

**А. Б. Дягилева**

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ  
КОМПЛЕКСАМИ**

**Часть 1**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
2024**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики**

**А. Б. Дягилева**

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ  
КОМПЛЕКСАМИ**

**Часть 1**

**Учебное пособие**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2024

УДК 574:351:65.01:62.5

ББК 18.10.4

Д991

*Рецензенты:*

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт»

*Е. Н. Волкова;*

кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

*О. А. Шанова*

**Дягилева, А. Б.**

**Д991** Экологическое управление территориально-производственными комплексами. Часть 1: учеб. пособие / А. Б. Дягилева. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 136 с.

ISBN 978-5-91646-398-9

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Экологическое управление территориально-производственными комплексами» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль подготовки «Защита окружающей среды территориально-производственных комплексов».

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части изложена методология организации и функционирования территориально-производственных комплексов в соответствии с теоретическими и практическими механизмами перехода на управляемые природно-технические системы различного уровня с учетом современных экологических проблем регионов. Приведены примеры расчета устойчивости территорий к антропогенной нагрузке с учетом ранжирования территорий.

Пособие предназначено для подготовки магистров очной и заочной форм обучения. Отдельные разделы пособия могут быть полезны аспирантам и специалистам, работающим в области экологического проектирования.

УДК 574:351:65.01:62.5

ББК 18.10.4

ISBN 978-5-91646-398-9

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

© Дягилева А. Б., 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	6
1. МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ И МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	10
1.1. Фундаментальные законы, принципы, правила .....	11
1.2. Биосферные и экосистемные законы .....	14
1.3. Законы взаимодействия организмов и окружающей среды	
1.4. Иерархия природно-технических систем и особенности их функционирования .....	24
1.5. Зональность биогеохимических процессов в системе управления природно-территориальными комплексами .....	27
1.5.1. Биогеохимическая зональность водных объектов и суши .....	28
1.5.2. Геохимическая неоднородность биосферы, природных зон и природно-территориальных комплексов .....	32
1.5.3. Элементарная экогеосистема (элементарный ландшафт) и геохимические процессы в ней .....	36
1.6. Техногенез в системе формирования природно-технических систем .....	39
2. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ФУНКЦИИ .....	46
3. УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	52
3.1. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов .....	59
3.2. Индексы устойчивости природных и природно-технических систем, ранжирование территории по критериям преобразованности .....	63
4. КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ .....	74
4.1. Энергетическая трилемма в системе устойчивого развития ПТС .....	77
4.2. Устойчивость на региональном уровне на примере «зеленых» европейских таксономий .....	80
4.3. Внедрение ESG-рейтингов в систему реализации российского бизнеса как организаторов новых единиц ПТС .....	83
5. ЭКОСИСТЕМНЫЕ И ТЕХНОСФЕРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ .....	87
5.1. Экологическая оценка ПТК по экосистемным показателям качества .....	97
5.2. Оценка устойчивости территории к антропогенной нагрузке на основе балльных критериев устойчивости .....	111
5.3. Формирование индекса качества городских агломераций и его использование в системе управления ПТС .....	117
6. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ ЧЕРЕЗ УПРАВЛЯЕМЫЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ .....	121
6.1. Обобщенный вариант процесса создания экологически управляемых ПТК и их совмещение с цифровой платформой .....	123
6.2. Совмещение управляемых ПТК с цифровой платформой как этап перехода к экономике замкнутого цикла .....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	130
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	135

## ВВЕДЕНИЕ

*«Расплата в этом мире наступает всегда.  
Есть два генеральных прокурора: тот, кто  
наказывает за преступления против общества,  
другой – природа. Ей известны все пороки,  
ускользающие от законов».*

Д. Дидро

*«Исследование природы трудно, однако приятно,  
полезно и свято».*

М. В. Ломоносов

На практике решение значительной части проблем в области экологического управления территориально-производственными комплексами сводится к поиску ответа на вопросы: Как оценить негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), связанное с эксплуатацией существующей техники и укладом жизни общества на современном этапе? Что гарантирует переход к наилучшим вариантам технологических решений, существующих на данном этапе развития техносферы, и гарантируют ли они снижение риска при подобном способе организации производства и территории до минимума, чтобы обеспечить ее устойчивое развитие в рамках допустимого уровня риска?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, необходимо ясно представлять механизмы оценки антропогенной нагрузки на территорию для разработки управленческих решений, в каких условиях формируется техносферная безопасность территории в комплексе с экологическими, технологическими и социальными требованиями общества, проживающего на конкретной территории.

Современные технические объекты существуют не как абстрактные понятия в цифровой системе экономики, а как реальные компоненты природно-технических систем. По этой причине адекватная оценка рисков должна осуществляться на системном уровне, а конкретные управленческие решения должны приниматься технически грамотным персоналом в системе территориального (муниципального, регионального, федерального) управления. В связи с этим, исследование структурно-функциональной организации природно-технических систем не только позволяет объективно оценивать риски нежелательных явлений и их последствия, но и разрабатывать решения опережающего цикла по организации территории и создавать принципиально новые управляемые природно-технические системы нового поколения. Эти подходы должны освоить современные грамотные природопользователи любого уровня. Особенно это актуально для освоения новых территорий и реорганизации урбанизированных территорий, которые функционируют в стрессовом режиме, но должны перейти к динамичному развитию и вписаться в экономику замкнутого цикла.

Понимание в направлении создания управляемых природно-технических систем весьма перспективно в плане разработки инновационных решений в области обеспечения техногенной безопасности и при переходе к осознанному устойчивому развитию территории. Вместе с тем, реализация этой задачи на

практике требует изучения широкого круга проблем, многие из которых ранее не попадали в сферу внимания специалистов. Поэтому основная цель учебного пособия заключается в расширении кругозора обучающихся и повышении уровня их профессиональных навыков.

Каждый профессиональный руководитель должен понимать, что законы экологии справедливы для человека так же, как и для любого другого организма биосистемы. В их понимании заложены механизмы выбора экологических регуляторов для природно-технических систем. Охранять и управлять природными системами – значит правильно, экологически корректно ею пользоваться.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Биологическая система** – это структура (клетка, организм, сообщество организмов и т. п.), выполняющая некоторые функции (биохимическую, физиологическую, биоценотическую и т. п.), которая взаимодействует со средой и другими системами как единое целое, состоит из подсистем более низкого уровня (ранга), непрерывно перестраивает свою деятельность по каналам обратной связи и проявляет свойства самоорганизация. Поэтому негативное воздействие (разрушение) подсистем одного уровня может привести к разрушению всей системы.

**Изолированная (замкнутая) система** характеризуется отсутствием обмена энергией и веществом с окружающей средой

**Инженерно-экологические условия** – совокупность характеристик компонентов и факторов окружающей среды (ландшафта, природных и природно-антропогенных процессов, состояния почв (или грунтов), атмосферного воздуха, природных вод, донных отложений, биоты и биотопов, факторов химического, биологического, радиационного и физического воздействия), социально-экономических факторов, влияющих на градостроительную и иную деятельность.

**Закрытая система** (или условно закрытая) – это система, обменивающаяся с окружающей средой энергией, но не веществами (пример – любая космическая система, отдельная планета).

**Зона с особым режимом природопользования** (экологических ограничений) – участок территории суши и (или) акватории, на котором ограничивается природопользование согласно законодательству Российской Федерации.

**Климакс экосистемы** – «финальная» сукцессионная стадия развития биогеоценозов для данных условий существования, т. е. относительно устойчивая, не изменяющаяся в течение многих десятилетий фаза естественной биогеоценотической сукцессии (например, тайга, целинные степи и т. п.), наиболее соответствующая экологическим характеристикам данной местности в определенный период геологического времени.

**Негэнтропия** – величина, обратная энтропии – мера удалённости от состояния энергетического равновесия; характеризует способность системы совершать работу. Живые системы обладают значительной негэнтропией.

**Особо охраняемые природные территории (ООПТ)** – участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны.

**Освоенная территория** (в соответствии с СП 502.1325800.2021– участок территории суши и (или) акватории, на котором осуществлялась в прошлом или

осуществляется на данный момент антропогенная деятельность, оказывающая воздействие на компоненты окружающей среды

**Открытая система** – система, вещественный запас и запас которой изменяется вследствие материальных и энергетических поступлений и потерь при взаимодействии со средой. Большинство природных систем носит открытый характер.

**Почвенная съемка** – исследование почв в целях составления почвенной карты, отображающей распределение различных типов почв в границах территории инженерно-экологических изысканий.

**Природный территориальный комплекс (ПТК)** – территория, обладающая определённым единством природы, обусловленным общим происхождением и историей развития, своеобразием географического положения и действующими в её пределах современными процессами. Одновременно ПТК – закономерное сочетание географических компонентов или комплексов низшего ранга, образующих системы разных уровней – от географической оболочки до фации (ландшафта). Различают ПТК полные, включающие все 6 компонентов окружающей среды, и неполные, например, в рамках одной сферы – водный биоценоз.

**Природно-техническая система (ПТС)** представляет собой целостную, упорядоченную в пространственно-временном отношении совокупность природных и техногенных элементов, функционирующих как единая система. Она включает в себя орудия, средства производства, естественные и искусственно измененные природные тела, а также естественные и искусственные поля. В состав ПТС входит достаточно конкретная часть окружающей природной среды, находящаяся в зоне влияния ТС. Влияние во многом зависит от вида ТС. Оно может проявляться в разнообразных геологических, гидрологических, атмосферных и биологических процессах.

**Природно-промышленная система (ППС)** представляет собой совокупность подсистем производства, потребления и их связи с окружающей средой.

**Преобразованная среда обитания** – это территория, которая может содержать большую часть видов растений и/или животных неаборигенного происхождения и/или где в результате деятельности человека существенно изменены первичные экологические функции данной территории и видовая структура. Преобразованные среды обитания могут включать районы, используемые в сельскохозяйственных целях под лесопосадки, в качестве рекультивированных прибрежных зон и рекультивированных водно-болотных угодий. Рекультивация в данном контексте представляет собой процесс создания новых участков суши в прибрежных или других водных зонах для их продуктивного использования (Стандарт IFC, 2012). К ним могут относиться в том числе намытые острова и рекультивированные полигоны ТБО.

**Промышленный кластер** – совокупность субъектов деятельности в сфере промышленности, связанных отношениями в указанной сфере вследствие территориальной близости и функциональной зависимости и размещенных на

территории одного субъекта Российской Федерации или на территориях нескольких субъектов Российской Федерации (ФЗ № 488-ФЗ).

**Система** – саморазвивающаяся и саморегулирующаяся определенным образом упорядоченная материально-энергетическая совокупность, существующая и управляемая как относительно устойчивое единое целое за счет взаимодействия, распределения и перераспределения имеющихся веществ, энергии, информации, и обеспечивающая преобладание внутренних связей (в том числе перемещений, вещества, энергии и передачи информации) над внешними (Н. Ф. Реймерс, 1990).

**Сукцессия** – последовательная смена биоценозов, преемственность возникающих на одной и той же территории под влиянием природных и техносферных факторов.

**Территория природная (ТП)** – то же, что резерват природный, местность, не затронутая деятельностью человека (Н. Ф. Реймерс, 1990).

**Территориально-производственный комплекс (ТПК)** – сочетание технологически и экономически взаимосвязанных различных производственных систем (или кластеров), расположенных на определенной территории и комплексно (рационально) использующих её ресурсы

**Техногенез** – это процесс трансформации окружающей среды, обусловленный прямыми или косвенными воздействиями различного характера, связанными с функционированием отдельных хозяйствующих субъектов и их комплексов, а также с существованием бесхозных, недействующих техногенных объектов (А. Л. Суздалева, 2014). **Источник техногенеза** – объект или группа технических объектов, обуславливающих устойчивое изменение характера окружающей среды (ее техногенез). **Зона техногенеза** – участок территории или акватории, в котором последствия прямого воздействия вида человеческой деятельности или определенной совокупности их видов (как негативного, так и позитивного характера) достигают значимого уровня. **Аспект техногенеза** – любой элемент техногенеза, способный оказать значимое негативное или позитивное воздействие на состояние окружающей среды.

**Технологическая подсистема (ТС)** или промышленная подсистема – это совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как единое целое аппаратов и коммуникаций, в которых осуществляется комплекс последовательных технологических операций.

**Техносфера (Т)** – 1) часть биосферы, преобразованная людьми с помощью прямого и косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия социально-экономическим потребностям человечества; при существенном ограничении – глобальном ограничении – глобальной рациональности преобразовании с учетом задачи сохранения того типа биосферы, который необходим для жизни и развития человечества, техносфера потенциально становится частью *ноосферы*; 2) практически замкнутая будущая регионально-глобальная технологическая система утилизации / реутилизации вовлеченных в хозяйственный оборот природных ресурсов, рассчитанная на изоляцию хозяйственной-производственных циклов от природного обмена

веществ и потока энергии. В этом случае возможная составляющая часть будущей ноосферы (Н. Ф. Реймерс, 1990).

**Равновесный процесс** – процесс с динамическим равенством притока и оттока вещества, энергии и информации, поддерживающий экосистему в качественно определенном состоянии или ведущий к закономерной смене одной системы другой (прототип устойчивого развития).

**Управление территориальным развитием** – это специально организуемые системные действия, направленные на обеспечение устойчивого и сбалансированного воспроизводства социального, хозяйственного и природного потенциалов территории при позитивной динамике параметров уровня и качества жизни населения.

**Устойчивость вида** – изменение числа особей вида на протяжении определенного отрезка времени, не приводящее к изменению роли этого вида в системе.

**Устойчивость агроландшафта** – это способность ландшафта (почвы, агрофитоценозов) воспринимать антропогенные нагрузки, сохраняя экологическую и производительную устойчивость (т. е. без деградации земель и всей окружающей среды).

**Устойчивость системы** – способность системы оставаться относительно неизменной в течение определенного периода времени вопреки внешним и внутренним возмущениям.

**Экологическая система (экосистема)** – в соответствии с ГОСТ Р 57007–2016 – объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые организмы (растения, животные и др.) и неживые ее компоненты взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществ, информацией и энергией.

**Эколого-геохимическая устойчивость** – это способность почв (природных систем) нейтрализовать отрицательные эффекты воздействия техногенных веществ или потенциал сохранения данной природной системой режима функционирования (М. А. Глазовская).

**Энтропия (S)** – мера необратимого рассеивания энергии системой, или мера ее энергетической неупорядоченности, или мера перехода всей энергии в тепловую, т. е.  $S$  – это величина связанной энергии, приходящаяся на единицу температуры (по шкале Кельвина) Дж  $K^{-1}$ .

**Энергия** – количественная мера движения материи, интенсивности различных форм перемещения и взаимодействия частиц в системе, включая перемещение систем в целом и их взаимодействие с окружающей средой.

# 1. МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ И МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методология – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. Методология науки – учение о принципах построения, формах и способах научного познания. Методология управления ПТС – это соподчиненность исследовательских методов, практик и технологий на основе фундаментальных законов при организации целенаправленной безопасной деятельности человека в рамках ПТС.

Такое определение однозначно детерминирует предмет методологии – организация деятельности человека в части управления ПТС, процесса техногенеза этих систем и перевода их в климакическое состояние для данных условий существования, т. е. относительно устойчивое, что можно отнести к принятому понятию устойчивого развития территории.

В основе экологического управления природно-технических систем лежат естественные законы и принципы развития экосистем, а также экологическое мировоззрение руководителей различного уровня в общей иерархии управления, на плечах которых лежит принятие конкретных технических решений. Современное мышление управления базируется на обязательном знании законов экологии. Этих законов достаточно много: в современных справочниках и учебных пособиях приводится около трехсот формулировок важнейших биологических законов, правил, принципов, образующих теоретическую базу общей и прикладной экологии. Для грамотной деятельности специалистов в сфере экологического управления природно-технических систем теоретический аппарат более ограничен, но это не значит, что он не дополняется современными знаниями.

Он включает в основном положения, касающиеся, с одной стороны, закономерностей функционирования биосферы (техносферы), а с другой – объективных экологических последствий нерационального природопользования.

Как уже отмечалось, каждый профессиональный руководитель любого ранга должен понимать, что законы экологии справедливы для человека так же, как и для любого другого организма и системы, частью которой он является. Охранять и управлять природными системами – значит правильно, экологически корректно организовать систему ее эксплуатации с рациональным использованием ресурсов. Человек сегодня должен научиться жить исключительно на дивиденды от рационального использования воспроизводимых природных ресурсов.

Связь между экологическими законами (правилами) и законами социально-экономического развития (управления) современных ПТС устанавливается на основе фундаментальных законов физики: закона сохранения массы и второго начала термодинамики. Для понимания принципов экологического управления ПТС напомним двадцать наиболее важных из них, которые известны из курса экологии.

## 1.1. Фундаментальные законы, принципы, правила

Для освоения курса необходимо напомнить основные фундаментальные, биосферные и экосистемные законы, которые активно используются при организации системы управления ПТС.

### 1. Второе начало термодинамики

Невозможен самопроизвольный процесс, при котором теплота переходила бы от тел более холодных к телам более нагретым.

Другие формулировки: 1) в замкнутой (изолированной) в тепловом и механическом отношении системе энтропия (как мера неупорядоченности) либо останется неизменной (при обратимых равновесных процессах), либо возрастает (при неравновесных процессах), достигая максимума в состоянии равновесия системы; 2) потеря энергии в виде недоступного для использования тепла всегда приводит к невозможности полного перехода одного вида энергии (кинетической) в другую (потенциальную) и наоборот.

*Биологические следствия:*

1. Живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию в процессе жизнедеятельности или производит положительную энтропию, приближая, таким образом, к состоянию максимальной энтропии, адекватную смерти. Избежать этого состояния организм может, только постоянно извлекая из окружающей среды отрицательную энтропию (негэнтропию) в виде энергии питательных веществ пищи (теорема Э. Шредингера).

2. Повышение упорядоченности антропогенных систем биосферы возможен только за счет изъятия негэнтропии (в виде ресурсов) из природных систем и сопровождается неупорядоченностью (энтропией) последних (экосистемный закон компенсации энтропии и негэнтропии в биосфере).

Примером проявления данного следствия может являться вырубка стабильных, высокоупорядоченных во времени и пространстве лесных экосистем или их уничтожение в виде лесного пожара. На этой территории экосистема будет обладать низкой продуктивностью, снижается использование солнечной энергии, нарушается почвенный покров, на песчаных почвах возможно опустынивание, на избыточно влажных – заболачивание, т. е. фактически возрастает неупорядоченность из-за невозможности получения генэнтропии.

3. Все живые системы никогда не бывают в равновесии и используют за счет своей свободной энергии постоянную работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях (*принцип устойчивого неравновесия Э. С. Брауэра*).

4. Многостадийные химические процессы основного обмена веществ, протекающие как по эндо-, так и по экзотермическому типу и изменяющие структуру химических связей, способны использовать низкокачественную тепловую энергию для производства высококачественной ее формы, т. е. уменьшать энтропию, увеличивать негэнтропию, а, следовательно, повышать

организованность системы за счет возрастания энтропии в окружающей среде (*принцип преобразования энергии*).

5. Жизненные процессы в биосфере обеспечиваются только за счет непрерывного поступления солнечной энергии, трансформируемой и аккумулируемой (запасаемой) против градиента рассеивания в процессе фотосинтеза, осуществляемого хлорофильными организмами – автотрофами.

6. Любая экологическая система (биогеоценоз) может функционировать и развиваться только за счет использования *материально-энергетических и информационных поступлений* (дотаций) из окружающей внешней среды, ***абсолютно изолированное саморазвитие невозможно*** (*закон развития систем за счет окружающей среды*).

7. Жизнь может существовать только в процессе движения через живое тело потока веществ, энергии и информации; прекращение движения в этом потоке прекращает жизнь (*закон сохранения жизни Ю. Н. Куражковского*).

8. Энергия, получаемая сообществом (экосистемой) и усваиваемая продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой передается консументами первого, второго и т. д. порядков, а затем редуцентами с падением потока на каждом трофическом уровне в результате процессов, сопровождающих дыхание (*закон однонаправленности потока энергии*).

## ***2. Закон максимизации энергии и информации***

Наилучшими возможностями для самосохранения обладают системы, в наибольшей степени способствующие поступлению, выработке и эффективному использованию энергии и информации (*закон Г. и Э. Одумов*).

В основе данного закона находятся два биогеохимических принципа В. И. Вернадского: геохимическая биогенная энергия стремится к максимальному проявлению, и при эволюции видов выживают те организмы, которые своей жизнью увеличивают биогенную геохимическую энергию. Эти принципы сегодня являются актуальными для формирования информационных потоков для управления ПТС.

## ***3. Закон минимума диссипации (рассеивания) энергии***

При вероятности развития процесса в некотором множестве направлений, допускаемых началом термодинамики, реализуется то, которое обеспечивает минимум диссипации при движении системы в стационарное состояние (или минимум роста энтропии) (*принцип Л. Онсагера*).

Оба закона – 2 и 3 – рассматриваются как зеркальное отражение друг друга, они имеют принципиальное значение для понимания и управления такими процессами, как эволюция и сукцессия экосистем, смена пород в лесных экосистемах, особенно при организации управляемого природопользования лесосеки, в том числе при промышленной их эксплуатации. Их целесообразно рассматривать совместно с законами сукцессионного замещения и последовательного прохождения фаз развития.

#### ***4. Принцип подвижного равновесия***

Изменение внешних условий (температуры, давления) физико-химической равновесной системы вызывает в ней реакции (*принцип А. Л. Ле Шателье*).

Другими словами, вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем (в том числе экосистем) и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств систем, где эти изменения происходят, или в их иерархии (*закон Н. Ф. Реймерса*).

*Биологические следствия:*

а) компенсационным механизмом биосферы на возрастание содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере может быть увеличение продуктивности биомассы зеленых растений;

б) в условиях засушливой погоды растения продуценты в экосистеме теряют часть листьев для уменьшения транспирации, в том числе при помощи консументов-фитофагов;

в) любое изменение среды (вещества, энергии, информации, динамических качеств экосистем) неизбежно приводит к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых природных систем, образование которых при значительных изменениях среды может принять необратимый характер.

На современном этапе развития глобальной техносферы компенсационная реакция на возрастание содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере не обнаруживается, продуктивность в экосистемах снижается, причиной является загрязнение среды и возрастание площадей антропогенных систем (ППС и ПТС) с одновременным уменьшением природных, действие принципа Ле Шателье нарушено и имеет существенные экологические последствия на каждом уровне иерархии как природной системы, так природно-технической. Это значит, что допустимая нагрузка на территории при проектировании их развития не проводилась комплексно, и исправлять эти ошибки достаточно трудно на стадии управления ПТС.

#### ***5. Закон сохранения массы***

Наиболее часто используется в балансовых расчетах химическое определение этого закона: масса вещества до химической реакции равна массе вещества после ее завершения.

Масса поступившего в систему вещества, за вычетом массы выходящего из нее, равна массе накапливаемого в системе вещества.

Таким образом, масса изъятых из окружающей среды природных ресурсов равна массе возвращаемых в нее (основной закон ресурсного цикла).

*Биологическое следствие:*

Природные ресурсы, используемые в процессе ресурсного цикла на всех этапах, возвращаются в окружающую среду (в природу) в том количестве

(массе), в котором были изъяты, но, с одной стороны, в радикально измененном состоянии, а с другой – не в те экосистемы, откуда были изъяты (заготовлены, добыты); таким образом, происходит химическая конверсия биосферы, и возвращаемые вещества, как правило, выступают в качестве ксенобиотиков, т. е. летальных или лимитирующих факторов. Этот процесс называется ингредиентным загрязнением биосферы.

В качестве примечания необходимо отметить – **ксенобиотик** (от «ксенокс» – чужой, «биос» – живой) – вещество, чуждое живым организмам, это может быть ингредиент – составная часть чего-либо. Поэтому перечень ксенобиотиков может для конкретной экосистемы изменяться, и это необходимо учитывать при обосновании и управлении нагрузки в каждом конкретном случае.

### **6. Закон оптимальности**

С наибольшей эффективностью любая система функционирует в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах или, другими словами, *никакая система не может сужаться или расширяться до бесконечности.*

Для каждой системы характерен присущий ей размер, соответствующий выполняемым ею функциям. Например, чтобы воспроизвести и выкормить молоком детёнышей, самка млекопитающего (кролика, собаки и т. п.) не может быть ни микроскопической, ни гигантской.

Это касается и ПТС, она не может расширяться до бесконечности, (например, мегаполис с определенными функциями). При спекулятивной экономике этот принцип, как правило, нарушается, и часто застройщики не занимаются развитием инфраструктуры и экологических объектов внутри нее и за ее пределами.

## **1.2. Биосферные и экосистемные законы**

### **7. Закон незаменимости биосферы**

Биосфера – единственная система, обеспечивающая устойчивость среды обитания при любых возникающих возмущениях. Нет никаких оснований надеяться на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды в той же степени, что и естественные сообщества (*закон В. И. Вернадского в формулировке В. Г. Горикова*).

### **8. Закон ноосферы**

Биосфера неизбежно превратится в ноосферу, т. е. в сферу, где разум человека будет играть доминирующую роль в развитии системы человек – природа.

Ноогенез означает постепенное превращение биосферы в ноосферу. Согласно В. И. Вернадскому, ноосфера – новое геологическое явление на Земле,

хотя мыслить и действовать человек, как и все живое, может только в области распространения жизни, т. е. в биосфере. Это значит, что на данном этапе эволюции жизни развитие пойдет по пути ноогенеза, т. е. разумного регулирования взаимоотношений общества и природы. На этом этапе предстоит не только исправить уже имеющиеся нарушения в природе (накопленный ущерб), отклонения от разумных и целесообразных отношений, но и предотвращать подобное нарушение и отклонения в перспективе. Система цифровой экономики, электронный документооборот в сфере природопользования является этапом эволюции биосферы с переходом к **ноотехногенезу**.

### ***9. Периодический закон географической зональности***

Существует тесная связь географических зон с двумя климатическими параметрами – радиационным балансом земной поверхности и радиационным индексом сухости. Со сменой физико-географических поясов аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются. (*закон А. А. Григорьева – М. И. Будыко*).

Индекс сухости радиационный – отношение между радиационным балансом территории (разность между полученной суммарной радиацией и эффективным излучением с земной поверхности) и годовой суммой осадков, выраженное в калориях и Джоулях скрытой теплоты испарения.

Естественное развитие географической оболочки Земли проявляется в определенной смене физико-географических поясов и входящих в них географических поясов и ландшафтных зон и обусловлено преимущественно характером распределения энергии Солнца по широтам с уменьшением ее количества от экватора к полюсам.

*Биологические следствия:*

а) под влиянием близкой к шарообразной форме Земли климат, растения и животные распределяются по земной поверхности по направлению с севера на юг в строго определенном порядке, а поскольку агенты – почвообразователи – в своем распределении подчиняются определенным законам, распределяются по поясам, то и их результат – почвы – должны распределяться по земному шару в виде определенных зон, идущих более или менее (лишь с некоторыми отклонениями) параллельно широтным кругам (*закон В. В. Докучаева*). Сам В. В. Докучаев – основоположник почвоведения как самостоятельной естественно-исторической науки – свои положения законами не называл, хотя они таковыми являются и сегодня проверены практикой.

б) Согласно положениям академика И. П. Герасимова, единых, опоясывающих весь земной шар и полностью однородных климатических и почвенных зон в строгом смысле нет, поскольку в пределах каждой зоны существуют отдельные области (фации) со специфическими условиями, нетипичными для данного пояса или другой зоны (азональность).

Этот эффект активно проявляется при развитии искусственных объектов и ПТС различного уровня.

## **10. Закон (принцип) сукцессионного замещения**

Природные биотические сообщества последовательно формируют закономерный ряд экосистемы, ведущий к наиболее устойчивому в данных условиях состоянию климакса.

В лесных экосистемах происходит длительная смена древесных пород, например, ель может смениться осиной или ольхой, сосна или береза елью и т. д. Понятно, что при этом происходит смена всей биоты экосистемы, почвенных условий мезо- и микроклимата.

При вырубке лесов происходит смена, например, хвойных пород лиственными, т. е. с позиций хозяйственной деятельности – смена сырья, изменение технологии и т. д. по всей цепочке ПТС. В сельском хозяйстве человек вынужден имитировать сукцессию сам в форме многопольных севооборотов. Наиболее сложные условия создания сукцессии необходимо ожидать при разработке мероприятий по рекультивации земель или свалок.

## **11. Закон последовательного прохождения фаз развития**

Фазы развития природной системы могут следовать лишь в эволюционно закреплённом (исторически, геохимически и физиолого-биологически обусловленном) порядке, как правило, без выпадения промежуточных этапов, но, возможно, с очень быстрым их прохождением или эволюционно закреплённым отсутствием (*закон Н. Ф. Реймерса*).

## **12. Закон (правило) пирамиды энергии**

С предыдущего (нижнего по потоку энергии) уровня экологической пирамиды переходит на более высокий уровень (по «лестнице» продуцент – консумент – редуцент) в среднем не более 10 % энергии (*закон Г. Линдермана*).

Данный закон характеризует очень низкую энергетическую эффективность экосистемы. Считают, что если в биомассе продуцентов – фотосинтетиков – фиксируется 1000 ккал/сут·м<sup>2</sup>, то только 10 ккал переходит в биомассу растительноядных консументов и не более 1 ккал – в биомассу плотоядных консументов. Лишь одна миллионная приходящей солнечной энергии превращается в биомассу плотоядных, а все остальное рассеивается в окружающей среде.

В пирамиде биомассы нет четкой закономерности, но, как правило, биомасса каждого последующего уровня колеблется в более широких пределах, чем в пирамиде энергии.

Следует отметить, что пирамида чисел (т. е. соотношение количества особей в разных уровнях пищевой цепи) может быть в ряде случаев «перевернутой». Например, при массовом размножении насекомых, питающихся листьями деревьев, количество этих насекомых может резко превышать количество поедаемых листьев, хотя биомасса последних безусловно больше биомассы консументов.

Следствие этого закона: чем короче пищевая цепь, тем ближе данный организм к началу этой цепи, тем более доступно ему поступление энергии (*постулат Ю. Одума*).

### ***13. Основной закон управления в природной экосистеме***

Управляющим звеном в пищевой цепи (биогеоценозе) природной экосистемы является предыдущий (нижний) по потоку энергии уровень, а управляемый – последующий (верхний) поток энергии. Со стороны предыдущих звеньев (уровней) пищевой цепи по отношению к последующим характерны процессы управления, а со стороны последующих уровней – адаптация. Независимо от места того или иного вида в пищевой цепи приоритет в управлении принадлежит абиотической компоненте среды.

*Биологические следствия:*

В природных биогеоценозах управление популяциями консументов-фитофагов (первичных консументов) при помощи консументов-зоофагов (вторичные консументы) невозможно, т. е. биологический метод защиты растений нереален, а в антропогенных (управляемых человеком) экосистемах, например, в сельском хозяйстве, как правило, экономически нерентабелен.

### ***14. Закон стабильности сообщества (экосистемы)***

Стабильность сообщества определяется числом связей между видами в пищевой цепи.

*Биологические следствия:*

а) для достижения стабильности система должна иметь запас информации в некотором «регуляторе» в количестве, соответствующем, по меньшей мере, количеству производимых нарушений (*закон необходимого разнообразия*);

б) количество накапливаемой экосистемой (запасами против градиента рассеивания, обусловленного вторым началом термодинамики) энергии должно быть достаточно для компенсации угрожающих этой экосистеме воздействий внешней среды; положительного эффекта в компенсации внешних воздействий на экосистему можно добиться, если созданная человеком система управления обладает не меньшим разнообразием, чем управляемая система.

Именно поэтому моногорода не могут иметь устойчивого развития, эти ПТС системы требуют корректировки в разнообразии видов деятельности на используемом потенциальном ресурсе.

в) антропогенное упрощение структуры экосистемы (например, создание монокультур) адекватно снижению ее стабильности (гомостаза), как правило ведущему к широким колебаниям численности консументов-фитофагов, чреватым разрушением данной экосистемы и значительным экономическим ущербом;

г) состав, структура и динамика популяций консументов, как производственные биоценотической сукцессии, определяются пространственно-временной структурой станции обитания, включая структуру популяции кормовых растений-продуцентов.

*Этот закон можно рассматривать как «принцип стабильности», он трактуется с позиций второго закона термодинамики: система развивается устойчиво при помощи саморегулируемого механизма с учетом потока энергии в нем.*

Особо уязвимыми в аспекте стабильности являются структурно простые, не дискретные во времени (длительно существующие) экосистемы.

В структурно сложных, смешанных, многоярусных биоценозах, как правило, невозможны широкие (в сотни и тысячи раз) амплитуды колебаний численности и плотности консументов-фитофагов, типичные для структурно упрощенных сообществ («чистые» по составу видов однородные леса, монокультуры в сельском хозяйстве).

Функционирование и гомеостаз систем «общество – окружающая среда», например, эколого-экономических в ПТС, возложены только за счет высокой информативности специальных блоков управления в цифровом режиме, обеспечивающих компенсационные механизмы отрицательных обратных связей.

### ***15. Закон (аксиома, принцип) эмерджентности***

*Целое всегда больше суммы составляющих его частей, ибо оно имеет особые свойства, отсутствующие у этих частей (подсистем).*

Целое, как правило, не равно сумме элементов, не объединенных системообразующими связями. При сложении системного целого образующаяся интеграция слагающих подчиняется иным законам формирования, функционирования, эволюции, т. е. свойства целого невозможно свести к сумме свойств составляющих его частей.

Одно дерево или группа деревьев еще не образуют лесной экосистемы, поскольку последняя возникает только при определенных условиях определенной густоты древостоя, определенных флоре и фауне, определенному микроклимату. Механическое сосредоточение химических элементов, молекул органических веществ, тканей и органов не образует организма.

Принцип эмерджентности следует учитывать при оценке возможных последствий, например, загрязнения воды в конкретном водоеме. Для этих систем экологические риски часто не бывают приемлемыми, даже если учетные показатели качества соответствуют ПДК загрязняющих компонентов.

Данный принцип должен учитываться при экологической экспертизе проектов хозяйственной деятельности и выдаче комплексных экологических разрешений.

### ***16. Закон компенсационного выравнивания***

На протяжении длительного времени существования экосистемы уменьшение разобщённости (дискретности) популяций консументов и продуцентов во времени компенсируется увеличением разобщённости в пространстве и наоборот.

*Биологические следствия:*

Состав, структура и динамика популяций консументов-фитофагов, как производных сукцессионного процесса экосистемы, определяются пространственно-временной структурой экосистемы в целом и структурой популяции растений- продуцентов.

Рассмотрим три варианта стадии обитания на примере насекомых, питающихся биомассой деревьев.

*Вариант первый:* стадия обитания открыто живущих листогрызущих насекомых (полог древостоя) практически не дискретна, т. е. непрерывна в пространстве. Такие популяции могут в течение 2-4 лет увеличить свою численность в сотни и тысячи раз. При этом уменьшается их разобщенность в пространстве полога, но возрастает дискретность (прерывность) стадии, т. е. полога древостоя из-за массового объедания листвы (или хвои). Это приводит к снижению пространственной разобщенности популяции, которое компенсируется возрастанием дискретности стадии. Поэтому численность в этих условиях может возрастать не беспредельно. После прекращения вспышки и массовой гибели насекомых разобщенность популяции резко возрастает, а стадии – уменьшится в результате восстановления ассимиляционного аппарата.

Это и представляет собой компенсационное выравнивание.

*Вариант второй:* стадия обитания насекомых, развивающихся под корой деревьев, всегда дискретна, т. к. сами деревья разобщены в лесу. В пределах каждого дерева численность этих насекомых может возрастать, но лишь настолько, насколько «позволит» подкоровое пространство. По мере гибели деревьев, приемлемых для обитания насекомых, численность их также резко уменьшится. Тем самым возрастает дискретность стадии, как в пространстве, так и во времени, *но дискретность популяции уменьшится*, поскольку приемлемых для обитания и питания объектов станет гораздо меньше, *а плотность поселения – больше.*

*Вариант третий:* сходная ситуация наблюдается в популяциях насекомых, живущих скрытно в репродуктивных органах древесных пород, например, в шишках такой породы как ель. Урожайность шишек повторяется через 4-6 лет, т. е. стадия обитания таких насекомых всегда дискретна во времени и в пространстве. При массовом урожае плодов дискретность стадии снизится, но дискретность популяции насекомых практически либо останется неизменной, поскольку каждая группа особей обитает в отдельной шишке, либо значительно снизится, так как плотность населения станет меньше. Тем самым *снижение ↓ дискретности стадии* обитания будет компенсироваться *возрастанием ↑ дискретности популяции.*

Таким образом, согласно закону компенсационного выравнивания, широкое колебание численности популяции во времени и пространстве (вплоть до массовых размножений или гибели) присущи только открытым в недискретных стадиях видам.

Этот закон необходимо учитывать при организации миграционных процессов на различных территориях.

### **1.3. Законы взаимодействия организмов и окружающей среды**

#### ***17. Закон минимума***

Веществом, присутствующим в минимуме, управляется урожай, определяется его величина и стабильность во времени (*закон Ю. Либиха*).

Выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его жизненных потребностей, т. е. жизненные возможности лимитируют экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму, дальнейшее их снижение ведет к гибели организма или деструкции экосистемы.

Состав сообщества (биоценоза) по видам и численности особей в них определяется тем фактором среды, который оказывается в пессимуме (наиболее неблагоприятен) для данного сообщества (*закон действия факторов А. Тинемана*).

Закон Либиха, в первоначальной формулировке касающийся только растений и питательных веществ почвы, распространяется на множество других экологических факторов и живых организмов. Проявлением закона минимума являются такие заболевания, как авитаминозы, развивающиеся вследствие длительного качественно неполноценного питания, в котором отсутствует необходимые витамины или микроэлементы. Этот закон необходимо применять также для оценки риска здоровью.

Известен закон компенсации факторов (*Э. Рюбеля*), согласно которому недефицитное вещество или иной жизненный фактор способны заменить тот, который находится в дефиците. Однако более обоснованным является сформулированный В. Р. Вильямсом *закон незаменимости фундаментальных факторов*.

#### ***18. Закон толерантности***

Лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которым определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору (*закон В. Шелфорда*).

Любой живой организм имеет по отношению к тому или иному экологическому фактору крайние (верхний и/или нижний) пределы толерантности при выходе факторов, за которыми организмы не выживают.

По формулировке закон толерантности фактически не отделяют от закона лимитирующего фактора. Поэтому целесообразно с учетом нормирования загрязняющих веществ в окружающей среде рассматривать отдельно закон собственно толерантности (устойчивости) и закон лимитирующего фактора.

#### ***19. Закон лимитирующего фактора***

Любой живой организм имеет верхний и /или нижний пределы (пороги) устойчивости к тому или иному экологическому фактору, при выходе за которые этот фактор вызывает у организма обратимые или необратимые стойкие

функциональные отклонения в тех или иных органах и физиологических процессах, не приводя к летальному исходу.

Следует отметить, что любой элемент окружающей среды (ПТС) может выступать в качестве лимитирующего фактора, если его уровень вызывает патологическое изменение у организма и переводит его в пессимальное состояние (*pessimism* – лат. – наихудший), из которого он, как правило, не может выйти. Даже если уровень данного фактора вернется к оптимуму.

Два последних закона распространяются на любые экологические факторы – как абиотические (физические и химические), так и биотические. Поэтому система экологического управления ПС и ПТС направлена в общем случае на то, чтобы эти факторы не выходили за допустимые пределы. На промышленной площадке при обеспечении безопасности жизнедеятельности персонала система экологического управления ПС и ПТС фактически направлена на то, чтобы, например, такие факторы, как температура, давление, шум, вибрация и другие производственные условия не выходили за пределы толерантности работающих, т. е. не превышали установленных специальными исследованиями ***предельно допустимых уровней (ПДУ)***. Таким образом, любая безопасность жизнедеятельности (радиационная, электробезопасность, пожарная безопасность и пр.) является экологической.

Типичными случаями проявления данного закона являются профессиональные заболевания лиц, работающих во вредных условиях.

Последний закон в основной его формулировке имеет непосредственное отношение для обоснования санитарно-гигиенического нормирования загрязняющих веществ в окружающей среде: нормативы содержания примесей (***предельно допустимые концентрации – ПДК***) преследуют цель сохранения здоровья людей, и таким образом, имеют смысл верхнего предела (порога) толерантности (т. е. лимитирующего уровня фактора) человеческого организма.

## ***20. Закон экологической ниши***

Любой биологический вид имеет свою, только ему присущую совокупность требований к факторам окружающей среды, полученную им от предков и передаваемую потомкам, и занимает в природе свою, соответствующую этим требованиям экологическую нишу; изменение этих требований в процессе эволюции означает изменение ниши, т. е. переход данного вида в иное качество, например, новый биологический вид.

Каждый вид адаптирован к строго определенной, специфической для него совокупности условий существования – экологической нише (*экологическая аксиома Ч. Дарвина*).

*Биологические следствия:*

а) чем выше требования (амплитуда толерантности) вида к любому или многим экологическим факторам, тем большее пространство (ареал) он может занимать в природе («Европа без границ»);

б) если режим хотя бы одного из многих экологических факторов в месте обитания данного вида изменился таким образом, что его уровень выходит за пределы требований ниши, то это означает ее разрушение как

гиперпространства, т. е. ограничение или невозможность сохранения популяции данного вида в данном месте обитания (энергетический кризис в Европе и агрессия по отношению к соседям).

в) каждый вид специфичен по экологической возможности адаптации: двух идентичных видов не существует (*правило экологической индивидуальности Л. Г. Раменского*);

Под экологической нишей организма понимают совокупность его требований к факторам окружающей среды и место, где эти требования удовлетворяются. «Требования» организма суть пределы его толерантности, а «место» – вся экосистема.

Как любой живой организм, человек имеет свою, только ему присущую экологическую нишу, локализованную в жестко ограниченных участках суши.

Главная задача безопасности жизнедеятельности и системы экологического управления ПТС – обеспечение (сохранение) экологической ниши человека везде, где бы он ни находился – от квартиры и промышленного объекта до подводного или космического корабля.

Экологические ниши (как требования организма к факторам) не могут между собой «конкурировать»; при совместном обитании двух разных видов один из них выживает, а другой исчезает не вследствие «конкуренции», а в следствие действия закона максимизации энергии и информации (2 закон).

### ***21. Закон магнификации (прогрессивного накопления токсикантов в пищевой цепи)***

Концентрирование (накопление) вредных веществ в экосистеме возрастает на высших трофических уровнях пищевой цепи по сравнению с низшими.

Если энергия при переходе на более высокий уровень экологической пирамиды десятикратно теряется (*по закону Линдемана*), то накопление ряда веществ, в том числе токсичных и радиоактивных, примерно в той же пропорции увеличивается (*правило биологического усиления*).

*Биологические следствия:*

а) наличие даже заведомо безопасных (следовых или ниже ПДК) уровней содержания токсикантов в воде, почве, воздухе не исключает опасности для человека: в каждом последующем звене пищевой цепи их содержание может оказаться значительно выше.

б) поскольку человек находится на вершине пищевой цепи (вторичный консумент), накопление токсикантов представляет для него существенную опасность.

Наиболее полно и доказательно исследованы процессы накопления в пищевых цепях соединений ртути, диоксинов, натратов.

### ***22. Принцип минимальной амплитуды***

На любом этапе своего онтогенеза организм выбирает такие локусы (места) в пределах биотопов, где обеспечивается минимальная амплитуда колебаний экологических (в первую очередь, физических) факторов.

Многие организмы (особенно беспозвоночные) ведут скрытый образ жизни (в стеблях, плодах, почве и т. д.), избегая резких суточных перепадов температуры, влажности, освещенности и др. (прототип модели поведения населения в пандемию).

Следует помнить, что в условиях сильного загрязнения воздуха промышленными выбросами наблюдается преимущественное сохранение беспозвоночных, обитающих в галлах (патологических образованиях на органе растения), свернутых листьях, под корой и т. д.

Переход организмов от водного к наземному образу жизни требовал защиты от факторов наземной среды, в том числе от солнечной радиации (особенно от ультрафиолетовой), от резких перепадов температуры, влажности. Поэтому одни организмы переходили к обитанию в почве, другие – в растительном субстрате (внутри тканей, в репродуктивных органах).

### **23. Закон выживаемости в популяции**

Численность особей в популяции в пределах конкретного поколения в любой момент времени ее жизни ( $N_T$ ) является функцией от начальной численности ( $N_0$ ) и времени ( $t$ ), прошедшего с начала развития данного поколения:  $(N_T) = f(N_0; t)$ .

Данный закон выполняется при условии отсутствия экстремальных ситуаций, например, разрушительных антропогенных и природных воздействий.

На этом принципе основан расчет жизненного цикла проектной хозяйственной деятельности в части трудовых ресурсов.

### **24. Правило (закон) сохранения видовой среды**

Позвоночные и беспозвоночные животные (консументы) в норме не могут абсолютно разрушительно воздействовать на среду своего обитания, поскольку такое разрушение лишает их основы жизни (*правило Н.Ф. Реймерса*).

*Биологические следствия:*

а) массовое размножение, например, насекомых («вспышки») не могут привести к гибели популяции кормовой породы (продуцента), если экосистема не находится на грани распада вследствие природного сукцессионного процесса или антропогенного воздействия (как правило, они выполняют функцию естественного отбора);

б) динамика популяций консументов-фитофагов является частью сукцессии экосистемы как целостного процесса, и массовое их размножение программируется всем ходом сукцессии.

Слово «в норме» в определении закона следует понимать как «в природном, закономерно функционирующем биогеоценозе». **Закон не распространяется на антропогенные**, т. е. полностью управляемые человеком экосистемы (например, агрокомплексы или применение бактериального оружия).

Само правило отражает основной закон управления в природной системе ПС (закон 9) и должно распространяться на ПТС, претендующие на устойчивое развитие.

Природные биогеоценозы при массовых размножениях в них популяций тех или иных консументов-фитофагов («вспышках») не требуют защитных истребительных мероприятий, направленных на уничтожение «вредителей», пока и поскольку антропогенные воздействия не нарушили их гомеостаз, определяемый данным этапом биоценотической сукцессии.

### **25. Правило взаимоприспособленности организмов в биоценозе**

Виды в биоценозе приспособлены друг к другу настолько, что их сообщество составляет внутренне противоречивое, но единое и взаимно увязанное целое (*правило К. Мебиуса – Г. Морозова*).

В природе не существует полезных и вредных птиц, полезных и вредных насекомых и т. д., там все служит друг другу и взаимно приспособлено.

Таким образом, понимание и использование вышеперечисленных законов биосферы в системе управления природными системами позволяет перейти к пониманию и разработке современных подходов в управлении инновационными природно-техническими системами с переходом на устойчивое развитие регионов и двигаться в эволюционном процессе к ноотехногенезу, т. е. разумному регулированию взаимоотношений общества, природы и технических систем.

Основу региона формирует территориальный природно-технический общественный комплекс, образуемый как результат взаимодействия природных, технических, социальных и экономических элементов. При этом необходимо особо отметить, что природная подсистема, объединяющая ландшафты, природно-ресурсную систему, систему природопользования и т. д., согласно современным экологическим подходам к управлению ПТК, имеет равновеликое значение и определяет устойчивость системы, в том числе с позиций социальной и экономической ее составляющих.

## **1.4. Иерархия природно-технических систем и особенности их функционирования**

Любая система связана с окружающей средой, каждой системе свойственна определенная расчлененность, иерархичность (последовательная подчиненность), наличие многих уровней организации. Поэтому каждая система может быть рассмотрена как элемент (подсистема) системы более высокого ранга и как совокупность подсистем более низкого ранга.

ПТС, как производное от природной системы, не может существовать в отрыве от окружающей среды, где она сооружена и функционирует. Разделяют два механизма образования ПТС.

Первый и наиболее обсуждаемый в литературе механизм – преобразование человеком *природной среды* в ходе различных видов хозяйственной и промышленной деятельности. В совокупности эти процессы и явления обозначаются термином «техногенез». Формы техногенеза не менее разнообразны, чем обуславливающие его виды человеческой деятельности. При любой степени техногенной трансформации часть компонентов природной

среды продолжает существовать в новых условиях и часть преобразованной экосистемы адаптируется к этим условиям. Изменяя окружающую среду, современное общество, по мере возможности, сохраняет ее пригодной и для своего собственного существования в рамках допустимого воздействия. Не уничтоженные техногенезом компоненты природной среды, в т. ч. живые организмы, вступают во взаимодействие с внедренными в нее новыми техническими элементами или мигрируют в зоны с более благоприятными условиями. В состав ПТС входит достаточно конкретная часть окружающей природной среды, находящаяся в зоне влияния технической системы (ТС). Влияние во многом зависит от вида ТС. Оно может проявляться в разнообразных геологических, гидрологических, атмосферных и биологических процессах. Подавляющее большинство ТС взаимодействуют с геологической средой. Для обозначения таких видов взаимодействия ТС и литосферы появились понятия геотехнической или литотехнической системы. *Литотехническая система* – это часть природно-технической системы, включающая объекты ТС и взаимодействующую с ними часть литосферы.

В качестве другого механизма образования ПТС можно рассмотреть *адаптационный потенциал живых организмов*. Их способность настолько велика, что позволяет им осваивать, проникать и развиваться на разнообразных поверхностях и объемах, различных видах оборудования и сооружений, создаваемых человеком (*закон компенсационного выравнивания*). Некоторые из этих организмов, поселяясь в массовом количестве в технических узлах и конструкциях, затрудняют или изменяют их эксплуатационные характеристики, становятся причиной риска и значительных материальных ущербов. Эти явления получили название *«биологические помехи»*.

Таким образом, природно-техническая система – структурно-функциональная единица *техносферы*, которая является частью современной биосферы, преобразованной с помощью прямого целевого и косвенного воздействия технических средств с получением наилучшего соответствия социально-экономическим, техническим потребностям природопользователя.

Природно-промышленная система – это разновидность ПТС, представляющая собой совокупность подсистем производства, потребления и связи с окружающей средой (рис. 1.1).

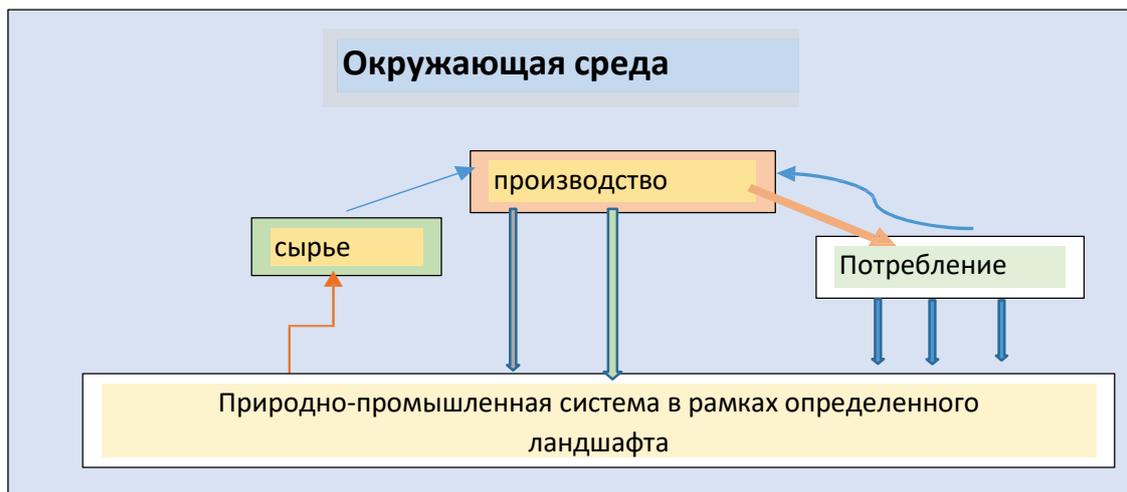


Рисунок 1.1 – Природно-промышленная система

Существующий практический опыт по развитию механизма управления охраной окружающей среды (ООС) на промышленных объектах ПТС позволяет типологизировать наиболее распространенные методы и свести их в три основные группы управления, которые отражают две основные функции, которые входят в основу *экологического менеджмента* – *мотивацию и контроль*. Эти функции разбирались достаточно подробно в рамках курса «Природоохранная деятельность предприятий и экологический менеджмент».

К основным группам управления качества ООС и безопасности производственных объектов относят:

- **административное регулирование** (контроль), которое реализуется через реформирование природоохранной деятельности предприятий и введение соответствующих нормативных стандартов и ограничений, а также контроль на принципах риск-ориентированного подхода и лицензирования процессов природопользования, указывающих производителю рамки, которые он должен соблюдать, т. е. различные виды контроля ПЭК, ПЭ и СОУТ на промышленной площадке.
- **систему эколого-экономических стимулов** (мотивация), которая предполагает *механизм экономического стимулирования* производства экологически чистой продукции, выпускаемой с помощью применения экологически чистых технологий в соответствии с наилучшими доступными технологиями (НДТ) на определенном этапе промышленного развития и *метод экономического сдерживания* развития грязного производства путем регулирования ставок по загрязняющим компонентам и запрета деятельности при существенном ущербе окружающей среде.
- **формирование рыночных отношений в сфере ООС**, которое осуществляется через перераспределение прав на загрязнение (вторичные материалы и целевые продукты из отходов основного производства), компенсационных платежей, внедрение объектов интеллектуальной собственности в перспективные технологии с перспективой введения в информационно-технологические справочники ИТС), выпуск дополнительных пакетов акций для решения природоохранных задач и т.д.

В ходе освоения ресурсов для удовлетворения потребностей современного общества в процессе техногенеза все больше *природных территорий* (резерват природный) из естественных экосистем превращается в ПТС. Развитие глобальных техногенных процессов уже привело к тому, что биосфера повсеместно трансформируется в техносферу с островками заказников и особо охраняемых территорий (ООТ), которые подвергаются прессингу со стороны наиболее подвижных факторов влияния на их качественные характеристики (водная и воздушная миграция загрязняющих веществ).

Поскольку ПТС – производная от ПС, которая имеют четкую организационную структуру – иерархическую соподчинённость определенных уровней, то при развитии ПТС следует ожидать существенных изменений этих элементов и изменения качества ОС вокруг технических объектов.

Каждая экосистема образована совокупностью взаимосвязанных элементов, характеризующихся специфическими формами реакции на различные виды воздействия.

Данные реакции являются исходной базой для определения качества всей территории в целом.

Это особенно проявляется на урбанизированных территориях, которые видоизменяют биогеохимические процессы *естественных ландшафтов* в определенных зонах их исторического формирования.

Для того чтобы понимать специфику этих изменений и прогнозировать экологические последствия при активном развитии ПТС, необходимо выстроить принципиальную соподчиненность процессов, определяющих зональность биогеохимических процессов, протекающих на конкретных территориях.

### **1.5. Зональность биогеохимических процессов в системе управления природно-территориальными комплексами**

Важным элементом в организации процесса управления ПТК является *геохимический ландшафт*, который представляет собой сложную природную систему, состоящую из подсистем или *элементарных ландшафтов*. Каждому геохимическому ландшафту присущи определенные условия миграции и концентрации химических элементов, типы радиальной (в вертикальном профиле ландшафта) и латеральной (в пространстве) дифференциации веществ. Потоки вещества в ландшафтах имеют важное системообразующее значение и определяют их миграционную структуру, определяют фон территории, что характеризует их специфическую особенность с позиции химического состава всех элементов, попадающих в сферу управления (контроля) качества ОС.

С особенностями формирования зональности биохимических процессов на территории Российской Федерации можно ознакомиться на сайте <https://nationalatlas.ru/tom2/406-408.html> в форме национального атласа, который является информационно-картографическим научно-справочным изданием для специалистов различных областей науки, производства и культуры, сотрудников государственного аппарата, а также для преподавателей и студентов высших и

средних специальных учебных заведений. Материалом этого атласа можно воспользоваться для выполнения индивидуальных заданий и при подготовке к семинарам по курсу ЭУПК.

Естественным источником энергии для всех процессов на поверхности Земли, в том числе биогеохимических, является лучистая энергия Солнца. Закономерное изменение от экватора к полюсам обуславливает существование системы циркумполярных *термических поясов*, различающихся энергообеспеченностью и, соответственно, распределением масс живого вещества и продуктивностью, в том числе потенциальной, конкретной территории. Следует отметить, что эта тенденция испытывает влияние разнообразных факторов, в том числе техносферного характера, усложняющих структуру природной зональности. При прогнозировании и разработке алгоритма управления ПТС в определенных зонах необходимо учитывать эти факторы для обеспечения безопасности функционирования коренных биовидов и регулирования миграционных потоков, которые определяют механизм решения конкретных технических задач.

### **1.5.1. Биогеохимическая зональность водных объектов и суши**

Учитывая огромную территорию и акваторию Российской Федерации, необходимо отметить влияние этой взаимосвязи на особенности формирования ПТК в конкретных регионах.

В общем случае, согласно Н. Ф. Реймерсу, *зональность* – отражение в процессах распространения жизни и взаимодействия *среднеобразующих компонентов* (в том числе дальнего переноса, например, органического вещества из поверхности океана в его глубины и наоборот), широтного, преимущественно, распространения солнечной энергии на земной поверхности, а также характера взаимосвязей литосферы, гидросферы и атмосферы (например, в формировании зон дна Мирового океана). Зональность характерна для климатических, геоморфологических, почвенных, биогеографических и других процессов. Антропогенное воздействие приводит к смещению зон и размытой зональности.

Примером могут служить границы географических зон на Восточно-Европейской равнине, которые смещаются к северу из-за изменения климата и сведения естественной растительности, прежде всего, лесов.

Для Мирового океана зональность и характер циркуляции водных масс также зависит от особенности поступления солнечной энергии. От циркуляции зависит доставка элементов питания фотосинтезирующим организмам в водном объекте. Подъем в поверхностный слой океана глубинных вод, богатых растворимыми формами химических элементов, имеет *циклонический характер*, что обеспечивает питание фитопланктона и поддерживает его биогеохимическую деятельность.

Антициклональный режим, способствующий слабой перемешиваемости вод и вследствие этого обедненности элементами питания поверхностного слоя воды, обуславливает ограниченное количество фитопланктона и, следовательно,

других гидробионтов. К таким зонам относятся обширные центральные части океанов. Важным фактором распределения живого вещества в океане служит приуроченность значительных масс организмов к прибрежной зоне шельфа, куда выносятся элементы питания с суши и где толща воды интенсивно перемешивается, непрерывно восполняя убыль элементов в поверхностном слое. Это особая зона интереса в системе управления ПТК.

По среднестатистическим данным, продуктивность фотосинтезирующих организмов на единице площади составляет (т/км<sup>2</sup>): в открытом океане – 100, в прибрежной зоне и на шельфе – 300, а в районах подъема глубинных вод – 2200.

Наибольшая масса фитопланктона на единице площади наблюдается в субарктическом и северном умеренном поясах, которые, как известно, обеспечивают две трети мирового улова рыбы.

На экваториальный и тропические пояса приходится около 60 % площади поверхности Мирового океана, и благодаря этому при небольшой продуктивности в этих поясах создается более половины годовой массы фотосинтетиков океана. Эти территории регулируют *газовый обмен* и снижают количество *парниковых газов*. Наименьшее количество кислорода продуцируется в *арктическом поясе*, что необходимо учитывать при промышленном освоении этой территории.

На материковой части или суши биогеохимическая зональность выглядит иначе. Казалось бы, интенсивность биологических и биогеохимических процессов на суше в любом случае должна возрастать по мере перехода от менее теплых поясов к более теплым. Однако лимитирующим фактором использования энергии для химических, физико-химических, биологических процессов служит наличие воды, которая сегодня является важным элементом управления ПТК. На поверхности суши от 95 до 99,5 % поступающей энергии расходуется на испарение и транспирацию воды растениями, на биологические процессы – от 0,5 до 5 %, на гипергенное преобразование минералов – сотые и тысячные доли процента. Полнота использования поступающей энергии в перечисленных процессах зависит от степени увлажнения: в засушливых районах показатель использования очень мал, а в хорошо увлажняемых районах достигает 70–80 %.

Распределение атмосферного увлажнения поверхности континентов не повторяет *термическую зональность*. Годовое количество атмосферных осадков, режим их выпадения обуславливают неодинаковую степень увлажнения разных территорий внутри термических поясов, что влечет за собой различную интенсивность водной и биологической миграции химических элементов. Это необходимо учитывать в системе управления ПТК и регулирования дополнительной нагрузки в этих зонах.

В результате испарения и транспирации основная часть выпавших осадков возвращается в атмосферу. Испаряющаяся влага регулирует тепловой режим, благодаря чему становится возможным существование живых организмов. Обмен воды на конкретной территории имеет определяющее значение для всех видов миграции химических элементов. Этот процесс оценивается количественно с помощью *коэффициента относительной увлажненности*  $K_y$ ,

который определяется как отношение суммы атмосферных осадков к величине испаряемости.

Первые три интервала (табл. 1.1) характеризуют территории различной степени аридности, три последние – гумидные территории. Интервал относительной увлажненности, характеризуемый коэффициентом 0,75 – 1,20, соответствует территориям с *уравновешенным водным балансом*.

Таблица 1.1 – Области равного увлажнения (по В. В. Докучаеву)

Области равного увлажнения	$K_y$
Крайне сухие	0.20
Сухие	0.20-0.40
Умеренно сухие	0.40-0.75
Умеренно влажные	0.75-1.20
Влажные	1.20-1.95
Очень влажные	1.95-2.90
Особо влажные	Более 2.00

Показатели, отражающие динамику масс органического вещества, синтезируемого основными зональными типами растительности суши, отражены в работах В. В. Добровольского. Такого рода данные необходимы для учета регулирования парниковых газов на конкретных территориях при закладке карбоновых полигонов и их возможной продуктивности. В таблице 1.2 приведены усредненные данные по биологической продуктивности титульных типов растительности основных зон без учета инвазийных видов для выбранных климатических зон России.

Таблица 1.2 – Среднестатистическая биологическая продуктивность основных зональных типов растительности без учета инвазийных видов России

Тип растительности	Биомасса			Опад, т/га	Мертвое вещество, т/га	Опад/биомасса, %
	Общая, т/га	Надземная, %	Корни, %			
Тундры:						
арктические	5	30	70	1	3.5	20
кустарниковые	28	17	83	2.4	83.5	8.5
Ельники:						
Северной тайги	100	78	22	3.5	30	4
Южной тайги	330	78	22	5.5	35	2
Дубравы	400	76	24	6.5	15	1.5
Тропические леса	500	82	18	25	2	5
Степи:						
луговые	25	32	68	13.7	12	46
сухие	10	15	85	4.2	1.5	43
Саванны	66.6	94	6	11.5	1.3	17
Пустыни	4.3	13	87	1.2	-	28

Биологическая продуктивность основных типов зональной растительности имеет ориентировочный характер, но может быть использована для выполнения

ИДЗ по дисциплине как реперная величина при расчете индексов экологической нагрузки на территорию. При более тщательном варианте проработки расчетных заданий в магистерских диссертациях необходимо использовать региональные данные по многолетним наблюдениям (например, Титлянова А. А. и др., 2018).

Величина биомассы не дает полного представления о продуктивности типов растительности. Для этого необходим показатель годового прироста ежегодной продукции растительности. Прямой пропорциональности между фитомассой и годовым приростом нет. Третий показатель – опад – величина ежегодно отмирающего растительного материала. Количество органического вещества, заключенного в опаде и в годовом приросте, очень близки. Эти два показателя характеризуют синтез и деструкцию органического вещества на протяжении года.

Отношение опада к фитомассе показывает, насколько прочно данный тип растительности удерживает синтезированное органическое вещество. В наибольшей мере оно удерживается в лесах умеренного климата. В таежных еловых лесах на опад расходуется 2–4 % органического вещества фитомассы, в дубравах – около 1,5 %, во влажных тропических лесах – 5 %, а в растительности степей ежегодно отмирает почти всё органическое вещество фитомассы.

Круговорот углекислого газа и степень выведения углерода из этого цикла в различных растительных формациях характеризуют *коэффициентом аккумуляции углерода*, который равен отношению количества углерода, связанного на единице площади в процессе годового фотосинтеза, к количеству углерода, выделившегося в виде  $\text{CO}_2$  за год за счет разрушения мертвого органического вещества. В настоящее время при выполнении проектов по лесовосстановлению следует проводить регулярную оценку (с периодичностью не менее 5 лет) достигнутых изменений запасов углерода в пулах биомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы в соответствии с методом расчета количества определения объема поглощения парниковых газов (А. Б. Дягилева, 2016).

Процесс фотосинтеза органического вещества растениями сопровождается выделением кислорода. Наибольшей продуктивностью по кислороду принято считать тропические и субтропические леса, наименьшей – пустынную и арктическую растительность. Важность бореальных лесов России в этом контексте доказывается в работе А. Н. Филипчук и др., 2020.

Абсолютная величина продуцирования кислорода не отражает истинный вклад той или иной растительной формации в обогащение атмосферы кислородом. Если в течение года вся масса опада разлагается, то соответственно расходуется весь кислород, выделенный при фотосинтезе прироста. Ясно, что кислород сохраняется в атмосфере только при условии систематического накопления в педосфере мертвого органического вещества. Следовательно, атмосфера обеспечивается кислородом вовсе не за счет самых продуктивных формаций типа тропических лесов. Основными поставщиками свободного кислорода на суше являются ландшафты умеренного и бореального поясов, преимущественно лесов хвойных пород, т. е. наши ландшафты субарктического

и умеренного климата, где вследствие угнетения микробиологических процессов накапливается и консервируется мертвое органическое вещество и таким образом создается «хранилище углерода». Эти территории по своей сути обеспечивают перемещение воды в биосфере Земли, выполняют роль основного «биотического насоса». Поэтому система управления и использование этих ресурсов в искусственно созданных ПТК является наиболее важной в климатической доктрине РФ для выполнения обязательств по снижению парниковых газов и организации системы управления лесопромышленного комплекса страны, использующего эти ресурсы как в своих производственных и хозяйственных циклах, так и для активной реализации древесины на международном рынке.

### **1.5.2. Геохимическая неоднородность биосферы, природных зон и природно-территориальных комплексов**

Рассматривая ПТК и биосферу как некую целостную систему, принято оперировать статистически допустимыми усредненными значениями, характеризующими состав отдельных компонентов биосферы: земной коры, водных объектов, педосферы и др. Состав каждого конкретного, реального существующего природного объекта (горной породы, почвы, речной и подземной воды, в определенном месте и т. д.) обязательно имеет отличия от состава аналогичных объектов в другом месте. *Геохимическая неоднородность (ГН) пространства биосферы является ее характерным свойством.* Природные зоны и пояса также геохимически неоднородны, хотя их пространство объединено системой биогеохимических циклов массообмена, обусловленной определенными гидротермическими условиями.

ГН определяется двумя группами факторов.

*Первая группа* связана с колебаниями концентрации химических элементов и их форм нахождения в составных частях биосферы: земной коре, гидросфере, газовой оболочке. ГН выражена на поверхности земной коры, что связано с неодинаковым составом горных пород. Контрасты пород разного состава могут нивелироваться толщиной рыхлых отложений, на которых образованы почвы. Основная часть переотложенных продуктов выветривания состоит из мелких обломков размером от 0,01 до 1 мм, принесенных из разных районов. На состав почв влияют особенности минералогического и химического состава горных пород, а также процессы техногенеза в конкретной зоне.

*Вторая группа* факторов определяется изменением состава почвообразующих пород (как природного, так и техногенного характера), что меняет состав почв, поверхностных и грунтовых вод, а также виды и состав биомассы растений. В рыхлых покровных отложениях естественного происхождения концентрация рассеянных элементов, особенно металлов, ниже, чем в гранитном слое земной коры. Существуют обусловленные составом выветриваемых горных пород региональные геохимические особенности, что приводит к формированию покровов рыхлых отложений и сформированная на нем педосфера отвечает *минералого-геохимическим провинциям.*

Условия миграции в ландшафте (*правило типоморфности*) определяют немногочисленные типоморфные (ведущие) химические элементы, ионы и соединения – Ca, H, Fe, S, Cl и др. Внутри провинций выделяются территории распространения отложений, обогащенных высокодисперсными минералами, и территории, покрытые песчаными отложениями. В любом минерале концентрации рассеянных элементов имеют определенные числовые значения. Колебание концентрации элементов в коренных горных породах и рыхлых покровных отложениях приводит к геохимической неоднородности биосферы независимо от деятельности живых организмов, а ГН, в свою очередь, служит фактором развития живого вещества. *Отклонение концентрации химического элемента от его кларкового значения отражается на биологическом круговороте элементов и на составе местных живых организмов.* Это относится, прежде всего, к растительным организмам, непосредственно связанным с минеральным веществом почв и чувствительно реагирующим на колебания его состава, в том числе под воздействием антропогенных факторов, что обычно учитывается при оценке индексов устойчивости ПТК.

Геохимической неоднородности биосферы способствуют также факторы, связанные с неодинаковой интенсивностью вовлечения химических элементов в миграцию в разных эколого-геохимических и природно-технических системах. Интенсивность вовлечения элемента в миграционные процессы описывается с помощью специальных безразмерных коэффициентов – *ландшафтно-геохимических показателей.*

**Коэффициент водной миграции ( $K_w$ )** – это интенсивность биогеохимических процессов, обусловленная в значительной мере характером атмосферного увлажнения территории.  $K_w$  в сочетании с определенными почвенно-геоморфологическими условиями является важным фактором водной миграции химических элементов на суше, их мобилизации и вовлечения в миграционные циклы различной протяженности.

Вовлекаемые в водную миграцию массы химических элементов также неодинаковы и зависят от всего комплекса природных условий *водосборной площади* и характера ее организации. Суммарный годовой вынос химических элементов в растворимой форме на равнинах и крупных возвышенностях составляет от единиц до десятков тонн на квадратный километр, в горных районах – от десятков до сотен тонн. Величина твердого стока (выноса взвесей) на равнинах соизмерима с массами элементов, мигрирующими в растворимой форме, а в условиях пересеченного рельефа превышает их в несколько раз. В горных районах вынос взвесей превышает вынос растворенных масс на математический порядок. Следует учитывать, что растворенные формы химических элементов являются наиболее геохимически активными компонентами водного стока и определяют *фон водных объектов.* Основные классы миграции химических элементов представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные классы водной миграции химических элементов в современных природных ландшафтах

Щелочно-кислотные условия	Типовые водные мигранты	Типоморфные воздушные мигранты и окислительно-восстановительные условия		
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , (CH <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> S
Сильнокислые	H <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Al <sup>+3</sup> , Fe <sup>+3</sup>	Сернокислый	Сернокислое оглеение	Сернокислый сульфидный
	H <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Al <sup>+3</sup> , Fe <sup>+3</sup>	Солянокислый	-	-
Слабокислые	H <sup>+</sup> , Органические кислоты, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Кислый на кварцевых песках	Кислый глеевый (H <sup>+</sup> , Fe <sup>+3</sup> )	Кислый сульфидный
		Кислый переходный к кальциевому		
Нейтральные и слабощелочные	Ca <sup>+2</sup> , (Na <sup>+</sup> , Fe <sup>+2</sup> )	Кальциевый (Ca <sup>+2</sup> ) (H <sup>+</sup> - Ca <sup>+2</sup> ) Кальциевый-натриевый (Ca <sup>+2</sup> Na <sup>+</sup> )	Карбонатно-глеевый (Ca <sup>+2</sup> , Fe <sup>+2</sup> )	Нейтральный карбонатный сульфидный
	Ca <sup>+2</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Гипсовый Соленосный (Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Гипсовый глеевый Соленосной глеевый	Соленосно-сульфидный
Сильно-щелочные	OH <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SiO <sub>2</sub>	Содовый (Na <sup>+</sup> - OH <sup>-</sup> )	Содовый глеевый	Содовый сероводородный

Числовыми значениями  $K_b$  химических элементов характеризуют конкретный ландшафт. Этот показатель, представляющий собой отношение концентрации элемента в воде к его концентрации в почвообразующей породе данного района. Он используется для большинства химических элементов, особенно для тяжелых металлов, однако он не применим к таким циклическим элементам, как хлор, а также к элементам, которые переходят в газообразную форму в результате микробиологической деятельности или испарения (ртуть, сера, йод) и активно мигрируют в атмосфере.

**Коэффициент биологического поглощения  $K_b$**  является показателем интенсивности вовлечения многих химических элементов из почвообразующих пород, почв и содержащихся в них вод в биологический круговорот.  $K_b$  равен отношению концентрации элемента в золе растений к его концентрации в почвообразующей породе. Следует отметить, что, во-первых, величина  $K_b$  не зависит от концентрации элемента в исходной породе, но характеризует интенсивность его вовлечения в биологический круговорот, и, во-вторых, для некоторых элементов, особенно циклических и мигрирующих в газообразной форме, этот коэффициент дает представление не о захвате их из почвообразующей породы, а о суммарных поступлениях в организм растений из почвы и атмосферы.

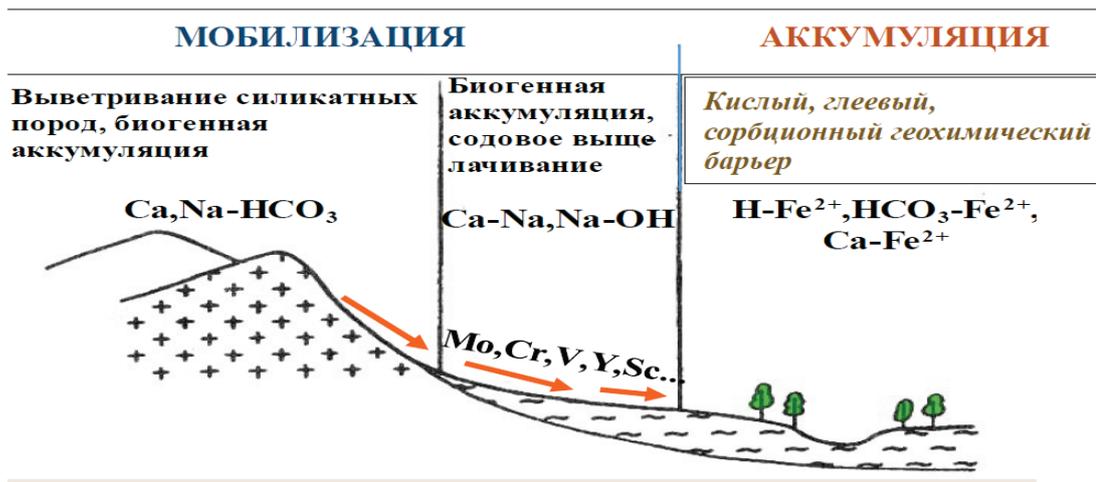


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема мобилизации и аккумуляции микроэлементов в степных ландшафтах (пример преобладающего нисходящего потока)

На интенсивность биологического поглощения влияние оказывают конкретные природные условия, в частности, специфика зональных типов растительности. Отдельные химические элементы могут поглощаться растительностью в одних ландшафтах с большей интенсивностью, а в других – с меньшей. Особенно резкий контраст интенсивности поглощения рассеянных элементов достигает в таежной растительности, а для других типов растительности величина поглощения значительно ниже. В качестве примера можно представить принципиальную схему мобилизации и аккумуляции микроэлементов в степных ландшафтах. Конкретный тип растительности в каждом конкретном местообитании характеризуется своими числовыми значениями коэффициента биологического поглощения. Например,  $K_b$  стронция много меньше единицы для растительности тундры и тайги и значительно больше единицы для растительности аридных ландшафтов. *Геохимический барьер* (на рис. 2 сорбционный) – участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, следовательно, их концентрации (А. И. Перельман, 1961).

Таким образом, каждая природная зона и пояс представляет собой сложную совокупность участков, каждому из которых присущи свойственные только ему геохимические и биогеохимические особенности.

**Коэффициент латеральной дифференциации ( $L$ )** представляет собой отношение содержания химического элемента в изучаемом подчиненном ландшафте ( $C_{из. л.}$ ) к его содержанию в автономном ландшафте ( $C_{авт. л.}$ ):

$$L = C_{из. л.} / C_{авт. л.} \quad (1.1)$$

Это показатель, характеризующий латеральную (т. е. горизонтальную) структуру ландшафта по содержанию химических элементов. По величине  $L$  судят о латеральной структуре ландшафтов, которая характеризует

геохимическое сопряжение в каскадных системах различных уровней (катенах). Для наглядности представления латеральной структуры ландшафтов принято строить диаграммы *L*-валовых форм металлов в почвообразующих породах и почвах ландшафтов. Эту работу выполняют на стадии инженерно-геологических изысканий.

### **1.5.3. Элементарная экогеосистема (элементарный ландшафт) и геохимические процессы в ней**

Участок территории, в пределах которого обнаруживается относительная однородность характеристик (однотипность рельефа, горных пород, почв, растительности и др.), принято рассматривать как пространственную (хорологическую) единицу биосферы, которую Б. Б. Полынов (1956) определил как *элементарный ландшафт (ЭЛ)*.

В биогеохимическом аспекте элементарный ландшафт представляет собой в иерархической хорологической системе биосферы Мировой суши наименьшую единицу и одновременно *элементарную эколого-геохимическую систему*. Это самый мелкий природно-территориальный комплекс, все компоненты которого (почвообразующие породы, почвы, поверхностные и грунтовые воды, атмосфера, живые организмы) связаны *циклическими процессами массообмена вещества*. Элементарные экогеосистемы, в свою очередь, связаны между собой потоками масс элементов, переносимых через атмосферу или путем водной миграции по поверхности суши.

Выделяют две группы ЭЛ в соответствии с межландшафтными связями.

Одну группу составляют ЭЛ, которые принято характеризовать как *геохимически автономные*. Внутри них ландшафтный массообмен между компонентами элементарной экогеосистемы, расположенной на возвышенных участках рельефа, происходит сравнительно независимо от соседних элементарных ландшафтов. Массообмен с окружающей территорией осуществляется только посредством переноса масс через атмосферу.

ЭЛ, систематически получающие дополнительные массы элементов с водным стоком, называют *геохимически подчиненными*. Для всех циклических процессов массообмена химических элементов в биосфере характерна их незамкнутость. Это проявляется от глобальных до происходящих внутри элементарной экогеосистемы. В процессе развития ландшафта массы элементов, выходящие из того или иного цикла массообмена в автономном ландшафте, выносятся за счет водной миграции в соседние ландшафты, расположенные на более низких уровнях рельефа. Такого рода связь является однонаправленной и осуществляется посредством миграционного потока масс. По изменению этих потоков оценивают нагрузку на ландшафт при эксплуатации и управлении ПТК.

**Типы ландшафтов**, выделяемые по соотношению биомассы и ежегодной продукции, четко ограничены друг от друга, т. е. «квантованы».

Массы химических элементов, вынесенные из геохимически автономных ландшафтов, вовлекаются в биогеохимические процессы, протекающие в геохимически подчиненных экогеосистемах. Связь массопотоков совокупности

элементарных ландшафтов, находящихся на разных уровнях рельефа, называют *геохимическим сопряжением*. Примером может служить рассмотренная ранее геохимическая связь верховых и низинных торфяников. Геохимическое сопряжение широко распространено в природе. Геохимическое сопряжение оказывает сильное влияние на биологический круговорот. Содержание зольных элементов в растительности подчиненных ландшафтов в несколько раз больше, чем в автономных. В ряде случаев концентрация химических элементов, поступающих в результате геохимического сопряжения, столь значительно повышается, что вызывает негативные последствия.

Принято выделять следующие ландшафтно-геохимические процессы:

- связанные с действием воды (*гидрогенез* по А. Е. Ферсману) в зоне гипергенеза – проникновение воды в литосферу с растворением, переносом и выделением из растворов различных минералов;
- обусловленные синтезом и разложением органического вещества в ландшафтах (*биогенез* по А. Е. Ферсману), биогенной миграцией и аккумуляцией химических компонентов, с формированием биогеохимических барьеров;
- образование и накопление в ландшафтах наименее подвижных, устойчивых органоминеральных производных гумусовых веществ, преимущественно гуматов кальция, гетерополярных соединений и адсорбционных поликомпозиционных комплексов с макроэлементами (*гуматогенез* по Глазовскому) – этот процесс наиболее характерен для ландшафтов кальциевого класса водной миграции;
- образование и накопление в ландшафтах ненасыщенных комплексных алюмо- и железогумусовых кислот и на их основе адсорбционных – органоминеральных структур – (*хелатогенез* по М. А. Глазовской). Характерен для ландшафтов кислого и глеевого классов водной миграции (Северо-Западный регион).
- трансформация компонентов естественного ландшафта, обусловленная прямыми или косвенными воздействиями различного характера от объектов хозяйственной деятельности или промышленных кластеров на различных стадиях их жизненного цикла, является процессом *антропогенеза* (по Н.Ф. Реймерсу) или *техногенеза*. Источники *техногенеза* – объекты технической инфраструктуры и хозяйственной деятельности, которые вызывают изменение характера миграции и аккумуляции химических веществ, с формированием специфических биогеохимических барьеров.

В качестве отправной точки при оценке характера ландшафтно-геохимического процесса на современном этапе развития территории и разработке решений по управлению ПТК в нагружаемом режиме на ней необходимо использовать материалы, приведенные в приложении 1, где отражены особенности доминирующих механизмов генетического сложения ландшафтов на территории России.

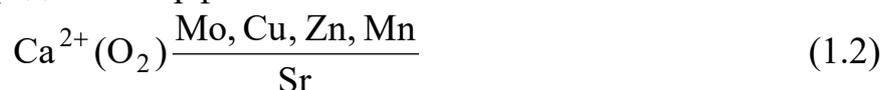
Явление геохимического сопряжения существует благодаря водной миграции за счет *типоморфных и индикаторных элементов*, поэтому значение разных химических элементов в этом процессе проявляется неодинаково.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , растворяясь в природных водах, определяют окислительно-восстановительные условия, от которых зависят переходы химических элементов, преимущественно металлов, в нерастворимые формы. В анаэробных условиях, в среде, не содержащей  $\text{H}_2\text{S}$ , но богатой  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , основная часть этих металлов активно мигрирует. В кислородосодержащей окислительной среде металлы образуют предельно окисленные формы, которые также нерастворимы (соединения железа, марганца, кобальта и других элементов).

Растворяющиеся химические элементы в почвенных и поверхностных водах в больших количествах играют особую роль и определяют кислотно-щелочные условия и переходы их в различное состояние (растворение – выделение фазы). Как отмечалось выше, такие элементы определяют как *типоморфные*. Элемент является типоморфным, во-первых, если его достаточно много и его выделяют как главный химический элемент. Во-вторых, форма присутствия элемента должна допускать его переход в растворимое состояние, причем принадлежность к главной группе элементов не является определяющим признаком типоморфного элемента. Например, кремний, входящий в прочную и устойчивую структуру кварца, не может стать типоморфным элементом, так как он трудно освобождается из минерала в природных условиях и требует жесткого химического воздействия для освобождения, поэтому в нормальных условиях поступает в воду в малых количествах и не оказывает существенного воздействия на состав вод и растений, несмотря на его большое количество в ландшафте. Типоморфный элемент, в-третьих, должен иметь способность аккумулироваться в подчиненном ландшафте, так как транзитно мигрирующий элемент весьма ограниченно участвует в геохимическом сопряжении.

Участвующие в водной миграции и биологическом круговороте *рассеянные элементы* не могут выступать в качестве типоморфных из-за небольшой концентрации. Вместе с тем рассеянные элементы характеризуют процесс внутри ландшафтного перераспределения, играют важную роль как микроэлементы, поэтому их называют *индикаторными элементами*. В тех же случаях, когда концентрация рассеянного металла возрастает в сотни и тысячи раз по сравнению с обычной (например, на выходах рудных месторождений или зольных отвалов), он может стать типоморфным элементом.

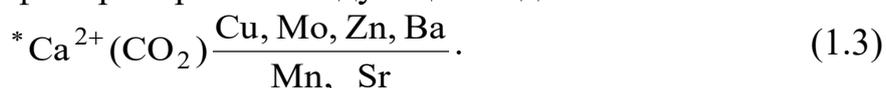
Любой элементарный ландшафт может быть охарактеризован *биогеохимической формулой* в виде неправильной дроби. На месте целого числа указывается типоморфный элемент, в скобках после него – растворенный в воде газ. В числителе указываются индикаторные рассеянные элементы, у которых  $K_b > K_e$ , в знаменателе – элементы с  $K_b < K_e$ . Таким образом, выделяются две основные для данного ландшафта группы индикаторных элементов, способствующих геохимическому сопряжению: первую группу составляют элементы, наиболее интенсивно вовлекаемые в биологический круговорот, вторая группа включает элементы, наиболее активно участвующие в водной

миграции. Для отличия автономного элементарного ландшафта от подчиненного в формуле последнего перед типоморфным элементом ставится знак \*.



В качестве примера приведена формула (1.2), которая характеризует автономный элементарный ландшафт, где перераспределение химических элементов осуществляется при наличии большого количества ионов кальция в поверхностных водах и свободного доступа кислорода, т. е. в слабощелочной окислительной среде. В биологический круговорот наиболее интенсивно вовлекаются молибден, медь, цинк, марганец, а в поверхностные и грунтовые воды интенсивно мобилизуется и активно мигрирует вместе с ними стронций. Это характерно для степного ландшафта.

Луговые же ландшафты характеризуются недостатком кислорода, приток воды приводит к периодическому подъему и застаиванию грунтовых вод в долинах. В таких случаях в разной степени оглеены почвы, а в воде повышаются концентрации некоторых металлов, в частности, марганца. С учетом этого, формула лугового ландшафта приобретает следующий вид:



Для каждой конкретной зоны или пояса характерны, помимо общих, также индивидуальные биогеохимические закономерности. Участки внутри зон и поясов имеют свои отличительные особенности. Самой мелкой пространственной единицей биосферы суши является элементарный ландшафт (элементарная эколого-геохимическая система). Интенсивность вовлечения химических элементов в циклическую миграцию в экосистемах можно описать с помощью совокупности специальных показателей – ландшафтно-геохимических коэффициентов ( $K_b$ ,  $K_e$ ,  $K_k$  и др.).

При планировании развития ПТС и целевого использования конкретного ландшафта на стадии инженерно-экологических изысканий проводят почвенно-геоморфологическое профилирование, которое предполагает определение взаимосвязи почвенного покрова с рельефом растительности, уровнем грунтовых вод, видом использования территории, который дает наглядное представление о закономерностях размещения типов почв (генез объекта), как части природного комплекса в соответствии с СП 502.1325800.2021.

## 1.6. Техногенез в системе формирования природно-технических систем

Техногенез всех рассматриваемых процессов геохимической трансформации биосферы является наиболее сложным видом техносферной миграции энергии, химических и биологически активных веществ (видов). Первые работы по осмыслению этого вида миграции принадлежат В. И. Вернадскому, который выделил в биосфере новый вид ее существования – ноосферу, для которой одним из признаков является техногенная миграция

(техногенез), что неизбежно должно привести к системе разумного управления этим процессом. По его мнению, ноосфера есть новое геохимическое явление на нашей планете, где человек становится крупнейшей геохимической силой.

Техногенез – процесс изменения *природных комплексов* под воздействием производственной (хозяйственной) деятельности человека. Он заключается в преобразовании *биосферы*, вызванной совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из ОС, концентрированию и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений. Это определение было включено в ГОСТ 17.5.1.01-78 и прочно закрепилось в практике природопользования. Однако современный техногенез нельзя рассматривать исключительно как негативное явление. Существует несколько его различных форм, которые в совокупности с их проявлениями и последствиями следует рассматривать как отдельные экологические механизмы данного явления, которое необходимо адаптировать для организации и управления технобиосферой.

Мониторинг и системный анализ геохимии биосферы и техногенеза как основного процесса формирования современной ноосферы сегодня рассматривается как теоретическая основа управления рациональным использованием природных (воспроизводимых, невозпроизводимых и вторичных) ресурсов и комплексной системы охраны природы и регулирования качества окружающей среды в системе построения нового уклада экономики устойчивого развития в зоне системообразующего типа геосистемы.

Можно выделить несколько *механизмов техногенеза*:

**1. Деградационный механизм** сопровождается утратой хозяйственного, рекреационного потенциала территории с изменением почвенного слоя (ландшафта) и биоразнообразия при осуществлении природопользования.

**В систему деградационного механизма могут входить следующие процессы:**

- изменение исходных характеристик ландшафта и вмещающих пород;
- извлечение пород и химических элементов из природной среды (добыча полезных ископаемых и их перемещение, концентрирование (обогащение) и формирование отвалов «пустых пород»). Сегодня эти процессы регламентируются в рамках наилучших доступных технологий (НДТ);
- создание новых композиций, перегруппировка химических элементов, изменение первоначального химического состава с получением в том числе *ксенобиотиков*;
- рассеяние химических элементов, вовлеченных в техногенез, которое может происходить планомерно (внесение удобрений, орошение полей, перемещение грунта при строительных работах) и при эмиссии загрязняющих веществ от организованных и неорганизованных источников сбросов и выбросов.

**2. Модифицирующий механизм** подразумевают искусственное создание условий, благоприятных для развития определенных групп организмов или

даже обуславливающих саму возможность их существования. Например, развитие аквакультуры в системе восстановления популяции или адаптации сохраняемых видов.

**3. Поддерживающий механизм** – основанный на возведении и работе целенаправленно создаваемых систем инженерно-экологического обустройства, работа которых позволяет сохранять и поддерживать благополучное экологическое состояние участка окружающей среды. Примером может служить искусственная аэрация водных объектов или проведение дноуглубительных работ на русле.

**4. Креативный механизм** заключается в создании новых природно-антропогенных объектов, например, исторически значимых объектов на территории и в акватории Кронштадта или водохранилищ, которые часто становятся важным компонентом природно-технических систем.

**5. Управляющий механизм** – включение территории (водного объекта или участка лесного массива) в качестве компонента в управляемую природно-техническую систему. В отличие от «поддерживающего механизма» управление состоянием участка окружающей среды осуществляется не его собственной системой инженерно-экологического обустройства, а регулятором (природопользователем, использованием системы автоматического контроля (САК) с включением в региональные, глобальные геоинформационные системы (ГИС) конкретной природно-технической системы, элементом которой он является. Например, это может быть водный объект, состояние которого регулируется контролем режимов водовыпуска ряда водопользователей с учетом обеспечения ПДС или режима пропуска вод гидроэлектростанцией с контролем условий подтопления определенной территории.

Процесс техногенеза может включать сочетание различных механизмов при его реализации на конкретной территории и будет требовать их учета в общей системе управления ПТК.

Сочетание системного поддерживающего и управляющего механизмов техногенеза создает условия формирования природообустройственного техногенеза, который особенно востребован для урбанизированных территорий в современных условиях.

Крупные ПТК, градообразующие предприятия и предприятия 1 и 2 категории воздействия на ОС в обязательном порядке должны разрабатывать планы повышения экологической эффективности, которые сегодня предусмотрены при получении комплексного экологического разрешения (КЭР). Получение этого документа проходит обязательную экологическую экспертизу, что является элементом управления ПТК и важным регулятором снижения нагрузки на ОС и способствует улучшению комфортности проживания различных биовидов на рассматриваемой территории.

Экологическая оптимизация инженерно-технических объектов и контроль их эффективности является основой альтернативной стратегии охраны окружающей среды, которая в современных условиях способна на практике обеспечить реализацию концепции устойчивого развития.

Концепция устойчивого развития и результаты работы международной комиссии ООН по ОС и развитию в динамике отдельно рассматриваются в курсе «Современные проблемы защиты окружающей среды» и отражены в одноименном учебном пособии А. Б. Дягилевой.

В контексте обсуждения процесса техногенеза на рисунке 1.3. представлена схема эволюции общества и место техносферы в ней.

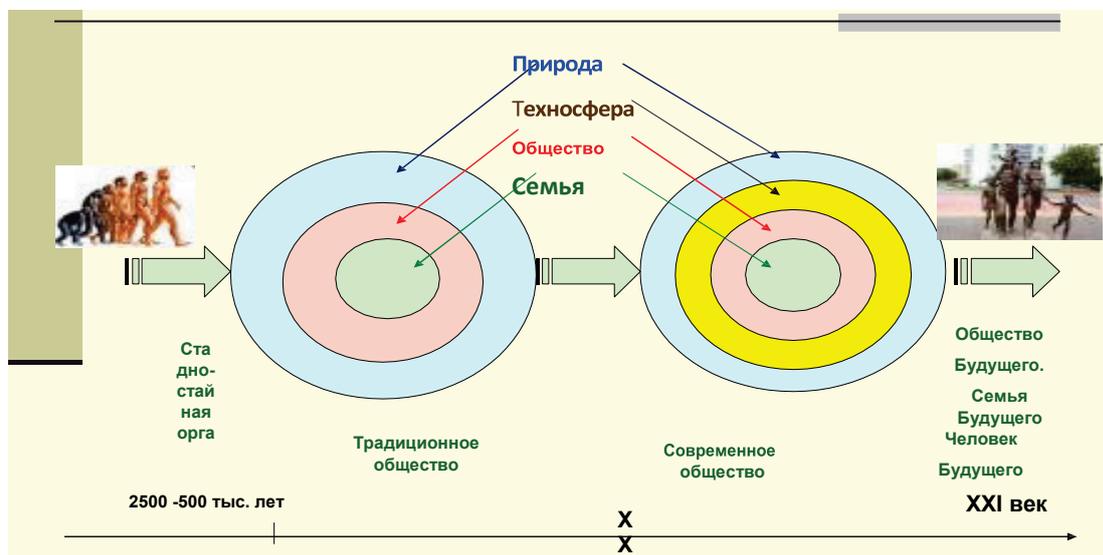


Рисунок 1.3 – Переход традиционного общества к современному («МЭЖ Устойчивое развитие: наука и практика», [www.yrazvitie.ru](http://www.yrazvitie.ru))

Сообщество людей прошло долгий исторический путь от первых технических изделий к локальным технотопам, их интеграции в региональные технотопы и далее к глобальному технотопу – *техносфере* как глобальному явлению.

На современном этапе генетически неизменное поколение «проходит» несколько поколений техники, технологии и информационного сопровождения. Частота смены технологии  $f_c = 1/T_c$ , которую можно принять за эталонную частоту смены в негенетической информации, сначала стала равной частоте смены поколений  $f_b = 1/T_b$ , а затем и превысила ее  $f_c > f_b$ . На начальном этапе эволюции человека и создаваемой им техносферы частота смены поколений многократно превышала частоту технологического обновления  $f_b \gg f_c$  (технический прогресс). Это процесс имеет важные следствия для организации общества и управления ПТС и устойчивым инновационным развитием в техносфере через различные механизмы техногенеза.

Кроме геохимических процессов трансформации биосферы в контексте современных процессов урбанизации и развития крупных ПТС в виде агломераций мегаполисов, В. А. Косарев вводит термин «экономическая урбанизация». Этот период развития накладывается на традиционные технологии производства, увеличивает энергетическую нагрузку на систему и доминирует в экономическом развитии общества за счет роста *цифровой экономики*, сферы услуг и переработки вторичных материалов (отходов) в городских агломерациях. Сочетание индустриальной и постиндустриальной составляющих развития техносферы,

неравномерность развития регионов требуют реализации гибкой экологической промышленной политики и управления новых ПТК на различном уровне их развития.

На рисунке 1. 4. приведены обобщенные вызовы современности, стоящие перед мировым сообществом, которые, к сожалению, провоцируют кризис эколого-социальный на фоне глобального экономического, вызванного нерациональным использованием природных ресурсов и извлечением сверхприбыли.

Все это в совокупности приводит к постепенному сползанию к глобальным экологическим изменениям. Диаграмма ресурсно-демографических вызовов роста населения и запасов невозобновляемых ресурсов в ходе глобального исторического процесса до настоящего времени демонстрирует системное истощение и дефицит невозобновляемого сырья. Этот прогноз (рис. 1.4) (Васильев Ю. С., 2011) построен на основе аксиомы замкнутости для потоков энергии и, как следствие, неизбежности достижения пределов роста.

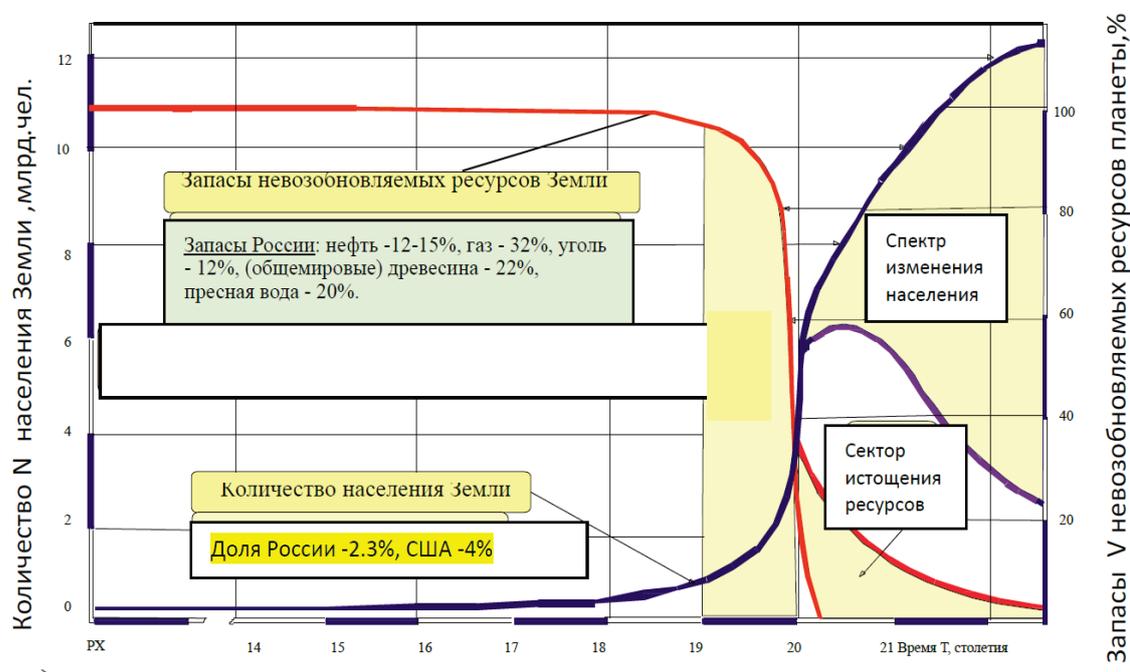


Рисунок 1.4 – Ресурсно-демографические вызовы современности

В глобальном отношении совокупность энергетической эффективности технологий не может быть выше достигнутой биосферной – около 1 % от вовлекаемой (в случае биосферы – приходящей от Солнца) энергии (правило 1 % Н. Ф. Реймерс). Нарушение этого правила приводит к потери устойчивости ПС. Для всех конкретных технологических процессов есть расчетные, теоретически достижимые величины использования и выхода всех компонентов, которые должны быть отражены и поэтапно достигнуты при использовании наилучших доступных технологий НДТ, что необходимо реализовать в ближайшей перспективе с учетом энергетической трилеммы и критериев ESG (см. гл. 4). С эколого-технологической точки зрения в перспективе необходимо предусмотреть цепь технологических процессов, где побочные продукты (отходы) одного производства становится сырьем другого.

Таблица 1.4 – Динамика развития техногенеза на различных этапах природопользования

Этапы техногенеза	Формы хозяйственной деятельности	Доминирующие процессы	Изменение в экосистеме в результате техногенеза	Цель деятельности, приоритетность его характера
Биогенез	Отсутствуют	Естественные процессы	Отсутствуют	Обеспечение проживающих биовидов природными ресурсами в естественной среде. Характер примитивный
Прото-технегенез	Элементарные формы хозяйствования. Ограниченная природо-хозяйственная деятельность	Простые технические приемы на фоне естественных ландшафтов. Примитивное изменение ландшафта и ряда естественных геохимических процессов	Истребление отдельных биовидов (растительного и животного происхождения). Изменение продуктивности ландшафтов на отдельных участках биосферы	Расширение ореола овладения новыми биоресурсами. Характер – собирательство. Обеспечение биопродукцией. Интенсивное освобождение площадей и замена биовидов
Индустриальный техногенез ( <i>антропогенез*</i> )	Механизованное и химическое развитие крупномасштабного промышленного производства ЛПК	Негативное воздействие на постоянной основе, формирование факторов, влияющих на естественные геохимические процессы	Специфическая трансформация окружающей среды на региональном уровне, постепенное развитие проявлений на ландшафтном уровне, необратимые изменения биогеохимических циклов, «кризис редуцентов»	Извлечение максимальной прибыли при интенсификации промышленного производства. Линейная «спекулятивная» экономическая модель деятельности
Современный техногенез (постиндустриальный)	Реализация производства по принципам НДТ в рамках экологических ограничений	Негативное воздействие в пределах допустимых нагрузок со стабилизацией геохимических процессов	Формирование технотопов с неконтролируемыми геохимическими процессами в биосфере в глобальном масштабе, переход биосферы в биотехносферу	Эколого-экономически обоснованное расширение производства с извлечением прибыли и с учетом компенсации ущерба
Управляемый техногенез (ноотехногенез)	Развитие циркулярной экономики с вовлечением вторичных продуктов в производственные циклы	Минимальное негативное воздействие со стабилизацией геохимических процессов	Искусственно регулируемые в биотехносфере условия, обеспечивающие качественную среду обитания населения в технотопках и сохранение биоразнообразия на охраняемых территориях	Достижение эколого-экономического устойчивого развития, основанного на обязательном использовании природоподобных и наилучших технологий

Таким образом, утилизационная технология или технология замкнутого цикла может приблизить человечество к теоретическому минимуму глобальных антропогенных отходов, равному естественным отходам в биосферных циклах (формирование углей, известняк и т. д. по геохимическим процессам). Это и является центральной задачей системы экологического управления ПТК.

Чтобы регулировать процессы техногенеза на современном этапе развития, необходимо классифицировать динамику развития техногенных процессов на разных этапах активного природопользования. Данная классификация приведена в таблице 1.4 на основе анализа деятельности лесопромышленных комплексов (ЛПК), которые непосредственно участвуют в процессе техногенеза, и их система управления (экологического менеджмента) во многом определяет перспективы перехода к циркулярной устойчивой экономики регионов в зоне их влияния.

В основе социальной миграции химических элементов техносферы лежит спрос на ресурсы и желание комфортного проживания современного общества. Природа техногенного вещества является производным от вида используемого ресурса компонентов природы и потребительской корзины каждого региона, пользующегося спросом. Современные технологии активно создают композиции их техногенных веществ вследствие синтеза и технологического обеспечения процесса, диктуемого предложением промышленного производства и спросом потенциального потребителя.

Важным следствием этого процесса определяется главная задача в системе управления ПТК – выстраивание системы управляемого техногенеза – оценка масштаба, прогнозирование динамики изменения. Сюда также входит процесс перехода на соподчиненность процессов в развитии техносферы в рамках экономики с элементами плановой нагрузки на экосистему; создание информационно-поисковой системы, связывающей в единый управляемый «симбиоз» (ноотехнобиоз) виды техногенного вещества и их потенциальных потребителей на конкретной территории ПТК. Направленное движение ноотехногенеза, вызывающее миграцию техногенных веществ в окружающей среде, может и должно происходить в режиме непрерывного мониторинга без значимого ущерба ноосфере и подчиняться принципам сбалансированной комплексной циркулярной экономики. Для понимания механизма этого процесса и регулирования граничных условий развития ПТС необходимо более корректно определиться с функциями ПТС.

## 2. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ФУНКЦИИ

В разделе 1.2 рассматривались механизмы перехода природной системы в природно-техническую систему (ПТС) и ее генетически унаследованное свойство иерархичности организации. Таким образом, мы будем рассматривать ПТС, которая представляет собой целостную, упорядоченную в пространственно-временном отношении совокупность унаследованных от ландшафта природных и приобретенных техногенных элементов, функционирующих как единая система (например, портовые сооружения или предприятия лесопромышленного комплекса).

Термин «природно-техническая система» появился достаточно давно, однозначной трактовки, закрепленной в стандартах, не имеет, поэтому принимаем ПТС как совокупность форм и состояний взаимодействия компонентов природной среды с инженерными сооружениями или объектами хозяйственной деятельности на всех стадиях функционирования (во времени и пространстве) – от проектирования до реконструкции или вывода из эксплуатации.

Несмотря на значительное разнообразие ПТС, можно выделить *три основных вида: стихийные, регулируемые и управляемые*.

Примером *стихийной ПТС* может являться водно-болотный массив, образовавшийся при прокладке дорожного полотна или линейных объектов с нарушением движения подземных вод или выхода ливневой канализации без обеспечения достаточного дренирования. В большинстве случаев развитие таких ПТС идет путем деградации окружающей среды.

Состояние *регулируемых ПТС* контролируется с помощью специальных инженерно-технических систем. К ним можно отнести пополняемые из системы городского водопровода благоустроенные городские водные объекты вместе с комплексом функционирующих на них гидротехнических сооружений (например, каскад фонтанов Петергофа).

*Управляемая ПТС* – это система, состоянием которой можно манипулировать, создавая в ней условия, благоприятные для жизни человека. К подобным ПТС можно отнести системы, формирующиеся на основе крупных гидроэлектростанций, которые в результате экологической оптимизации превращаются в регуляторы условий окружающей среды регионального масштаба. Они способны поддерживать экологически оптимальные параметры стока реки и уровня грунтовых вод, защищают прилегающие территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (наводнений, засух, аварийных разливов токсичных загрязнителей). В идеале городские агломерации должны стать комплексными управляемыми ПТС.

Как отмечалось выше, ПТС – структурная единица биотехносферы. При интенсивном развитии техносферы биосфера в глобальном масштабе переходит в ПТС планетарного масштаба. Таким образом, как и структура ландшафта, на котором располагаются ТС, имеют несколько иерархических уровней:

- элементарный ландшафт (простое урочище), объектный (здание);

- локальный ландшафт (пример – водосборный бассейн);
- региональный ландшафт (субъект федерации, страна);
- глобальный ландшафт (континент).

В каждую конкретную ПТС входит достаточно определенная в геохимическом аспекте часть ландшафта со свойственными ему биогеохимическими процессами, на которые накладываются специфические, свойственные только вписываемой ТС в это пространство, влияние которой отражается на показателях качества всех элементов трансформированной экосистемы. Влияние во многом зависит от вида ТС. Оно может проявляться в геологических, гидрологических, атмосферных и биологических процессах, свойственных ландшафтам. Интенсивность вовлечения химических элементов в циклическую миграцию в экогеосистемах (см. раздел 1.3) можно описать с помощью совокупности специальных показателей – ландшафтно-геохимических коэффициентов ( $K_b$ ,  $K_e$ ,  $K_k$  и др.).

Доминирующее взаимодействие ТС связано с геологической средой. Для обозначения таких видов взаимодействия ТС и литосферы появились понятия геотехнической или литотехнической системы (ЛС). ЛС – это часть ПТС, включающая объекты техносферы (ТС) и взаимодействующую с ними часть литосферы (фундаменты, подземные сооружения, система трассировки коммуникаций и т. д.)

В элементарной природно-технической системе компонентами являются отдельное сооружение и сфера взаимодействия с ним геологической среды. Примером может служить отдельное здание.

Локальная ПТС формируется и функционирует под влиянием взаимодействий комплекса сооружений с литосферой, т. е. состоит из элементарных ПТС, сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются.

Как любая техническая система, ПТС имеет свои параметры надежности, безопасности, экологичности, которые подлежат контролю и управлению. Все эти параметры определяются на стадии проектирования требованиям к жизненному циклу ПТС. В части работы и услуги по созданию технических систем безопасности, включающих установки, комплексы, системы и технические средства обеспечения безопасности и жизнеобеспечения объекта выполняется в рамках (ГОСТ Р 56936-2016).

В общем виде жизненный цикл технической системы (рис. 2.1) можно рассматривать как жизненный цикл любого проекта. Однако для ТС необходимо строго определить период реконструкции, реноваций и вывода из строя, т. е. период (утилизации) элементов ТС и переход на новый уровень. Это важно для развития безопасной комфортной среды обитания и прогнозирования динамики техногенеза.

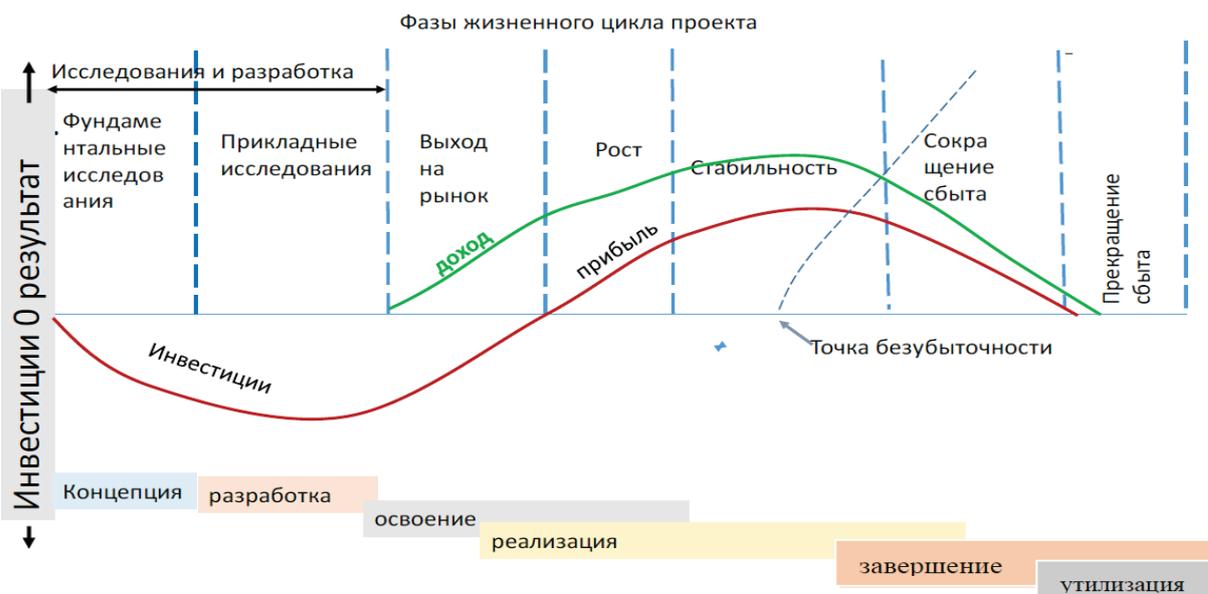


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема жизненного цикла ТС

Как отмечает А. Л. Суздалева, изучение ПТС находится на начальном этапе и особенности перехода в территориально-производственные комплексы практически не рассматриваются. Большинство опубликованных ранее работ носит описательный характер, фиксирующий лишь наличие данного феномена. Целенаправленное изучение процесса формирования ПТС и управления не проводилось. Однако надо отметить, что работы в этом направлении уже ведутся давно и достаточно продуктивно, учитывая значительные проекты по развитию инфраструктуры на территории Северо-Запада и в Дальневосточном регионе. Эти исследования имеют междисциплинарный характер, требуют большой базы данных, которые не всегда можно найти в общем доступе, хотя достоверность и доступность информации по экологическому состоянию природных систем и объектов хозяйственной деятельности никто не отменял. Это существенный недостаток этих работ, но учитывая особенность современного политического ландшафта, это вполне объяснимо, и поэтому публикуются основные тенденции этих исследований.

Базовыми принципами любой современной области знаний о полифункциональных системах, к которым относятся ПТС, являются системность базовых знаний, междисциплинарность их использования и синергетичность познания, которые позволяют ценить эмерджентность новых объектов техногенеза.

Новое *научное направление* в системе развития ноосферы является важным этапом, который предвидел В. И. Вернадский и прогнозировал неизбежность перехода к научному управлению техносферой, в том числе с использованием нейросетей. Его можно обозначить как «системную геотехноэкологию» – науку, создающую методологические основы управления техногенезом биосферы, гармонично сочетающую комплексное решение социально-экологических, технологических и экономических задач при гармоничном их симбиозе в рамках минимального риска. Это практически предполагает переход в систему

относительно устойчивого состояния развития регионов с переменными скоростями роста по этапам эксплуатации ТС.

Процесс развития ПТС можно представить по аналогии процесса почвообразования в элементарном ландшафте. Следует подчеркнуть, что почва – продукт взаимодействия соподчиненных почвообразующих факторов во времени. Изменяются условия, изменяется и характер взаимодействия. На каком-то этапе развития определяющими были одни факторы, (например, количество опада), развитие могло идти по прогрессивному пути и достигать равновесного состояния по снижению подвижности металлов в грунтовой воде, но в какой-то момент доминировать стали другие факторы (например, дружная бригада дворников собрала и отправила листья на ТБО), т. е. изменилось соотношение компонентов во времени и развитие приобрело новый виток генетического развития почвенного слоя (деградация), как части системы ПТС.

Для большей наглядности общие стадии генезиса ПТС можно изобразить графически (рис. 2.2).

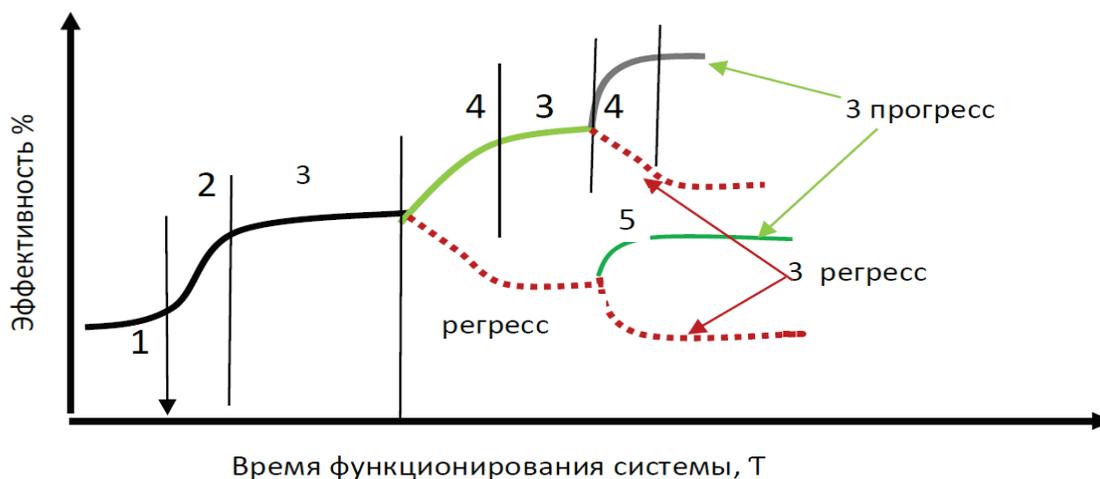


Рисунок 2.2 – Схема стадий геохимических процессов ПТС:

1 – выхода на процесс функционирования, 2 – стадия развития, 3 – стадии относительного равновесия (климакс ПТС), 4 – эволюция, 5 – новый эволюционный процесс после регресса

На стадии 1, которая характеризует выход системы на рабочую мощность, система проходит «адаптацию к экологическим ограничениям» при минимальном выбранном режиме эксплуатации. Стадия 2 соответствует процессам формирования нагрузки и доведения системы до рабочих технологических параметров. При достижении проектных технологических параметров в условиях регламентированных ограничений по экологическим показателям наступает стадия равновесия системы (3), которая не приводит к увеличению мощности производственного процесса, это состояние для биосферы называется *климаксным состоянием*. Но равновесное состояние системы может быть нарушено изменением какого-либо из факторов,

определяющих регламентированное состояние системы (качество воды в источнике на водозаборе, климатические явления, человеческий фактор, снижение времени наработки на отказ и т. д.) во времени, что приводит к эволюционным процессам в компонентах ландшафта, где расположена ПТС, причем эволюционные процессы могут идти по пути нарастания эффективности процесса по контролируемым показателям (например, увеличение нормы выхода продукции на единицу сырья) – *прогрессивный путь (3 зеленый)*, или по пути уменьшения мощности, т. е. по пути деградации *нерациональности использования ресурсов – регрессивный путь (3 красный)*.

Функционирование любой ПТС и далее ТПК как объекта техногенеза имеет целенаправленный (плановый) характер. Они выполняют социально-экологические, технологические и экономические функции, заданные человеком в конкретный промежуток времени.

Совокупность существующих взаимодействий технических систем с окружающей средой подразделяет ПТС на специфические подсистемы: геотехнические; биотехнические, историко-архитектурные, тропотехнические, акватехнические системы и т. п.

Особый класс ПТС формируется при развитии нашей страны – это прибрежные ПТС (ППТС). К ним относятся:

- нефтегазопромысловые сооружения;
- морские транспортные узлы (порт, фарватер, причалы);
- урбосооружения (типа плавучих островов полифункционального значения);
- сооружения для энергетических целей;
- морские туннели, мосты для пропуска сухопутного транспорта;
- сооружения для водообеспечения;
- берегозащитные сооружения и т. д.

Все эти объекты при разработке проектов по созданию ПТС проходят комплекс инженерно-изыскательских работ, материалы заключения которых подлежат обязательной экологической экспертизе. Сами проектные решения, разработанные в рамках допустимых воздействий, подлежат общественным слушаниям, согласованию и прохождению экспертизы безопасности и экологической экспертизы.

Типы антропогенного воздействия на ПТС, на которые необходимо обращать внимание при планировании и функционировании ПТС:

1. Поступление в природную среду чужеродных компонентов в виде эмиссии от специфического вида хозяйственной деятельности.
2. Извлечение субстанции из природной среды (добыча – например, намыв песка в акватории).
3. Блокирование (остановка потока минеральных веществ – например, разрыв гидравлической связи при организации набережных и проездов).
4. Ускорение потоков (подземных вод, минеральных примесей, биогенов и т. д.) (например, организация иловых площадок).
5. Превращение субстанций (фазовые переходы).

6. Мобилизация/иммобилизация субстанции (заболачивание вырубок, захоронение отходов, наносы и т. д.).

Путь деградации ландшафта как урбанизированного элемента наиболее часто проявляется в условиях антропогенного воздействия на территорию, в том числе за счет накопленного экологического ущерба предыдущей хозяйственной деятельностью. Любая хозяйственная деятельность человека в настоящий момент должна быть сведена к минимальному значению и соответствовать НДТ, что является механизмом перехода к так называемому «устойчивому развитию» (что соответствует равновесному состоянию) ПТС и экономики в целом.

Целенаправленность ПТС заключается в выполнении заданной функции при сохранении своей целостности и структуры. Основными свойствами ПТС с этой позиции являются: **разномасштабность** (масштаб картирования, площадь объектов и вспомогательных систем); **открытость** (вещественный запас ПТС изменяется во времени от материальных, энергетических поступлений и потерь при взаимодействии со средой); **динамичность** (изменение состояния ПТС во времени под воздействием внешних и внутренних сил); **относительная устойчивость** (способность сохранять свои свойства в заданном диапазоне времени в заданном режиме).

Важную роль играет системообразующий **тип геосистемы**, на основе которого создается ПТС, например: 1 – *циклический тип*, 2 – *транзитный*, 3 – *каскадный*. В зависимости от этого, логично оценивать *адаптационную устойчивость* для эко- и геосистем первого типа, *регенерационную* – для второго или для второго и третьего типов систем. Этого на практике не происходит. В оценке устойчивости, как правило, присутствуют индивидуальные исследования по различным видам устойчивости и сведение этих результатов в балльно-рейтинговую систему.

Вопрос устойчивости любой системы в широком понимании для любой отрасли знаний: механики, химии, физики, биотехнологии и т. д. – является центральным и фундаментальным для решения широкого круга задач и поэтому требует особого набора знаний и их систематизации для междисциплинарной, относительно молодой науки о природно-технических системах.

### 3. УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Вопрос устойчивости природно-технических систем является достаточно сложным, многофакторным и однозначного решения в настоящее время не имеет. Однако эта область знаний находится в стадии активного изучения и развития научного подхода, который может быть применен к организации системы управления устойчивого развития ПТС.

Устойчивость является одним из фундаментальных понятий в естественно-научном комплексе исследований (химии, математике, биологии и т. д.), в том числе при исследовании развития ПС и ПТС. Это проблема необычайно актуальна в связи с усилением антропогенного давления (различного вида возмущений) на экосистемы различного уровня и необходимостью оценки риска изменения среды обитания в рамках допустимых пределов при планировании освоения и развития территорий.

В общем случае *устойчивость системы* – способность системы оставаться *относительно* неизменной в течение определенного периода времени вопреки внешним и внутренним возмущениям.

Любая ПС, независимо от иерархического уровня (от наноструктур до макрообъектов, включая Солнечную систему) функционирует в пространстве и во времени, подвергается воздействиям различного происхождения (естественных, антропогенных).

Длительность устойчивого функционирования экосистемы зависит от многих факторов, среди которых существенную роль играют их интенсивность и длительность воздействия.

Для каждой системы существует определенный набор факторов воздействий, которые определяют ее устойчивость, стабильность и самоорганизацию с переходом на новый уровень.

Согласно общим представлениям надежности и экологической безопасности ТС, устойчивость ПТС может определяться следующими свойствами:

- способность сохранять функции объекта в течение расчетного времени до состояния его отказа;
- способность восстанавливать прежнее состояние после возмущения (воздействия, преодолеть энергетический барьер) или плановых мероприятий по ее обслуживанию;
- способность адаптироваться к изменившимся условиям, переходить на новый уровень в состояние относительного равновесия (закон последовательного прохождения фаз развития) в зависимости развития технологии в данном направлении хозяйственной деятельности;
- способность сохранять важные параметры на определенном уровне за счет совокупности исходных параметров ПС (гомеостаз) и вписанной ТС в конкретный ландшафт;

- способность реагировать индифферентно на внешний сигнал, передавая его по цепочке в системе общей безопасности технологического объекта;
- способность отражать ряд воздействий своим полем в диапазоне расчетных экологических нагрузок;
- способность к длительному накоплению и достраиванию внешней оболочки (но не до бесконечности), без видимого вреда системе в рамках ограниченного пространства;
- способность проводить транзитом через систему потоки веществ (сырья, солнечной энергии, воздушных масс) без явного воздействия на систему;
- способность сохранять производственную функцию в социально-экономической системе развития региона;
- способность сохранять траекторию развития определенного вида хозяйственной деятельности на принципах рационального природопользования.

При анализе проблемы устойчивости любой ПС или ПТС используют следующие подходы: идентификация системы, определение ее структурных единиц и установление воздействия (факторов), определяющих изменение основных ее параметров, приводящих к устойчивому или, наоборот, к неустойчивому состоянию.

Способность экосистемы под определенным воздействием на нее сохранять внутреннюю организационную структуру в одной области устойчивого состояния принято характеризовать свойством «упругость». Следует отметить, что понятие «упругость» предполагает наличие нескольких областей относительного равновесия экосистемы.

При исследовании и оценке устойчивости экосистем и ПТС целесообразно проводить два вида оценок: на базе *теоретических представлений* элементов, входящих в ПТС и известных моделей их поведения (например, с использованием математических моделей по Ляпунову) – *качественная* составляющая оценки; на базе *практических* подходов – *количественная* составляющая.

Такие принципы широко используются в химии для оценки параметров устойчивости дисперсных систем, из которых моделируются и создаются новые композиционные материалы.

На первом этапе оценки устойчивости предполагается детальное рассмотрение структуры экосистемы и ПТС, которое позволяет выявить как слабые места в ПТС, так и совокупность воздействий, приводящих к неустойчивости системы при их совместном воздействии. При выполнении практической части оценки, которая выполняется на стадии инженерных изысканий при проектировании и создании ПТС в идеальном случае, проводят комплекс работ, предусмотренных законодательством РФ в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016, приказа Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 30.12.2020 № 1839 и приказе Минстроя от 14.11.2023 № 814/пр «Об утверждении перечня нормативных правовых актов (их отдельных положений), содержащих обязательные требования, оценка соблюдения которых осуществляется в рамках государственной экспертизы

проектной документации и результатов инженерных изысканий». Инженерно-экологические изыскания – один из основных видов инженерных изысканий, выполняемый для изучения и оценки инженерно-экологических условий территории, на которой создается и будет функционировать ПТС.

Это может быть район, площадка, участок трассы, включая зону возможного воздействия проектируемого объекта на другие объекты в зависимости от иерархичной организации ПТС. На основе этих исследований и составления прогноза возможных изменений инженерно-экологических условий, обоснования мероприятий по ООС и предотвращению негативного воздействия на биотопы, а также условия жизнедеятельности человека, принимаются технические решения, которые подлежат мониторингу для развития представлений по режимам функционирования управляемых ПТС.

В общем случае выделяется круг приоритетных показателей, состояний ПТС и проводится комплексная оценка воздействия на безопасность функционирования системы и окружающую среду в зоне ее влияния. При этом необходимо оценить величины различных видов риска, в том числе экологического, который в современных условиях функционирования любых систем имеет тенденцию не обнуляться, а только возрастать при учете различных факторов. Эти механизмы анализа ПТС будем разбирать в курсе «Управление рисками, системный анализ и моделирование».

Учитывая сложность и многокомпонентность ПТС в составе единого объекта, в качестве количественной оценки используют *индексы устойчивости*, вычисленные по показателям совокупной нагрузки по различным параметрам на территории ПТК.

Для технических систем можно выделить различные виды устойчивости и их совокупность: устойчивость механическая, устойчивость физико-химическая (агрегативная, седиментационная), энергетическая, эколого-геохимическая устойчивость, устойчивость ландшафта, экологическая и социально-экономическая устойчивость, политическая устойчивость и ряд других видов устойчивости в зависимости от видов хозяйственной деятельности. Каждый вид устойчивости имеет свои критерии оценки, которые могут использоваться в совокупности для оценки конкретных ПТС, но то, что их объединяет – это использование балльной и рейтинговой оценки изменения состояния систем.

Устойчивость структуры почвы (*structure stability*) – принято рассматривать как сопротивляемость почвенной структуры разрушающему действию внешних факторов, в частности, воды. Некоторые факторы в результате хозяйственной деятельности разрушают структуру, другие ее восстанавливают. Снижение устойчивости структуры имеет место при избыточной обработке (нагрузке) почвы, а также резком чередовании увлажнения и высушивания.

Положительное влияние на устойчивость структуры некоторых агентов увеличивается в следующем ряду (Gaucher):

*(глина + Са) ≤ (гумус + Са) ≤ (глина + гумус + Са) ≤ (глина + железо + Са) ≤ (гумус + железо + Са) ≤ (глина + гумус + железо + Са).*

Разрушение почвенной структуры приводит к потере ее основных свойств: пористости, проницаемости, увеличению плотности, дисперсности и формированию почвенной корки и др. В данном случае устойчивость структуры оценивают прямыми измерениями или непрямими методами, например, путем измерения пористости и водопроницаемости. Может быть использован метод Эненона для определения *индекса структурной неустойчивости*, с которым сочетают проведение теста на водопроницаемость.

Для количественной оценки устойчивости природных экосистем в *фиксированный* момент времени без учета отдаленных последствий воздействия на систему В. А. Светлосанов (2009) использует также понятие *индекс устойчивости*. Он характеризует устойчивость экосистемы к усредненному воздействию множества возможных воздействий. Это достаточно условная величина, которая характеризует относительную устойчивость системы, ее способность противостоять совокупности действующих возмущений не критического уровня.

Если рассмотреть проблему устойчивости с позиции устойчивости дисперсных систем, из которых состоит на элементарном уровне ПТС, и определяется областью знаний коллоидной химии, то накопленный экспериментальный и теоретический опыт показывает, что агрегативная устойчивость огромного числа минеральных, биологических, полимерных дисперсных систем протекает по *безбарьерному механизму* в дальней потенциальной яме (минимуме), образующихся при доминировании на относительно больших расстояниях между частицами сил дисперсионного притяжения над силами ионно-электростатического и (или) структурного отталкивания.

Закономерности устойчивости (коагуляции) по *барьерному* механизму теоретически и экспериментально изучены в рамках развития теории ДЛФО (теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека), теории Смолуховского, правила Шульце-Гарди и Эйлера-Корфа).

Согласно классическим представлениям теории устойчивости ДЛФО, процесс взаимодействия частиц – результат совместного действия ван-дер-ваальсовых *сил притяжения* и электростатических *сил отталкивания* между ними. Силы ионно-электростатического отталкивания убывают с изменением расстояния по экспоненциальному закону, тогда как молекулярные силы притяжения – по степенному. В результате этого, при определенном соотношении параметров, характеризующих систему дисперсий в них, на относительно больших и малых расстояниях преобладают силы притяжения, тогда как на промежуточных – силы отталкивания. Таким образом, в общем случае, на результирующей кривой энергии взаимодействия частиц возникает электростатический барьер на средних расстояниях. Изменение энергии взаимодействия между двумя одинаковыми частицами при их сближении можно изобразить графически (рис. 3.1).

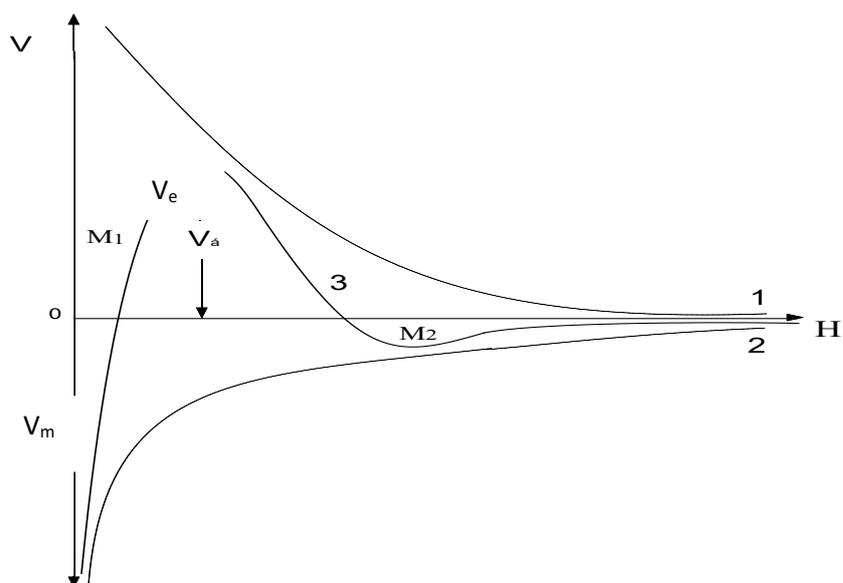


Рисунок 3.1 – Зависимость потенциальной энергии взаимодействия двух одинаковых частиц от расстояния между ними:

1 – изменение энергии ионно-электростатического отталкивания; 2 – изменение энергии молекулярного притяжения; 3 – результирующая кривая, полученная путем суммирования кривых 1 и 2

Так как слагаемые имеют разные знаки ( $V_m < 0$ ,  $V_e > 0$ ), то знак суммарной энергии взаимодействия зависит от доминирования одного из взаимодействий.

Современное развитие теории ДЛФО доказывает ее универсальность в рассмотрении явления устойчивости, возможность применения данной теории не только к типично гидрофобным коллоидам, но и к другим системам при дополнительном учете всех действующих факторов (адсорбционных, сольватных и других сил).

Учитывая тот факт, что все процессы взаимодействия происходят на поверхности раздела фаз, то в зависимости от баланса возникающих сил между сближающимися частицами возникает либо положительное «расклинивающее» давление ( $\Pi$ ), препятствующее их соединению, либо отрицательное, приводящее к утончению прослойки и образованию контакта между частицами. Согласно представлениям теории ДЛФО, величина  $\Pi$  зависит от толщины прослойки  $H$ , потенциала и концентрации фона, оказывает дальное действие поверхностных сил.

Анализ результирующей потенциальной кривой взаимодействия частиц (рис. 3.1) позволяет выделить на ней следующие участки, характерные в том числе для состояния устойчивости ПТС: в области малых расстояний имеется глубокий первичный минимум  $M_1$  (потенциальная яма I), что указывает на значительное преобладание сил притяжения – система неустойчива. В области больших расстояний также может быть некоторое превосходство сил притяжения, что отражается вторичным неглубоким минимумом  $M_2$  (вторая потенциальная яма) – область III – система обратима и может восстанавливаться. В области средних расстояний (II) на кривой имеется максимум, и если он расположен над осью

абсцисс, то появляется потенциальный энергетический барьер  $V_6$ , определяющий агрегативную устойчивость системы.

Для гидрофобных дисперсных систем установлено, что когда энергетический барьер отсутствует ( $V_6=0$ ), происходит потеря устойчивости системы. Подобные системы могут быть устойчивыми только при высоком энергетическом барьере, удерживающем систему в равновесном состоянии (порядок планет). Все факторы, которые способны снизить величину энергетического барьера  $V_6$ , должны неизбежно приводить к потере устойчивости системы.

Благодаря суммированию элементарных взаимодействий силы притяжения системы на другом уровне должны быть больше сил притяжения отдельных ее элементов. Для вычисления энергии взаимодействия частиц коллоидного размера Гамакер исходил из аддитивности атомных сил взаимодействия, что распространяется на объекты различного химического и биологического происхождения. Энергия взаимного притяжения двух сферических частиц радиусом  $r$ , находящихся на произвольном расстоянии  $R$  друг от друга, согласно Гамакеру, составляет:

$$V_m = -\frac{A}{6} \left[ \frac{2r^2}{R^2 - 4r^2} + \frac{2r^2}{R^2} + \ln \frac{R^2 - 4r^2}{R^2} \right], \quad (3.1)$$

где  $A$  – константа Гамакера;  $R$  – расстояние между центрами частиц.

При малых расстояниях между поверхностями частиц зависимость (3.1) принимает вид:

$$V_m = -\frac{Ar}{12H_q}, \quad (3.2)$$

где  $H_q$  – кратчайшее расстояние между поверхностями частиц.

Константа Гамакера  $A_{101}$ , используемая при расчете энергии молекулярного притяжения в данном случае для двух макроскопических частиц, может быть записана в следующем виде:

$$A_{101} = A_{11} + A_{00} - 2A_{10}, \quad (3.3)$$

где  $A_{11}$ ,  $A_{00}$ ,  $A_{10}$  – константы, характеризующие взаимодействие соответствующих фаз; «1» – индекс дисперсной фазы, «0» – индекс дисперсионной среды.

Величина  $A^*$  может быть сложной константой Гамакера, что зависит от соотношения значений ряда постоянных взаимодействия участвующих фаз  $A_{13}$ ,  $A_{22}$ ,  $A_{12}$  и  $A_{23}$ , знак расклинивающего давления может быть здесь как отрицательным, так и положительным, что и определяет устойчивость системы.

Вторая составляющая энергии взаимодействия частиц –  $V_e$  – обусловлена перекрытием двойных электрических слоев, окружающих частицы. Ее величина при малых потенциалах частиц может быть рассчитана по следующей формуле:

$$V_e = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot \Psi_1^2 \cdot r \cdot \ln(1 + e^{-\chi H_0}), \quad (3.4)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $\psi_1$  – потенциал диффузной части двойного электрического слоя;  $\chi$  – обратная приведенная толщина двойного электрического слоя;  $H_0$  – кратчайшее расстояние между поверхностями частиц.

Представленный подход является достаточно общим и применим, строго говоря, для гидрофобных систем. Реальные системы, в которых бы полностью исключалось взаимодействие между дисперсной фазой и средой, практически не встречаются. При перекрытии граничных слоев, окружающих частицы, возникает необходимость учета структурной составляющей энергии взаимодействия частиц, возникающей между объектами системы. Возникающие при этом зоны (прототип СЗЗ на наноуровне) могут характеризоваться рядом свойств, препятствующих взаимопроникновению слоев при их сближении. Эти зоны-слои не только приводят к уменьшению скорости сближения частиц, но и требуют при взаимодействии определенных энергетических затрат на преодоление упругих сил или на частичную десорбцию (деструкцию) оболочки объекта. Адсорбционно-сольватные слои изменяют обычный вид потенциальных кривых парного взаимодействия при сравнительно малых расстояниях между поверхностями частиц вследствие возникновения дополнительного адсорбционно-сольватного барьера.

Структурную составляющую энергии взаимодействия частиц в первом приближении можно представить в виде экспоненциальной зависимости:

$$V_s = K \cdot e^{-\frac{h_{ч}}{l_s}}, \quad (3.5)$$

где  $l_s$  – характеристическая длина структурных сил;  $K$  – константа,  $h_{ч}$  – расстояние между частицами.

Теория ДЛФО позволяет вычислить, при каком критическом значении  $\phi_1$ -потенциала должен исчезнуть энергетический барьер. При достаточно малом  $\phi_1$ -потенциале связь между критическим значением потенциала  $\phi_{кр}$ , при котором энергетический барьер исчезает, и приведенной толщиной двойного электрического слоя (ДЭС) ( $1/\chi$ ) окружающих обе частицы, выражается формулой:

$$\phi_{кр} = \sqrt{C \frac{A \cdot \chi}{\varepsilon}}, \quad (3.6)$$

где  $C$  – константа;  $A$  – константа Гамакера;  $\chi$  – обратная приведенная толщина ДЭС;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

Теория устойчивости ДЛФО, основанная на чисто физических представлениях, учитывающих энергию взаимодействия частиц, является в настоящее время практически единственной общепризнанной теорией, дающей объяснение устойчивости и коагуляции коллоидных систем, к которым относятся большинство биообъектов ПС. В то же время накоплен большой экспериментальный материал, свидетельствующий о значительной роли химических процессов, протекающих в дисперсионной среде. Учет этих данных в совокупности с теорией ДЛФО позволит объяснить и спрогнозировать многие явления, происходящие в ТС, особенно в водных технологических и природных потоках ПТС.

### 3.1. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов

В основу построения моделей классификации устойчивости ПС как сложной системы закладывается принцип математических моделей по классификационным принципам формирования системы (Г. С. Розенберг, 1984). Такого типа модели описывают правилами, по которым объект исследования можно отнести к определенному классу состояния (устойчивости) на основе разбивания информации об отдельных параметрах на классы. Набор параметров и классов для интегральной оценки устойчивости и правило построения шкалы интегрального показателя устойчивости будем называть моделями-классификациями устойчивости (В. В. Дмитриев и др., 2017) с использованием материалов (С. Т. Платонова и др., 2019) в качестве примера.

Выявленные типы устойчивости, механизмы ее формирования для установления критериев оценивания потенциальной устойчивости приведены в таблице 3.1. Вводятся классы устойчивости ландшафта и формируются оценочные шкалы для всех критериев.

Таблица 3.1 – Критерии оценки потенциальной устойчивости ландшафта

Номер критерия	Признак / класс устойчивости	Описание и характеристика признака
1	Радиационный баланс, ккал/см <sup>2</sup> /год	Определяет энергетику ландшафтообразующих процессов, большим его значениям соответствует и максимальная устойчивость ландшафта
2	Радиационный индекс сухости (К)	Отношение между радиационным балансом территории и годовой суммой осадков, выраженное в калориях скрытой теплоты испарения. Отражает возможность накопления влаги при различных радиационных условиях. При К=1,00 возможность испарения примерно соответствует количеству выпавшей влаги. Это значение К соответствует условиям максимальной устойчивости ПТК
3	Ветровой режим: а) количество дней со штилями в году (баллы)	Оценен на качественном уровне (чем больше дней со штилями, тем устойчивость выше)
4	Ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы)	Оценен на качественном уровне: чем больше дней с сильными ветрами, тем устойчивость ниже
5	Интенсивность геоматических процессов, ИГП – баллы	Интенсивность геоматических процессов (совокупность абиотических процессов в ландшафте – сумма баллов от показателей: неотектоническая активность, сейсмичность, тип рельефа, свойства пород). По суммарной величине четырех составляющих максимальной устойчивостью будут обладать ландшафты с суммой баллов от 16 до 20, а минимальной – суммой баллов, равной 4

6	Устойчивость составных частей ландшафта, баллы	Оценка по роли в ландшафте урочища, которые разделены на активные, пассивные и детерминанты. Максимальной устойчивостью по роли в ландшафте будут отличаться пассивные урочища (останцы, в денудационных ландшафтах), минимальной – ПТК Н-Н детерминанты
7	Контрастность урочищ в ландшафте, баллы	Контрастность по принципу: чем выше контрастность, тем устойчивость выше
8	Защищенность грунтовых вод, баллы	Балльная качественная оценка. Определяется по глубине ГВ, поглотительной способности пород, трещиноватости, фильтрационным свойствам пород. ГВ в ландшафте считаются защищенными при наличии слабопроницаемого, мощного слоя пород и глубоком залегании ГВ. ГВ в ландшафте при наличии трещиноватых пород и карстовых ПТК не защищены, особенно, при достаточно близком залегании ГВ
9	Индекс биологической эффективности климата (индекс ТК)	Индекс биологической эффективности климата (ТК) представляет собой интегральный критерий тепло- и влагообеспеченности, от которого зависит устойчивость ландшафта. В публикациях отмечено, что на региональном уровне высокие значения индекса характерны для наиболее устойчивых ландшафтов, а низкие – для неустойчивых

На основе выбранных критериев из таблицы 3.1 при равенстве приоритетов оценивания по выбранным показателям сформирован внешний вид модели – классификации интегральной оценки устойчивости ландшафтов (табл. 3.2).

В таблице представлены исходные шкалы и нормированные значения параметров этих шкал по классам устойчивости и шкала *интегрального показателя устойчивости ландшафта (ИПУЛ)* к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость). Данная модель-классификация построена в предположении равенства весов (приоритетов) между признаками ( $w_i = 1/9$ ). В этом случае вес рассчитывается по формуле  $w_i = 1/n$ . Максимальной устойчивости поставлено в соответствие значение  $q_i = 1$ , а минимальной –  $q_i = 0$ . При формировании шкал и нормировании показателей учтен вид связи выбранного параметра с исследуемым свойством ландшафта.

Таблица 3.2 – Модель-классификация оценки устойчивости ландшафта по ряду показателей

Признак / класс устойчивости	I Минимальная устойчивость	II Устойчивость ниже средней	III Средняя устойчивость	IV Устойчивость выше средней	V Максимальная устойчивость.
1. Радиационный баланс, ккал/см <sup>2</sup> /год	$\frac{-5 - +10}{0 - 0,18}$	$\frac{11-20}{0,18-0,29}$	$\frac{20-30}{0,29-0,41}$	$\frac{30-50}{0,41-0,65}$	$\frac{50-80}{0,65-1,00}$
2. Радиационный индекс сухости	$\frac{5 - 4}{0 - 0,20}$	$\frac{4 - 3}{0,20-0,44}$	$\frac{3 - 2}{0,44-0,68}$	$\frac{2 - 1}{0,68-0,88}$	$\frac{1 - 0,45}{0,88-1,00}$
3. Ветровой режим: а) количество дней со штормами в году (баллы)	$\frac{0 - 1}{0 - 0,20}$	$\frac{1 - 2}{0,20-0,40}$	$\frac{2 - 3}{0,40-0,60}$	$\frac{3 - 4}{0,60-0,80}$	$\frac{4 - 5}{0,80-1,00}$

4. Ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы)	$\frac{5-4}{0-0,20}$	$\frac{4-3}{0,20-0,40}$	$\frac{3-2}{0,40-0,60}$	$\frac{2-1}{0,60-0,80}$	$\frac{1-0}{0,80-1,00}$
5. Интенсивность геоматических процессов, баллы	$\frac{0-4}{0-0,20}$	$\frac{4-8}{0,20-0,40}$	$\frac{8-12}{0,40-0,60}$	$\frac{12-16}{0,60-0,80}$	$\frac{16-20}{0,80-1,00}$
6. Устойчивость составных частей ландшафта, баллы	$\frac{0-1}{0-0,20}$	$\frac{1-2}{0,20-0,40}$	$\frac{2-3}{0,40-0,60}$	$\frac{3-4}{0,60-0,80}$	$\frac{4-5}{0,80-1,00}$
7. Контрастность урочищ в ландшафте, баллы	$\frac{0-1}{0-0,20}$	$\frac{1-2}{0,20-0,40}$	$\frac{2-3}{0,40-0,60}$	$\frac{3-4}{0,60-0,80}$	$\frac{4-5}{0,80-1,00}$
8. Защищенность грунтовых вод, баллы	$\frac{0-1}{0-0,20}$	$\frac{1-2}{0,20-0,40}$	$\frac{2-3}{0,40-0,60}$	$\frac{3-4}{0,60-0,80}$	$\frac{4-5}{0,80-1,00}$
9. Индекс биологической эффективности климата (индекс ТК)	$\frac{0-4}{0-0,20}$	$\frac{4-8}{0,20-0,40}$	$\frac{8-12}{0,40-0,60}$	$\frac{12-16}{0,60-0,80}$	$\frac{16-20}{0,80-1,00}$
Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ)	0–0,198	0,198–0,392	0,392–0,588	0,588–0,793	0,793–1,00

Внешний вид модели-классификации интегральной оценки устойчивости на основе критериев, приведенных в таблице 3.1, при равенстве приоритетов оценивания приведен в таблице 3.2.

Рассчитанные и определенные на основе этого подхода диапазоны устойчивости ПС несколько отличаются от более обобщенных показателей, (*индекса устойчивости экосистем (ИУЭ)*), которые будем рассматривать далее для ПТС. Они не находятся в противоречии и при выборе технических конкретных решений могут дополнять друг друга.

Для использования интегрального подхода по предлагаемым признакам устойчивости ПС на первом этапе рекомендуется рассмотреть ряд гипотетических ситуаций (сценариев). Сценарии могут отражать минимально возможные для данной территории и максимально возможные значения параметров модели или интервалы их изменения. По ним исследователь, используя данные, полученные на стадии инженерных изысканий, определяет, как может изменяться интегральный показатель устойчивости для различных (характерных) типов ландшафтов или временных интервалов. Для этого можно использовать комбинации выбранных доминирующих значений параметров, а также средние, фоновые, экстремальные и т. п. значения. Для примера можно привести использования модели (табл. 3.2). В числителе – значения параметра

для верхней и нижней границ класса; в знаменателе – то же для нормированных значений показателей.

Пример для территорий – ООПТ, заповедник с рекогносцировочным изменением и характерным значением параметров оценивания устойчивости, представлены в таблице 3.3. Изменение параметров в данном примере было задано в диапазоне границами классов. (Нижний индекс \*«п» справа от класса устойчивости характеризует близость к правой границе класса.)

Таблица 3.3 – Пример расчета интегрального показателя устойчивости ключевого ландшафта ООПТ (с учетом результатов нормирования)

Признак (класс) устойчивости	Рекогносцировочное изменение параметра	Характерное значение параметра
1. Радиационный баланс, ккал/см <sup>2</sup> год	0,41–0,65	0,60
2. Радиационный индекс сухости	0,88–1,00	0,92
3. Ветровой режим: а) количество дней со штилями в году (баллы).	0,20–0,40	0,28
4. Ветровой режим: б) количество дней с сильными ветрами (баллы)	0,40–0,60	0,45
5. Интенсивность геоматических (совокупность абиотических) процессов ландшафте, баллы	0,40–0,60	0,48
6. Устойчивость составных частей ландшафта, баллы	0,40–0,60	0,42
7. Контрастность урочищ в ландшафте, баллы	0,20–0,40	0,24
8. Защищенность грунтовых вод, баллы	0,80–1,00	0,86
9. Индекс биологической эффективности климата (индекс ТК)	0,60–0,80	0,71
Интегральный показатель устойчивости ландшафта (ИПУЛ): интервал изменения, класс устойчивости, характерное значение ИПУЛ	0,476 – 0,672 (III-IV)	0,551 (III <sub>п</sub> ) *

Эти рекогносцировочные обследования выполняются при инженерно-гидрометеорологических изысканиях на первом этапе полевых работ и производятся независимо от степени изученности территории. Для освоения территории с созданием сложных новых ПТК, требующих дополнительной информации и составления программ инженерных изысканий, предполагается рекогносцировочное обследование в подготовительный период для последующей отработки технического задания на выполнение конкретных работ по освоению территории с новым типом ПТС.

В результате расчетов получен диапазон изменения интегрального показателя устойчивости ландшафта на основе использования рекогносцировочных данных по каждому параметру и характерное значение ИПУЛ, по которому ландшафты района можно отнести к III классу устойчивости

(правая граница). Добавление в модель или изъятие из нее одного из параметров при равновесном учете практически не сказывается на итоговом результате.

Так, например, изъятие из модели индекса ТК дало характерное значение ИПУЛ, равное 0,531, что дает разницу с рассмотренным выше результатом в пределах 4 % при ширине интервала оценочной шкалы ИПУЛ, построенной для 8 параметров, для III класса 0,391–0,586. В то же время, придание в 2 раза большего веса этому параметру по сравнению с другими, дает характерное значение ИПУЛ, равное 0,630, что свидетельствует о приближении ИПУЛ вплотную к граничному значению между III и IV классами (0,654 – правая граница III класса для оценочной шкалы).

В практике оценки устойчивости ПТС различного уровня преобладают балльные и балльно-индексные подходы и методы. Это основано на том, что устойчивость является интегративным свойством ПТС в целом, ее нельзя измерить, а можно только оценить косвенно и преимущественно на балльной основе. Здесь рекомендуется по отдельности определять устойчивость ландшафта к каждому конкретному возмущающему фактору. Этот подход распространяется также на оценку устойчивости почв, элементарных ландшафтов, растительного покрова, как компонентов ландшафта. Зачастую не учитывается прямая и обратная связь устойчивости с параметрами оценивания. При этом балльная оценка (в ряде случаев баллы по отдельным факторам всё же суммируются) иногда именуется авторами «интегральной оценкой». На этих принципах выстраивается ранжирование территорий по критериям преобразованности.

### **3.2. Индексы устойчивости природных и природно-технических систем, ранжирование территории по критериям преобразованности**

Для анализа экологического состояния ПС и ПТС и уровня антропогенного плавления на них часто используют комплексные показатели, характеризующие их отдельные блоки (по аналогии со сложной константой Гамакера): характеристика среды (экосистемы), производственный потенциал, население и антропогенное воздействие по компонентам ОС.

Эти показатели имеют как самостоятельное значение, так и выстраивают связь между собой. Мощность (энергия) техногенных потоков влияет на экологическую зависимость населения и состояния экосистем, а объем затрат – на техносферную безопасность, непосредственно связан с ресурсным производственным потенциалом территории и населением, сопряженным с конкретным ПТК. Эти показатели составляют одно информационное поле, характеризующее общее состояние устойчивости системы. Умение правильно ими воспользоваться и выстроить политику экологического управления является важной составной частью достижения сбалансированного состояния территории, что принято называть устойчивым развитием.

Такие показатели, как *индексы устойчивости экосистем (ИУЭ), превышения предельно допустимой техногенной нагрузки (ПДТН), индекса*

демографической напряженности (**ИДН**), используются в качестве критериев экологической безопасности территорий.

Количественное выражение плотности и поражаемости населения территории осуществляется с помощью нескольких показателей и их относительной значимости. Численные значения (коэффициенты) эмпирически подобраны на основании сопоставления демографических характеристик и заболеваемости в нескольких контрастных по этим параметрам территориям (Кочуров, 1999).

**Индекс демографической напряженности (ИДН)** зависит от степени урбанизации (преобразованности) территории и заболеваемости, вызванной этим процессом, без учета пандемии. Фактическая величина ИДН для конкретной территории рассчитывается по формуле

$$ИДН = Y \cdot \lg p (0,1Z - 2P + C) \cdot C_d^2 \cdot \mu, \quad (3.7)$$

где  $Y$  – степень урбанизации территории: доля площади территории (от 0 до 1), занятая застройкой городского типа, промышленными объектами и коммуникациями;  $p$  – плотность населения, чел./км<sup>2</sup>;  $Z$  – общая годовая заболеваемость населения (на 1000 чел.) без учета пандемии;  $P$  – рождаемость (на 1000 чел.);  $C$  – общая смертность (на 1000 чел.);  $C_d$  – детская смертность (на 1000 чел.);  $\mu = 10^{-4}$ , масштабный множитель, при котором ИДН = 1.

При сравнении территорий с близкими по значению величинами плотности населения, а также общей заболеваемости и степени урбанизации можно использовать для расчета **ИДН** упрощенный вариант формулы 3.8:

$$ИДН = ((16 - 2P + C)/5000) \cdot C_d^2 \quad (3.8)$$

Производственный потенциал территории условно можно оценить через **индекс промышленной нагрузки (ИПН)**, выраженный через годовой объем производства  $\Pi$ , среднегодовые основные производственные фонды промышленности  $\Phi$  и площадь урбанизированной территории  $S_y$ :

$$ИПН = (\Pi + \Phi) / S_y. \quad (3.9)$$

Устойчивость экосистем сопряжена с климатическими факторами и водным режимом территории (см. гл. 1.2–1.4). Энергетическое выражение **индекса устойчивости экосистем (ИУЭ)** рассчитывается по формуле:

$$ИУЭ = ПБМ_3 \cdot \frac{УБП_э}{R_n}, \quad (3.10)$$

где  $ПБМ_э$  – энергетическое выражение плотности размещения биомассы;  $УБП_э$  – энергетическое выражение удельной биопродуктивности;  $R_n$  – энергия поглощенной радиации (Коротченко, 2021).

Перевод значений абсолютно сухого вещества фитомассы и ее продукции в их энергетические выражения осуществляется путем умножения их на усредненный коэффициент 15275 МДж/т.

Данный индекс отражает степень устойчивости наземных экологических систем к воздействию антропогенных факторов. Чем ближе значения индекса к

единице, тем более устойчивы наземные экосистемы, и наоборот. ПС по степени устойчивости (табл. 3.4) могут быть классифицированы следующим образом:

Таблица 3.4 – Классификация экосистем по степени устойчивости

Класс устойчивости экосистем	Индекс устойчивости экосистем
Неустойчивые	до 0,10
Слабоустойчивые	0,11 - 0,20
Умеренно устойчивые	0,21 - 0,30
Среднеустойчивые	0,31 - 0,40
Высокоустойчивые	более 0,40

Обобщенная оценка антропогенной нагрузки на природно-территориальный комплекс является исходной информацией для принятия текущих управленческих решений и выработки стратегии на перспективу.

**Хозяйственная нагрузка** изменяет облик ландшафтов, вызывает негативные изменения в ПС и включает в себя использование ресурсов природы для технологических и бытовых целей, выведение отходов хозяйственной деятельности в ПС.

Как отмечалось выше, **хозяйственно-культурный тип** деятельности, зависящей от исторически сложