость участков с частично обнажённой трубой достигает 60–70%, ширина траншеи увеличилась до 7–10 м, по бортам траншеи и вдоль трассы наблюдается развитие термоэрозии (рис. 31).

На Канадском нефтепроводе Норман-Уэлс-Зама в результате осадки высокольдистых грунтов в ореоле оттаивания образовалась замкнутая пустота – подземный «тоннель», где трубопровод дал значительный прогиб [8, 9, 64].

В начале 90-х годов прошлого века в отделе охраны природы ВНИИ по строительству магис-



**Рис. 31.** Профиль траншеи подземного газопровода: а – проектный; б – через два года после строительства [9, с. 254]. 1 – дернина; 2 – суглинки талые; 3 – грунты обратной засыпки; 4 – сильнольдистые суглинки (черный лед); 5 – песок мерзлый; 6 – глубина оттаивания; 7 – вода

тральных трубопроводов (ВНИИСТ) проводилось изучение причин отказов магистральных трубопроводных систем в Западной Сибири, показавшее, что в криолитозоне доля природных факторов в создании аварийной ситуации значительно выше, чем за ее пределами (табл. 19). Исключение представляют среднетаежные ландшафты, где высокая аварийность связана с развитием топких труднопроходимых болот. Наиболее уязвимыми являются северотаежные ландшафты с массивно-островным и островным распространением ММП (*южная геокриологическая зона*). Большая неоднородность ландшафтных условий, частая смена в пространстве талых и мерзлых участков приводят к резкому (почти в 1,5 раза) повышению числа «природных» аварий.

#### II.4.2. Транспортные геосистемы в пустынях

Пустынные ландшафты, функционирующие в экстремальных условиях, при коэффициентах атмосферного увлажнения менее 0,1, отличаются крайне низким порогом устойчивости к антропогенным нагрузкам, особенно техногенным. При дорожном строительстве, прокладке нефте- и газопроводов, возведении ЛЭП обычно обостряются процессы антропогенного опустынивания ландшафтов, прежде всего, в песчано-эоловых пустынях. Сведение растительного покрова и разрушение хрупких, едва сформированных почв влекут за собой дестабилизацию рыхлого песчаного субстрата, который становится легкой добычей эоловых процессов. Они способны коренным обра-

Таблица 19

Анализ аварийности магистральных трубопроводов Западной Сибири (по материалам Института ВНИИСТ)

Ландшафтные и геокриологические зоны и подзоны	Коэффициент аварийности*	Доля аварий разного происхождения, %		
		Природные	Ошибки при строительстве и эксплуатации	Прочие
<i>Северная тайга</i> , прерывистое распространение ММП (более 75%)	0,92	24	24	52
<i>Северная тайга</i> , массивно-островное и островное распространение ММП (10-75%)	2,52	42	29	29
<i>Средняя тайга</i> , редкоостровное распространение ММП (менее 10%)	1,18	27	39	34
<i>Средняя тайга</i> , талые породы, труднопроходимые болота и топи (до 60% площади)	1,17	33	25	42
<i>Южная тайга</i> , талые породы	1,23	19	43	38
<i>Подтайга</i> , талые породы	0,93	14	43	43

\* Число отказов на 100 км трассы.

Нормальное функционирование линейных транспортных сооружений в криолитозоне возможно при строгом *сохранении мерзлоты*, т. е. поддержании грунтов в мерзлом состоянии как в процессе строительства, так и в течение всего периода эксплуатации сооружения. Для охлаждения грунтов применяют разнообразные приемы: вентилируемые насыпи, сезонно действующие охлаждающие установки, термосифоны, термосваи (рис. 32). Принцип действия этих устройств один – они способствуют проникновению в грунт холодного зимнего воздуха, что предотвращает растепление насыпи или уменьшает ореол оттаивания вокруг нефтепровода [9, 63, 64].

зом деформировать и даже разрушить транспортное полотно путем дефляции его песчаного основания, либо привести к полному погребению под толщами навейного песка [3].

Все транспортные объекты, будучи по природе техногенным барьером, не могут гармонично взаимодействовать с процессами выноса и отложения песчаного материала. Следует всячески избегать размещения линейных сооружений в зонах транзита эоловых песков, выбирая для строительства участки глинистых или каменистых пустынь, либо (в крайнем случае) с относительно неподвижными эоловыми песчаными формами, заросшими пустынной растительностью. В системе относительно неподвижных эоловых форм трассу следует располагать в соответствии



**Рис. 32.** Термосваи (*heat-pipes*), препятствующие растеплению грунтов на Аляскинском нефтепроводе. Фото Н. Г. Украинцевой

с их ориентировкой, в дефляционно-устойчивых понижениях естественного рельефа. Установлено, что склоны и вершины песчаных форм являются наиболее «ранимыми» элементами эолового рельефа.

Для оценки пескозаносимости ширина полосы картографирования должна быть увеличена до 10 км и более в обе стороны от трассы. Этого можно достигнуть без резкого увеличения затрат за счет применения аэрокосмических методов [22, 47, 48]. На специальных картах-схемах показывают степень закрепленности песков, их мощность, морфологию и морфометрию, а также направления их возможного перемещения (с учетом розы ветров) и опасность для строительства.

В практике проектирования транспортных геосистем нередко возникают ситуации, когда невозможно обойти зону интенсивной дефляции или аккумуляции песчаного материала. Приходится разрабатывать специальные меры по инженерной защите линейного сооружения от выдувания, заносов и деформаций. Эффективным методом пескозащиты является фитомелиорация (закрепление песков растительностью). Широко используются засухоустойчивые деревья и кустарники – саксаул, кандым, песчаная акация, тамариск, а также травы-псаммофиты – песчаный овес, верблюжья колючка и др. Помимо фитомелиорации применяются: устройство преград, обработка песчаных

поверхностей фиксаторами, размещение сооружений с учетом рельефа и направления движения песков, а также запрет или ограничение хозяйственного использования придорожной полосы. В местах, подверженных песчаным заносам, устанавливаются охранные зоны шириной в несколько километров, на которых запрещается уничтожать растительность и пасти скот.

#### **II.4.3. Транспортные геосистемы в горных районах**

Сложные проблемы размещения и функционирования транспортных геосистем в горных районах связаны с большой высотой и расчлененностью рельефа, а также с сейсмотектонической и экзодинамической активностью горных массивов, от которых во многом зависит устойчивость дорожных инженерных сооружений [47, 48].

Одна из самых сложных в инженерном отношении дорог мира – БАМ. 3145 км железнодорожного пути проходит по малообжитым и малоосвоенным районам в зоне вечной мерзлоты, 50-градусных морозов и высокой сейсмичности, которая в Байкальской рифтовой зоне превышает 9 баллов. Чтобы не нанести ущерб Байкалу, прорублены тоннели через низкогорья, окаймляющие его северный берег. В Забайкалье, в Становом нагорье почти непреодолимым препятствием для

железной дороги оказался Северо-Муйский хребет, где нет ни одного низкого перевала. Здесь был сооружен Северо-Муйский тоннель протяженностью более 15 км. Всего на БАМе воздвигнуто 142 крупных моста и проложено 24 км тоннелей. Для каждого тоннеля построены обходные варианты трассы [4].

Сейчас железные и автомобильные дороги поднимаются на большие высоты. Новейшая железная дорога *Синин – Голмуд – Лхаса* в Китае является самой высокогорной дорогой в мире (рис. 33). На Тибетском нагорье поезд преодолевает перевал на высоте 5072 метра! Во время проезда по высокогорным областям в вагоны подается кислород.

четыре высочайших перевала (свыше 4000 м) пересекает *Памирский тракт*, ведущий из Оша в Хорог [12]. В высокогорье Перуанских Анд сохранились средневековые дороги страны инков (рис. 34). С глубокой древности существовал исторический путь через Главный хребет Большого Кавказа, известный как *Военно-Грузинская дорога*. В 1863 г. ее полотно протяженностью 208 км было шоссировано, но отдельные участки дороги, особенно в Дарьяльском ущелье, оставались настолько рискованными, что звались в народе «Пронеси Господи» (рис. 35).

При строительстве дорог по крутым горным склонам часто используется специальный инженерный прием – *дорожный серпантин*. Самым



Рис. 33. Эстакада на Цинхай-Тибетской магистрали (*Синин – Голмуд – Лхаса*)

*Нос Дьявола (Nariz del Diablo)* – главная достопримечательность эквадорских железных дорог. 100-километровая однопутка, начинающаяся на высокогорье в Риобамбе и спускающаяся в настоящие джунгли, вьётся по склону знаменитого южноамериканского вулкана-шеститысячника Чимборасо. Туристы предпочитают здесь ехать на крышах вагонов, наблюдая незабываемые горные пейзажи.

Железнодорожная линия между *Антофагастой* (Чили) и г. *Сальта* (Аргентина) пересекает Анды на высоте 4500 м. Лишь немного уступает ей по высоте перевала *Трансандская* железная дорога *Вальпараисо – Мендоса – Буэнос-Айрес*.

Автомагистрали не отстают от железных дорог, забираясь все выше по склонам гор. Так,

невероятным примером дорожного серпантина в мире по праву считается горная автодорога *Jebel Hafeet* в Объединенных Арабских Эмиратах. Ее протяженность составляет чуть менее 12 км, но при этом она насчитывает 60 поворотов и поднимается вверх на 1220 м. Серпантин встречается на горных автомагистралях всех стран и континентов: в Гималаях (рис. 36), Альпах, на Кавказе, Памире, в Скалистых горах и т. д.

Значительно реже серпантин используется при строительстве железных дорог – из-за большой длины подвижного состава и жестких требований к радиусу кривизны пути. Однако и на горных железных дорогах без серпантина иногда невозможно обойтись. Так, от перуанской сто-

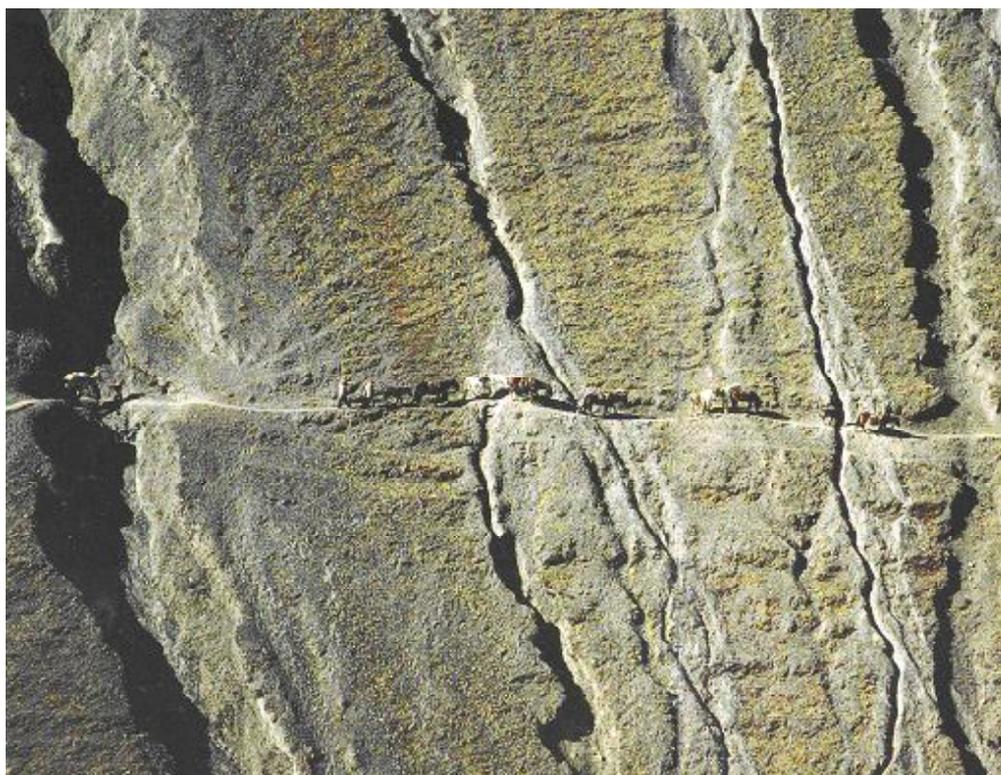


Рис 34. Дорога в Перуанских Андах в наши дни

Таблица 20

Самые крупные тоннели в Альпах [36]

Название тоннеля	Назначение	Год окончания строительства	Длина, км	Высота над уровнем моря, м	Страна
Сен-Готард	ж.-дор.	1882	15,0	1810	Швейцария
Симплон I, II	ж.-дор.	1906, 1922*	19,8	705	Швейцария
Тауэрн	ж.-дор.	1908	8,5	1225	Австрия
Летчберг	ж.-дор.	1913	14,6	1240	Швейцария
Мон-Сени	ж.-дор.	1871	13,6	1507	Франция – Италия
Фрежюс	ж.-дор.	1871	12,9	1300	Франция – Италия
Большой Сен-Бернар	автомоб.	1964	5,8	1875	Швейцария – Италия
Монблан	автомоб.	1965	11,6	1380	Франция – Италия
Албула	автомоб.	–	5,9	1823	Швейцария
Сан-Бернардино	автомоб.	1967	6,6	1650	Швейцария
Фельбертауэрн	автомоб.	1967	5,2	1650	Австрия
Сен-Готард	автомоб.	1976	16,8	1175	Швейцария
Фрежюс	автомоб.	1980	12,9	1300	Франция – Италия

\* Приведены даты окончания строительства тоннелей Симплон I и Симплон II соответственно.

лицы *Лимы* к серебряным рудникам в *Уанкавелике* (3800 м) построена удивительная железная дорога с серпантинами и возвратными тупиками, эдакими зигзагами в виде буквы Z, когда поезд

упирается в тупик, едет назад по спуску вниз до следующего такого тупика, а потом снова вперед.

Серпантином поднимается к Ангараканскому перевалу красивейший участок БАМа – *обход*

*Северомуйского тоннеля.* Там, где по прямой всего 22 км, поезд преодолевает почти 57 км, спускаясь и поднимаясь почти на полкилометра. Самый знаменитый здесь «Чертов мост» – высокая эстакада на двухъярусных опорах над руслом р. Итыкит.

Сооружение дорог в виде серпантина на горных склонах во много раз удлинит трассу и осложняет ее эксплуатацию. Обычно, чтобы избежать недопустимых продольных уклонов (см. п. II.2.1) автомобильные и железные дороги прокладывают в долинах горных рек, либо по косогорам, наискосок по горным склонам.

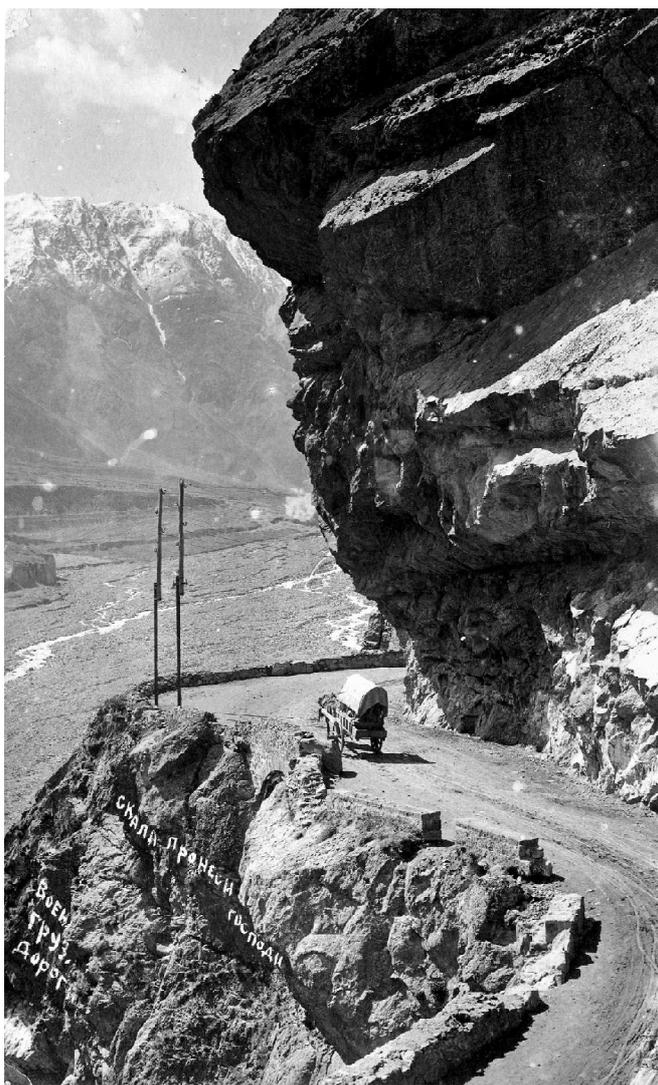
При переходе из одной долины в другую, а также на горных перевалах универсальным средством для преодоления геоморфологических преград являются тоннели. Длина их может быть от нескольких сотен метров (при пересечении небольших горных отрогов) до нескольких километров (при пересечении главных хребтов и перевалов). Самым высокогорным до настоящего времени является тоннель *Фэнхошань* (длина 1338 м) на трассе железной дороги *Синин – Лхаса* (Китай), проложенный на высоте 4 905 м над уровнем моря. Тоннель *Эйзенхауэра–Джонсона* в Скалистых горах на автотрассе *Денвер – Сан-Франциско* (шт. Колорадо, США), пересекающий главный водораздел между бассейнами Тихого и Атлантического океанов, расположен на высоте 3 401 м, длина его составляет 2 720 м (рис. 37).

В Европе строительство тоннелей началось гораздо раньше и значительно ускорило железнодорожное, а затем и автомобильное сообщение между странами Южной и Центральной Европы (табл. 20).

Помимо сложного рельефа, большую опасность в горных районах представляют эндогенные (сейсмотектонические) процессы. Зоны тектонических разломов являются серьезным препятствием для всего строящегося линейного объекта, но особенно – для строительства и эксплуатации тоннелей. Обширный опыт проходки горных тоннелей показывает, что вероятность возникновения аварийных ситуаций максимальна, если:

- зоны тектонического дробления выполнены рыхлыми водонасыщенными породами;
- разломы находятся в зоне высокой сейсмичности.

В первом случае по тектоническим трещинам в тоннель могут прорываться напорные подземные воды, что влечет за собой серьезные аварии.



**Рис. 35.** Военно-Грузинская дорога в 30-е годы XX в. Фото из архива Н. Г. Украинцевой

Ликвидация последствий таких прорывов занимает многие месяцы. Вероятность их возникновения определяется протяженностью и порядком разлома, мощностью зоны дробления, а также обводненностью и разуплотненностью горных пород. Во втором случае по зонам разломов могут возникать очаги землетрясений и при сейсмических толчках тектонические блоки могут смещаться относительно друг друга. И того и другого можно избежать, если заблаговременно в ходе инженерно-геологических изысканий выявлять активные зоны тектонических разломов, используя не только наземные наблюдения, но и дешифрирование космических снимков.

Не менее серьезные проблемы при строительстве и эксплуатации горных дорог связаны с проявлениями опасных экзогенных процессов – обвалов, лавин, селей, оползней, карста. Нередко участки их активного развития приурочены к зонам тектонических разломов и высокой сейсмич



*Рис. 36. Серпантин автотрассы в Западных Гималаях (Индия). Фото В. А. Николаева*



*Рис. 37. Восточный портал тоннеля Эйзенхауэра–Джонсона (1973–1979 гг.) в Скалистых горах (США). Фото Н. Г. Украинцевой*

ности. Одной из причин катастрофического проявления оползней, лавин, селей может быть необоснованное сведение лесов на горных склонах. Движение курумов и сход селя может вызвать также подрезка нижних придорожных частей склонов.

Комплекс мероприятий по инженерной защите транспортных геосистем от воздействия неблагоприятных экзогенных процессов в горных рай-

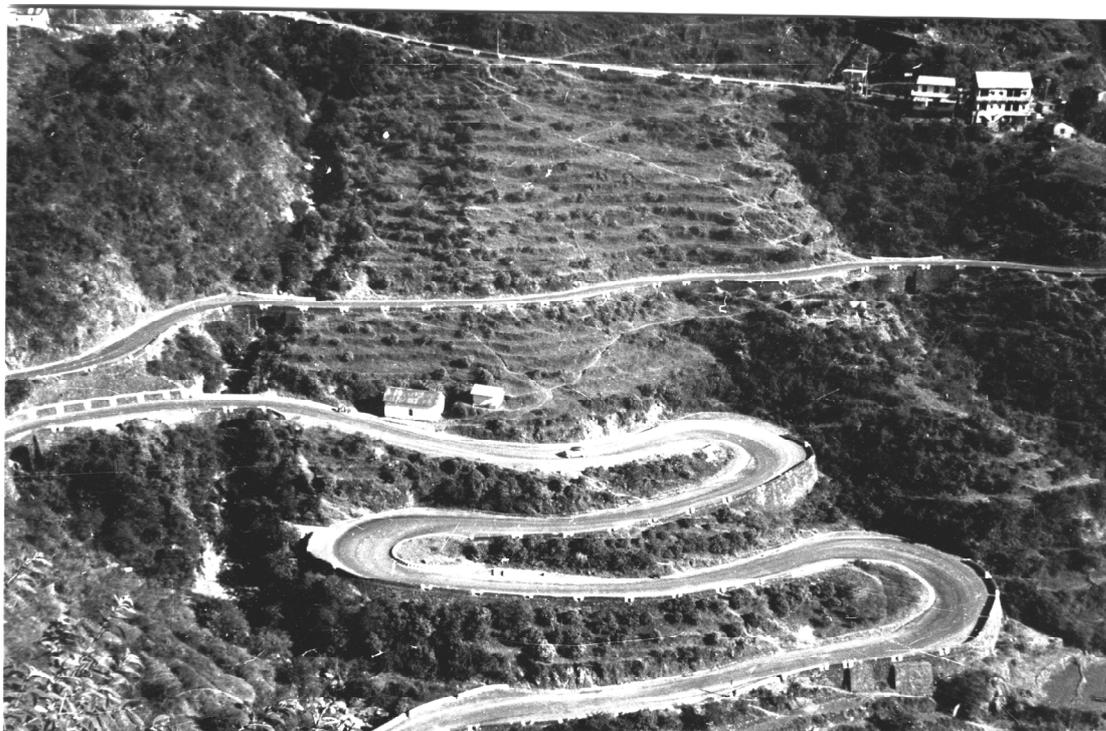
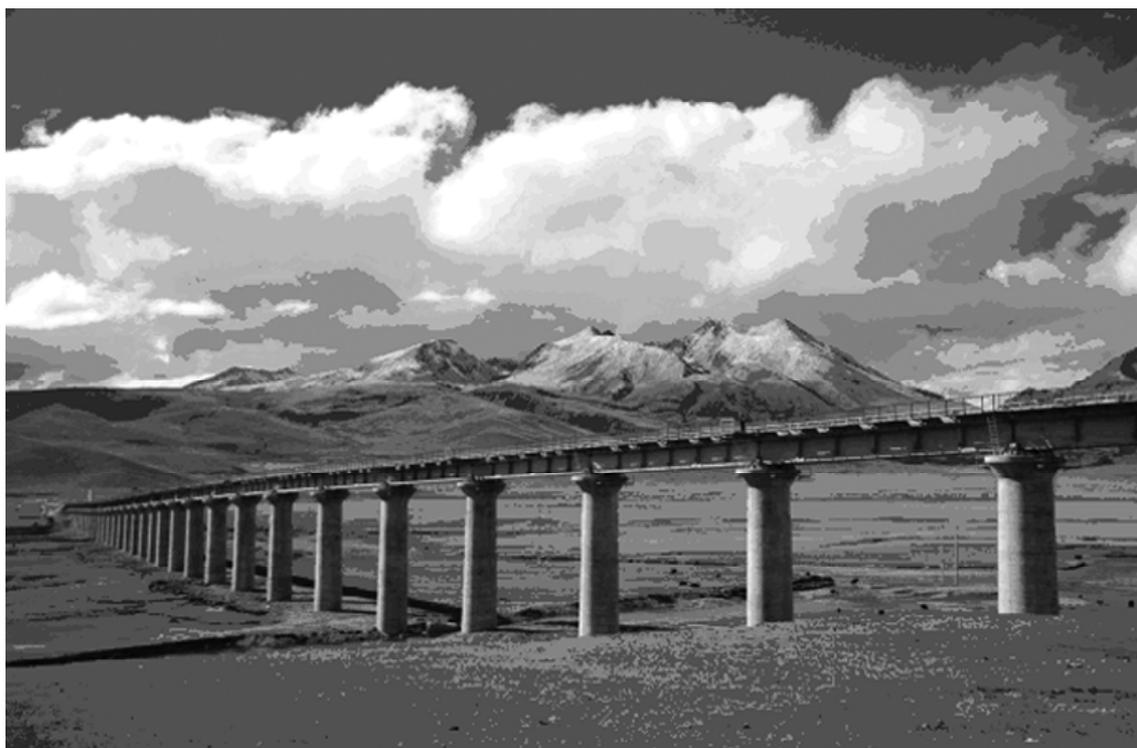
онах разработан в центральном НИИ транспортного строительства (ЦНИИС) [47, 48]. К ним относится сооружение противообвальных и противолавинных галерей, заграждений, подпорных стен и др. (см. раздел П.2.1). Оптимально спланированная инженерная защита может обеспечить равновесное состояние и надежное функционирование транспортной геосистемы в горах (как природных, так и техногенных ее элементов).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Отв. ред. Н. Г. Москаленко. Тюмень: ИКЗ СО РАН, 2006. – 357 с.
2. Атлас Тюменской области. М., Тюмень: ГУГК, 1971.
3. *Бабаев А. Г., Зонн И. С., Дроздов Н. Н., Фрейкин З. Г.* Пустыни. – М.: Мысль, 1986. – 320 с.
4. БАМ – дорога в будущее России: Скоростное преодоление барьерных мест. События, факты, люди / Сост. А. И. Белозеров. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2004. – 386 с.
5. *Баулин В. В., Дубиков Г. И., Чернядьев В. П., Шаманова И. И.* Экологическое картирование криолитозоны для строительных целей // Разведка и охрана недр, 1998, № 6.
6. Большая советская энциклопедия (БСЭ), 3-е изд. / Гл. редактор А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1970. Т. 1.
7. Большая советская энциклопедия (БСЭ), 3-е изд. / Гл. редактор А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1972. Т. 9.
8. *Бухгалтер Э. Б., Самсонов Р. О., Будникова Б. О., Пыстина Н. Б., Загородняя А. А.* Экология газового комплекса. – М.: Научный мир, 2007. – 383 с.
9. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е. С. Мельникова и С. Е. Гречищева. – М.: ГЕОС, 2002. – 402 с.
10. *Викторов А. С.* Рисунок ландшафта. – М.: Мысль, 1986. – 179 с.
11. *Викторов А. С.* Математическая морфология ландшафта. М., 1998. – 192 с.
12. *Гвоздецкий Н. А., Голубчиков Ю. Н.* Горы. – М.: Мысль, 1987. – 399 с.
13. География путей сообщения / Под ред. к.г.н. Н. Н. Казанского. М.: Транспорт, 1987. – 224 с.
14. *Геренчук К. И., Гораши И. К., Топчиев А. Г.* Методика определения некоторых параметров морфологической структуры ландшафтов // Изв. АН СССР. Сер. Географ., 1969. № 5. С. 102–109.
15. *Гречищев С. Е., Москаленко Н. Г., Шур Ю. Л. и др.* Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции. Новосибирск: Наука, 1983. – 180 с.
16. *Даркевич В. П.* Аргонавты средневековья (2-е изд.). М.: Изд-во МГУ, 2005. – 254 с.
17. *Дьяконов К. Н., Дончева А. В.* Экологическое проектирование и экспертиза: Учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2002. – 384 с.
18. *Дьяконов К. Н., Касимов Н. С., Тикунов В. С.* Современные методы географических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 208 с.
19. *Ермилов О. М., Грива Г. И., Москвин В. И.* Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 148 с.
20. *Еськов Е. К., Карев В. А.* Фауна просек высоковольтных линий электропередач // Известия Самарского научного центра РАН, 2009. Т. 11, № 1. С. 127–132.
21. Железные дороги. Общий курс / Под общ. ред. к.т.н. М. М. Филиппова. М.: Транспорт, 1968. – 272 с.
22. *Закиров Р. С.* Предупреждение песчаных заносов железных, автомобильных дорог и ирригационных сооружений. – М.: Центр международных проектов ГКНТ СССР, 1983. – 165 с.
23. *Звонкова Т. В.* Прикладная геоморфология. – М.: Высшая школа, 1970. – 272 с.
24. *Звонкова Т. В., Филанчук Н. В.* Карта оценки природных условий Тюменской области для дорожного строительства // Мелкомасштабные карты оценки природных условий. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. С. 57–64.
25. *Зензинов Н. А.* От Петербург-Московской до Байкало-Амурской магистрали. – М.: Транспорт, 1986. – 216 с.
26. *Иванов А. Н., Самойлова Г. С., Сурков В. В.* Ландшафтно-экологические исследования при про-

- ектировании газопроводов в лесной зоне // Вестник Моск.ун-та, сер. 5, География, 2008, № 1, С. 58–65.
27. *Ивашутина Л. И., Николаев В. А.* К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестник Моск.ун-та, сер. 5, География, 1969, № 4. С. 49–59.
28. *Ивашутина Л. И., Николаев В. А.* Контрастность ландшафтной структуры и некоторые аспекты ее изучения // Вестник Моск.ун-та, сер. 5, География, 1971, № 5. С. 70–77.
29. *Камышев А. П.* Методы и технологии мониторинга природно-технических систем севера Западной Сибири / Под ред. д.г.н. А. Л. Ревзона. М: ВНИПИГАЗДОБЫЧА, 1999. – 230 с.
30. Карта природных комплексов Севера Западной Сибири (для целей геоэкологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий при массовом строительстве). Масштаб 1:1 000 000. На 6 листах / Научн. ред. Е. С. Мельников, Н. Г. Москаленко. Новосибирск: Карт.ф-ка, 1991.
31. *Крюденер А. А.* Инженерная биология. – М.: МГУЛ, 2003. – 172 с.
32. *Кулеев М. Т., Хабибуллина Э. Н.* Дороги и окружающая среда. Учебное пособие. Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1990.– 111 с.
33. *Куприн Е., Рубец А.* Российскому автомобильному транспорту – 100 лет // Автомобильный транспорт. 1996. № 10.
34. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Мельников Е. С., Вейсман Л. И., Москаленко Н. Г. и др. – Новосибирск: Наука, 1983. – 165 с.
35. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Специальная инженерная геология. Ленинград: Недра, Ленингр.отд., 1978.– 496 с.
36. *Максаковский В. П.* Географическая картина мира. В 2 книгах. Книга 2. Региональные характеристики мира – 2-е изд. М.: Дрофа, 2005. – 480 с.
37. *Марахтанов В. П.* Инженерно-географические исследования на трассах магистральных газопроводов в криолитозоне // Вестник Моск. ун-та, сер. 5, География. 2011. № 4. С. 42–47.
38. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. М.: Госкомэкология, 1999. – 38 с.
39. *Миллер Г. П., Петлин В. Н.* Функционирование природных территориальных комплексов в зонах прокладки магистральных трубопроводов (на примере Карпат) // Изв. ВГО. Т. 123, вып. 6. 1991.
40. Национальная программа модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года. – М.: Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта и связи РФ, 2004. – 110 с.
41. *Николаев В. А.* Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 160 с.
42. *Николаев В. А.* Ландшафтоведение. М.: Географический ф-т МГУ, 2006. – 208 с.
43. *Перельман А. И., Касимов Н. С.* Геохимия ландшафта: Учебное пособие. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
44. *Поспелов П. И.* Дороги // Большая Российская энциклопедия: В 30 т. / Председатель Науч.-ред. совета Ю. С. Осипов. Отв. ред. С. Л. Кравец. – М.: Большая российская энциклопедия, 2007. Т. 9. С. 285–287.
45. Протокол о международных автомобильных дорогах Содружества Независимых Государств от 11 сентября 1998 года.
46. *Прохорова Н. В.* Эколого-геохимическая роль автотранспорта в условиях городской среды // Вестник СамГУ, естественнонаучная серия, 2005. № 5(39). С. 188–199.
47. *Ревзон А. Л.* Картографирование состояний геотехнических систем. – М.: Недра, 1992.– 223 с.
48. *Ревзон А. Л., Камышев А. П.* Природа и сооружения в критических ситуациях. Дистанционный анализ. М: Триада Лтд, 2001. –208 с.
49. *Ретеюм А. Ю., Дьяконов К. Н., Куницын Л. Ф., Преображенский В. С.* Природа, техника, геотехнические системы. – М., 1978.
50. Руководство по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства. Автомобильные дороги общего пользования. Отраслевая дорожная методика М.: Минтранспорта РФ, 2001. – 61 с. (Утв. распоряжением № ОС-482-р, от 22 ноября 2001 г.)
51. *Рыльский И. А.* Влияние факторов географической среды на автоматизированное трассирование трубопроводов / Под ред. проф. В. С. Тикунова. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 192 с.
52. *Симонов Ю. Г., Кружалин В. И.* Инженерная геоморфология: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
53. *Сладкопевцев С. А.* Карта оценки природных условий для освоения нефтегазоносных районов Тюменской области // Мелкомасштабные карты оценки природных условий. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 1972. С. 65–73.
54. Справочник по инженерной геологии / Под общ. ред. М. В. Чуринова. М.: Недра, 1974. – 408 с.
55. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебник для вузов / Р. А. Алиев, В. Л. Белоусов, А. Г. Немудров и др. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
56. *Хренов Н. Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. М.: ГазОйл-пресс, 2003. –352 с.

57. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Наземные исследования. – М.: ГазОйлпресс, 2005. – 608 с.
58. Хропов А. Транспортные геотехсистемы // Геоэкологические принципы проектирования природно-технических геосистем. – М.: Институт географии АН СССР, 1987. С. 65–90.
59. Шаммазов А. М., Мастобаев Б. Н., Бахтизин Р. Н., Соценко А. Е. Трубопроводный транспорт России // Трубопроводный транспорт нефти. 2000. №№ 6–9.
60. Шварев С. В. Методика оценки состояния железнодорожной природно-технической системы в условиях эрозионной опасности с использованием аэрокосмического зондирования. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. – 24 с.
61. Шуази Огюст. Всеобщая история архитектуры. – М.: ЭКСМО, 2008. – 704 с.
62. Chapin S. F., Shaver G. R. Changes in soil properties and vegetation following disturbance of Alaskan Arctic tundra // J. Appl. Ecol., 1981. Vol. 18, №2. P. 605–617.
63. Johnson E. R., Hegdal L. A. Permafrost-Related Performance of the Trans Alaska Oil Pipeline // Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost. University of Alaska Fairbanks, June 29–July 3. Edited by Douglas L. Kane and Kenneth M. Hinkel, 2008. Vol. 1. P. 857–865.
64. Smith S. L., Burgess M. M., Riseborough D. W. Ground Temperature and Thaw Settlement in Frozen Peatlands Along the Norman Wells Pipeline Corridor, NWT Canada: 22 Years of Monitoring // Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost. University of Alaska Fairbanks, June 29–July 3. Edited by Douglas L. Kane and Kenneth M. Hinkel, 2008. Vol. 2. P. 1665–1671.





---

## Глава III

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*Два мира есть у человека:  
Один, который нас творит,  
Другой, который мы от века  
Творим, по мере наших сил.*

Н. Заболоцкий

### III.1. Земная миссия человечества

#### III.1.1. Коэволюция социума и природной среды

На протяжении веков и тысячелетий, начиная со времен неолитической революции, человечество осваивает и обустроивает земную природу, превращая ее в свою среду – собственную «экологическую нишу». Длительный процесс формирования этой природно-антропогенной среды неизбежно вел к возникновению на нашей планете геоэкологической системы «природа-общество». Созидая природно-антропогенные ландшафты, социум и сам эволюционировал материально и духовно. К. Маркс в свое время писал: «Действуя на мир вне его, человек действует на собственную природу». Более развернуто суть векового взаимодействия человечества и природы охарактеризовал известный российский историк В. О. Ключевский: «Человек поминутно и попеременно то приспосабливается к окружающей его природе, к ее силам и способам действия, то их приспосабливает к себе самому, к своим потребностям, от которых не может и не хочет отказываться, и на этой двусторонней борьбе с самим собой и с природой вырабатывает и свою сообразительность и свой характер, энергию, понятия, чувства и стремление, а частью и свои отношения к другим людям. И чем более природа дает возбуждения и пищи этим способностям человека, чем шире раскрывает она его внутренние силы, тем ее влияние на историю окружающего его населения должно быть признано более сильным»... [4, с. 62].

Двуединство геоэкологической системы «природа-общество» влечет за собой сопряженное развитие ее подсистем. Природа и социум со временем начинают эволюционировать все более и более когерентно. На этом основании академик Н. Н. Моисеев счел возможным говорить о коэволюции человечества и природы [8, 9]. Особенно убедительно подобное заключение звучит, если говорить о новом и новейшем времени в истории человечества. *Ныне коэволюция социума и при-*

*роды стала характерным свойством ландшафтной оболочки.*

Некоторые исследователи оспаривают правомочность утверждений о «природно-антропогенной коэволюции», подчеркивая различия в скорости эволюционных процессов биосферы и земной цивилизации. При этом не принимается во внимание антропогенная эволюция биосферы, о чем писали и В. И. Вернадский, и многие другие естествоиспытатели. Очевидно, что по мере нарастания антропогенизации природы ее эволюционные процессы все более и более ускоряются, сближаясь с темпами развития земной цивилизации.

Ландшафтная неоднородность земной суши не могла не отразиться на региональной специфике коэволюции природы и человеческого общества. С первых же этапов хозяйственного освоения Земли она проявилась не только в метахронности, но и геоэкологической вариативности от места к месту. Иного не могло быть, ибо императив природно-хозяйственной адаптивности, хотя и не без огрехов и ошибок, в конечном счете, все же находил себе повсеместную реализацию. Девиз «приспосабливаясь, приспосабливаю» всегда был руководящим в коэволюции природы и человечества и воплощался в жизнь путем коадаптации хозяйства и природных ландшафтов. *Коэволюция геоэкологической системы «природа-социум» шла сопряженно с коадаптацией ее подсистем.*

Параллельно с антропогенным освоением ландшафтного многообразия земной суши происходило региональное обособление этнических культур, каждая из которых формировала свои разновидности этнических ландшафтов. Как следствие, *в природно-хозяйственную коэволюцию и коадаптацию была вовлечена и этнокультурная составляющая*, что в еще большей степени обусловило многоликость природно-антропогенных ландшафтов. Несмотря на современную глобализацию экономики и культуры, на Земле сохраняется и природное, и хозяйственное, и этническое многообразие рукотворных ландшафтов.

### III.1.2. Ландшафтно-экологические проблемы устойчивого развития земной цивилизации

Последние десятилетия XX в. ознаменовались осознанием нарастающей угрозы глобального экологического кризиса, главным фактором которого признана хозяйственная деятельность современного человечества. На многих международных форумах, проходивших под эгидой ООН (Рио-де-Жанейро – 1992 и др.), была поставлена задача поиска путей перехода земной цивилизации к «устойчивому развитию». *Устойчивым развитием решено считать такую систему природопользования, которая, удовлетворяя потребности ныне живущего населения Земли, сохраняет ее природный потенциал для обеспечения всеми необходимыми ресурсами последующие поколения.* Много ранее эту же мысль кратко, по-настоящему афористично сформулировал Д. П. Арманд, назвав свою книгу, посвященную охране природы, «Нам и внукам» [1].

Научной общественностью мира были приняты шаги с целью обоснования социально-экологической стратегии, которая могла бы обеспечить переход человечества к устойчивому развитию. В рамках поставленных задач всестороннему обсуждению и оценке подверглись известные концепции ноосферы (В. И. Вернадский), Геи (Дж. Лавлок), концепция биотической регуляции (В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев, В. М. Котляков, К. С. Лосев) и др. [10].

Ввиду того, что ноосферная концепция разрабатывалась В. И. Вернадским в первые десятилетия XX в. [2], когда экологические кризисы в системе «природа-социум» еще не выделялись сколько-нибудь опасными, академик Н. Н. Моисеев счел необходимым существенно переработать ее с позиций нашего времени – времени нарастания глобальных экологических угроз. *Если ранее в качестве главного и единственного фактора ноосферного процесса признавался научно-технический прогресс, то Н. Н. Моисеев был вынужден присовокупить к нему два базисных императива: экологический и нравственно-этический* [8, 9]. Только всесторонняя экологизация хозяйственной деятельности, наряду с социально-психологическим перерождением человечества и отказом от потребительского образа жизни могут, по его мнению, спасти земную цивилизацию. Исключительно технократический путь решения проблемы перехода к устойчивому развитию признается тупиковым, грозящим экологической катастрофой.

В трактовке Н. Н. Моисеева концепция ноосферы – сферы разума – приобрела принципиаль-

но иной смысл. Она стала не только глубоко экологичной, но по своей сути трансформировалась в концепцию сферы и разума, и духа в их неразрывном единстве. В ней прозвучали идеи, о которых не раз заявляли крупные мыслители прошлого. Так, более 200 лет назад основатель немецкой классической философии И. Кант (1724–1804) считал, что рассудочная способность человека обретает свойства разумности и мудрости только в единстве с нравственным долгом. В свою очередь П. А. Флоренский (1882–1937), русский религиозный философ и ученый, в одном из писем своему другу, В. И. Вернадскому напоминал, что человечество в ходе освоения мира породило не только сферу разума, но и сферу духа – пневмосферу [14]. Отделить их друг от друга невозможно. Они представляют неразрывное двуединство материальной и духовной культуры человечества.

Вопрос в том, сумеет ли современное общество в полной мере осознать новые ноосферные императивы, продиктованные глобальными экологическими угрозами и принять их в качестве руководящих в социально-экономической деятельности? Сможет ли человечество, перерасти от социума человека разумного до социума человека мудрого? Пока чего-либо по-настоящему обнадеживающего в этом отношении, похоже, не происходит. И в памяти всплывают мрачные пророчества одного из крупных натуралистов прошлого Ж.-Б. Ламарка (1744–1829): «Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар, непригодным для обитания».

Отсюда столь ответствен выбор ландшафтной стратегии перехода земной цивилизации к устойчивому развитию. После многих лет социоэкологических дискуссий, думается, определился некий консенсус на этот счет. *Признано, что устойчивого развития можно добиться не путем глобального превращения биосферы в ноосферу, о чем мечталось в начале XX в., а в результате сбалансированного сочетания в структуре ландшафтной оболочки, с одной стороны, совершенных, истинно культурных в геоэкологическом отношении природно-антропогенных геосистем, с другой – сохранившихся до нашего времени преимущественно естественных ландшафтов, надежно гарантирующих относительно стабильность окружающей среды за счет гомеостаза биосферы.*

В рамках сформулированной ландшафтно-экологической стратегии российским экологом Н. Ф. Реймерсом была предложена модель природно-хозяйственной организации европейской части России (табл. 21). Каждая из природных

Таблица 21  
Оптимальное соотношение интенсивно и экстенсивно эксплуатируемых земель (%) в европейской части России (по Н. Ф. Реймерсу [16], с незначительными изменениями автора)

Природные зоны (подзоны)	Промышленные и энергетические объекты, транспортные сети, населенные пункты, пахотные земли, интенсивно эксплуатируемые леса, луга и пастбища	Слабо эксплуатируемые природные земли: тундра, таежные леса, болота, плавни, пустынные пески, солончаки и другие неудобья
Арктическая пустыня, тундра, лесотундра	0–10	90–100
Северная и средняя тайга	10–20	80–90
Южная тайга	50–55	45–50
Смешанные леса	65–70	30–35
Широколиственные леса	70–75	25–30
Лесостепь	60–65	35–40
Степи	40–60	40–60
Полупустыня и пустыня	0–5	95–100
Влажные субтропики	10–20	80–90

зон несет в ней свое бремя хозяйственных нагрузок и экологической стабилизации среды. Разумеется, мы имеем дело лишь с грубой схемой, которая нуждается в более углубленной региональной ландшафтной проработке. Однако она ценна своей главной идейной установкой: сбалансированного сочетания в ландшафтной структуре регионов как геосистем, активно используемых в хозяйстве, так и преимущественно естественных или слабо эксплуатируемых.

В итоге можно констатировать: для перехода земной цивилизации к устойчивому развитию необходимо решить две взаимосвязанные ландшафтно-экологические задачи. Первая задача состоит в оптимизации всех существующих природно-антропогенных ландшафтов с целью превращения их в истинно культурные (ноосферные). Вторая – в сбережении, уходе и восстановлении естественных природных комплексов, с крайне осторожным (в случае острой необходимости) и строго лимитированным введением их в хозяйственный оборот. Решение первой из поставленных задач особенно актуально, и вместе с тем чрезвычайно сложно как в научном, так и в технико-экономическом отноше-

нии. Принципиальную роль здесь должна сыграть *геоэкологическая концепция культурного ландшафта* [12].

### III.2. Культурный ландшафт – ноосферная геоэкологическая система

В наше время существует несколько толкований понятия «культурный ландшафт». Иногда, как и в первой половине XX в. на заре ландшафтоведения – культурными ландшафтами именуются все хозяйственно трансформированные ландшафты. При этом термин «культурный ландшафт» рассматривается как синоним термина «антропогенный ландшафт». Однако в последние десятилетия определенно заявили о себе две современные концепции культурного ландшафта: геоэкологическая и историко-культурологическая (иногда именуется этнокультурной). Первая концепция носит преимущественно ноосферный характер, нацелена на решение проблем геоэкологической оптимизации природопользования и перехода земной цивилизации к устойчивому развитию [3, 11, 12, 15, 18]. Вторая – является ведущей в области изучения природного и культурного наследия, служит идейной основой сохранения элементов духовной и материальной культуры в ландшафтах исторического прошлого [6]. Выполняя различные функции, обе концепции культурного ландшафта дополняют друг друга.

С позиций геоэкологической парадигмы культурными принято считать не все природно-антропогенные ландшафты, а только те из них, которые действительно отвечают высоким экологическим требованиям рационального природопользования. Согласно А. Г. Исаченко, «...культурному ландшафту должны быть присущи два главных качества: высокая производительность и экономическая эффективность; оптимальная экологическая среда для жизни людей» [3, с.155]. В толковом словаре «Охрана ландшафтов» мы находим следующее определение понятия: «Культурный ландшафт – сознательно измененный хозяйственной деятельностью человека для удовлетворения своих потребностей, постоянно поддерживаемый человеком в нужном для него состоянии, способный одновременно продолжать выполнение функций воспроизводства здоровой среды» [13, с. 112]. Более лаконично, но в том же духе ха-

рактирует культурный ландшафт Н. Ф. Реймерс: «Ландшафт культурный – целенаправленно созданный антропогенный ландшафт, обладающий целесообразными для человеческого общества структурой и функциональными свойствами» [15, с. 62]. В. В. Сочава называл культурные ландшафты «доминионами ноосферы» [18]. Очевидно, что среди современных природно-антропогенных ландшафтов могут быть ландшафты различной степени геоэкологического совершенства. К истинно культурным ландшафтам, к сожалению, относятся далеко не все.

### III.2.1. Характерные свойства культурного ландшафта

*Культурный ландшафт, как и другие природно-антропогенные геосистемы, включает три основные составляющие, три подсистемы: природную, социальную и производственную.* Названные составляющие взаимодействуют посредством прямых и обратных вещественных, энергетических и информационных связей. Образование культурного ландшафта становится возможным тогда, когда это взаимодействие достигает полной гармонии. Гармоничность культурного ландшафта определяется прежде всего антропогенным фактором, способностью и стремлением социума вести экофильное, рациональное природопользование. Из сказанного вытекает непреложный вывод: *в культурном ландшафте социальная составляющая должна обладать высокой экологической культурой.*

Для того чтобы культурный ландшафт оптимально выполнял свойственные ему социально-экономические функции необходимо постоянное поддержание его производственно-экологического потенциала. В геоэкологии и социальной экологии это требование нашло отражение *в законе социально-экологического равновесия.* Суть его в следующем: «Общество развивается до тех пор и постольку, поскольку сохраняет равновесие между своим давлением на среду и восстановлением этой среды – природно-естественным и искусственным» [16, с. 147]. У Б. Коммонера на этот счет есть меткое высказывание: «ничто не дается даром». К нему он добавляет пояснение: «...глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть выиграно или потеряно, ...все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возвращено. Платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только отсрочен» [5, с. 32].

В свою очередь поддержание устойчивого функционирования культурного ландшафта, будь он сельскохозяйственным, городским или рекреационным, невозможно без организации постое-

янного контроля за его состоянием. Иными словами, *непрерывной частью культурного ландшафта должен быть мониторинг, главная цель которого – обеспечение текущей информацией систем управления культурным ландшафтом.*

*Культурный ландшафт – управляемая геосистема.* В природных ландшафтах регуляция всех процессов осуществляется естественными механизмами, выработанными в ходе длительной эволюции ландшафтной сферы. В природно-антропогенных ландшафтах саморегуляция замещается антропогенным управлением. Без него культурный ландшафт существовать не может. В случае прекращения или ослабления управления, ухода и охраны со стороны человека ландшафт деградирует, теряя способность выполнять заданные ему социально-экономические функции.

*Важнейшим условием сохранения ландшафтно-экологического потенциала земель следует считать строжайшее нормирование антропогенных нагрузок.* Превышение их пороговых значений всегда ведет к деградации ландшафта. Среди мер, специально направленных на антропогенную регуляцию ландшафтов, различают «мягкое» и «жесткое» управление. «Мягкое» управление направлено на мобилизацию природных сил самого ландшафта для поддержания его устойчивости. Оно производится путем воздействия главным образом на биоту и природные воды. Эти компоненты ландшафта легче других поддаются искусственным изменениям и служат эффективными рычагами его управления. Естественная и культурная растительность, водоемы – главные элементы экологического каркаса культурных ландшафтов. «Жесткое» ландшафтное регулирование производится, как правило, путем строительства инженерно-технических сооружений: гидроузлов, плотин, шлюзов, каналов, всевозможного рода защитных объектов в виде дамб, плотин, волноломов, водоотводов, подпорных стенок, водосливных лотков и т. п. Они способны защищать от разрушительных природных процессов города, поселки, железные и шоссейные дороги, промышленные и энергетические объекты, рекреационные комплексы и др.

*Здоровая, экологически благоприятная среда обитания – еще одно характерное свойство культурного ландшафта.* Не может быть ландшафт культурным, если он непригоден для нормального, безопасного проживания в нем человека. Как бы ни был благоустроен городской ландшафт, если его воздушный бассейн насыщен выхлопными газами автотранспорта, выбросами промышленных и энергетических предприятий, его невозможно отнести к культурным ландшафтам. Как бы ни было эффективно растениеводство, если оно сопровождается накоплением нит-

ратов и ядохимикатов (пестицидов) в нижних звеньях агроландшафтной катены, этот ландшафт далек от культурного.

Особые требования предъявляются и к внешнему облику культурного ландшафта – его пейзажу. Проще говоря, *культурный ландшафт должен быть красив*. В древнегреческой натурфилософии как бесспорная истина признавалось: красивое есть полезное (Сократ). В полном согласии с античными мыслителями Д. Л. Арманд призывал сохранять красоту естественной и рукотворной природы, в том числе и в целях эстетических, воспитательных, ибо со временем она должна «обернуться и материальной прибылью» [1, с. 224].

*Итак, главные свойства культурного ландшафта как ноосферной геоэкологической системы состоят в гармонизации природной, социальной и производственной подсистем; оптимальном и устойчивом функционировании; минимизации деструктивных процессов; благоприятной среде обитания человека; наличии постоянного мониторинга и антропогенной регуляции, высоком художественном достоинстве пейзажного облика.*

В современном мире есть немало ландшафтов, действительно культурных в геоэкологическом отношении. Среди них сельскохозяйственные, лесохозяйственные, рекреационные ландшафты Западной Европы и Северной Америки, рисовые и чайные плантационные ландшафты юго-восточной Азии, агроландшафт Каменной степи, созданный по проекту В. В. Докучаева в черноземном центре европейской части России, голландские польдеры, садово-парковые ансамбли Китая, Японии, Западной Европы, России. В бережном сотрудничестве с природой люди способны создавать по-настоящему культурные ландшафты, которые достойны стать частью ноосферы – сферы устойчивого развития человечества.

### III.2.2. Принципы и правила культурного ландшафтного строительства

Проектирование и строительство культурных ландшафтов предполагает строгое соблюдение целого ряда ландшафтно-экологических принципов и правил.

*Принцип природно-хозяйственной адаптивности* нацеливает на определенное сближение структуры и функционирования антропогенного ландшафта с особенностями местного природного ландшафта. Оптимальная вложенность, вписанность хозяйственных объектов в морфологическую структуру естественного ландшафта – один из признаков культурного ландшафта.

Принцип природно-хозяйственной адаптивности предполагает поиск таких технологий природопользования, которые позволяют сделать производство в культурном ландшафте малоотходным. Многие из подобных технологических мер составляют суть геоники (термин Т. В. Звонковой), цель которой – структурное и функциональное сближение культурных ландшафтов с природными геосистемами. Примером могут служить биологические системы земледелия, которые вводятся в качестве альтернативных современному, чрезмерно химизированному растениеводству.

*Один из законов ландшафтного проектирования – закон необходимого разнообразия природно-хозяйственных геосистем.* Существование и функционирование любой системы возможно лишь тогда, когда в ее составе участвуют и взаимодействуют неоднородные, но взаимодополняющие элементы. Ненарушенный естественный ландшафт всегда отвечает этому закону. Упрощение структуры ландшафта, которое часто происходит в процессе его хозяйственного освоения, далеко не безобидно. Оно, как правило, влечет за собой его дестабилизацию.

Поэтому столь необходима структурная и функциональная диверсификация культурного ландшафта. Подобный императив перекликается с известными положениями теории управления, согласно которой управляющая система тогда способна справиться с возложенной на нее задачей, когда ей придается организация адекватная по разнообразию структуре управляемого объекта [19]. Применительно к ландшафтному проектированию закон интерпретируется следующим образом: *природно-антропогенный ландшафт тем лучше поддается управлению, чем ближе его территориальная и временная организация приспособлена к морфологии и динамике исходного природного ландшафта.*

В структуре культурного ландшафта обязательно присутствие и взаимодействие как производственных, так и природоохранных геосистем. *Без экологического каркаса существование культурного ландшафта невозможно.* Обычными элементами экологического каркаса в сельскохозяйственных, городских, рекреационных ландшафтах являются разного рода зеленые насаждения и водоемы. Экологический каркас культурного ландшафта должен представлять единую сеть экологических ниш (ядер) и экологических коридоров. Тем самым в нем создаются условия, обеспечивающие благоприятное существование целостного биогеоценоза.

Как и прочие структурные элементы культурного ландшафта, его экологический каркас адаптивно вписывается в морфологию местного ландшафта. Шаблоны здесь нежелательны. Можно

лишь сформулировать общее правило: все переходные (экотонные) зоны, возникающие на контактах разнородных элементов ландшафта, необходимо отводить под земли экологического каркаса. В сельскохозяйственных ландшафтах к ним относятся рубежи разного рода угодий, подверженные деструктивным процессам: крутосклонные, приоровочные, прирусловые позиции; в городских ландшафтах – сочленения промышленных, селитебных и рекреационных территорий.

*Культурный ландшафт всегда функционально зонирован.* Под функциональным зонированием хозяйственно освоенного ландшафтного пространства понимается его членение на геосистемы, предназначенные для выполнения определенных социально-экономических функций. Для современного городского ландшафта характерны, например, следующие типы функциональных зон: селитебная (жилая), административно-культурная, промышленная, рекреационная (парки, лесопарки, скверы, пляжи), лечебно-оздоровительная (детские сады, родильные дома, поликлиники, больницы, дома для престарелых), транспортная, коммунально-складская.

Хотя в различных по социально-экономическому назначению природно-антропогенных ландшафтах функциональное зонирование специфично, при его планировании необходимо следовать правилу функциональной поляризации [17]. *Функциональная поляризация – одно из важных свойств культурного ландшафта. Она реализуется путем максимально возможного пространственного разобщения экологически опасных промышленно-энергетических и транспортных зон, с одной стороны, и средообразующих – селитебных, рекреационных, лечебно-оздоровительных – с другой.* Цель поляризации: предотвращение или ослабление загрязняющего воздействия производственных, энергетических, транспортных объектов на смежные территории жилых и рекреационно-оздоровительных комплексов. Защитный эффект функциональной поля-

ризации возрастает при разделении названных групп функциональных зон буферными зонами экологического каркаса. Параллельно необходимо учесть «правила вектора», согласно которому *распространение полей загрязнения в значительной степени зависит от направления господствующего переноса воздушных масс, поверхностного и подземного стока, антропогенного перемещения промышленных и бытовых отходов.*

Наконец, *непрерывным элементом проектирования культурного ландшафта становится ландшафтный дизайн – обустройство ландшафта по законам эстетики.* Дизайн необходим для всех видов природно-антропогенных ландшафтов, включая сельскохозяйственные и промышленные.

Важнейшим инструментом проектирования культурного ландшафта признано *ландшафтное планирование.* Его суть в научном обеспечении оптимальной природно-хозяйственной организации ландшафтного пространства на принципах геоэкологической адаптивности. Главенствующую роль в ландшафтном планировании играет экологический императив, согласно которому приоритетными признаются: высокая культура землепользования, забота и уход за ландшафтом, охрана природной среды и поддержание ее экологического благополучия. В одном из современных руководств ландшафтное планирование определяется как «совокупность методических инструментов и процедур, используемых для построения такой пространственной организации деятельности общества в конкретном ландшафте, которая обеспечивала бы устойчивое развитие и сохранение основных функций этого ландшафта как системы поддержания жизни» [7, с. 9].

*Строительство культурных (ноосферных) ландшафтов должно стать одним из важнейших условий перехода земной цивилизации к устойчивому развитию.* Только тогда Земля превратится в «планету людей» – мудрых хозяев своего «космического дома».

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Арманд Д. Л.* Нам и внукам. М.: Мысль, 1966. 254 с.
2. *Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. Книга вторая. М.: Наука, 1977. 192 с.
3. *Исаченко А. Г.* Оптимизация природной среды М.: Мысль, 1980. 264 с.
4. *Ключевский В. О.* Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 1.
5. *Коммонер Б.* Замыкающийся круг: природа, человек, технология. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 274 с.
6. Культурный ландшафт как объект наследия. М.: СПб.: Дмитрий Буланов, 2004. 613 с.
7. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии. М.: Товарищество научн. изданий КМК, 2006. 240 с.
8. *Моисеев Н. Н.* Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990. 351 с.
9. *Моисеев Н. Н.* Современный антропогенез и цивилизационные разломы (эколого-политологический анализ). М.: МНЭПУ, 1994. 48 с.
10. *Николаев В. А.* Концепция ноосферы: история и современность // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1996. № 2. С. 11–18.
11. *Николаев В. А.* Культурный ландшафт – геоэкологическая система // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 6. С. 3–8.
12. *Николаев В. А.* Геоэкологическая концепция культурного ландшафта (в свете проблем перехода к устойчивому развитию) // География, общество, окружающая среда. Том II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Издательский дом «Городец», 2004. С. 268–276.
13. Охрана ландшафтов. Толковый словарь / Под ред. В. С. Преображенского. М.: Прогресс, 1982. 272 с.
14. Переписка В. И. Вернадского и П. А. Флоренского // Новый мир. 1989. № 2. С. 194–203.
15. *Реймерс Н. Ф.* Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 640 с.
16. *Реймерс Н. Ф.* Экология. Теория, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Молодая Россия, 1994. 367 с.
17. *Родман Б. Б.* Поляризованная биосфера. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.
18. *Сочава В. Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
19. *Эйби. У. Р.* Введение в кибернетику. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 430 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>Глава I. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ</b> .....	4
I.1. Исходные положения и понятия .....	4
I.2. История развития промышленных ландшафтов .....	5
I.2.1. Старопромышленные ландшафты .....	5
I.2.2. Индустриальные ландшафты .....	5
I.2.3. Постиндустриальные, экологизированные ландшафты .....	6
I.3. Геоэкологическая концепция промышленного ландшафта .....	6
I.3.1. Структура и функционирование геотехнических систем промышленного типа .....	7
I.3.2. Промышленные ландшафты – нуклеарные геосистемы .....	8
I.4. Типы промышленных ландшафтов .....	10
I.4.1. Промышленные ландшафты присваивающего типа .....	10
I.4.2. Рекультивация техногенных ландшафтов горнодобывающей промышленности .....	13
I.4.3. Промышленные ландшафты производящего типа .....	14
I.5. Изменения природной среды под воздействием промышленного производства .....	17
I.5.1. Закономерности поступления и рассеивания промышленных выбросов в атмосфере .....	18
I.5.2. Роль промышленного водопотребления и сточных вод в функционировании аквальных геосистем .....	19
I.5.3. Техногенное загрязнение природной среды .....	23
I.5.4. Трансформация природных ландшафтов в районах размещения тепловых электростанций .....	25
I.6. Ландшафтно-экологические основы планирования и проектирования промышленных ландшафтов .....	28
I.6.1. Принципы и подходы .....	28
I.6.2. Экологический каркас и санитарно-защитные зоны промышленных ландшафтов .....	29
I.6.3. Зеленые насаждения в промышленных регионах .....	32
Литература .....	35
<b>Глава II. ТРАНСПОРТНЫЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</b> .....	36
II.1. Транспортные пути в истории земной цивилизации .....	36
II.1.1. Дороги доиндустриального времени .....	36
II.1.2. Из истории железнодорожного строительства .....	38
II.1.3. Развитие автомобильных дорог .....	40
II.1.4. Трубопроводы и ЛЭП .....	41
II.2. Современные транспортные пути – линейные геотехнические системы .....	42
II.2.1. Инженерно-техническая характеристика транспортных геосистем .....	43
II.2.2. Влияние транспортных геосистем на географическую среду .....	49
II.2.3. Концептуальная модель транспортной геосистемы .....	51
II.3. Ландшафтно-экологические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных геосистем .....	52
II.3.1. Задачи предпроектного и проектного этапов .....	53
II.3.2. Ландшафтно-экологические требования на этапе строительства .....	63
II.3.3. Эксплуатация и функционирование транспортных геосистем .....	64
II.4. Функционирование транспортных геосистем в сложных физико-географических условиях .....	69
II.4.1. Транспортные геосистемы в криолитозоне .....	69

---

II.4.2. Транспортные геосистемы в пустынях .....	71
II.4.3. Транспортные геосистемы в горных районах .....	72
Литература .....	77
<b>Глава III. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНОГО     СТРОИТЕЛЬСТВА .....</b>	<b>80</b>
III.1. Земная миссия человечества .....	80
III.1.1. Коэволюция социума и природной среды .....	80
III.1.2. Ландшафтно-экологические проблемы устойчивого развития земной цивилизации .....	81
III.2. Культурный ландшафт – ноосферная геоэкологическая система .....	82
III.2.1. Характерные свойства культурного ландшафта .....	83
III.2.2. Принципы и правила культурного ландшафтного строительства .....	84
Литература .....	86

*Учебное издание*

***Николаев Владимир Александрович  
Казakov Лев Константинович  
Украинцева Наталия Георгиевна***

**ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ,  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Учебное пособие*

---

Редактор В. А. Стряпчий  
Верстка Т. Г. Леввич  
Корректор Л. С. Горюнова

Подписано в печать 11.11.2012. Формат 60x90/16. Печать РИЗО.  
Усл. печ. л. . Тираж 300 экз. Заказ № .  
Отпечатано в Полиграфическом отделе географического факультета.  
119991, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет.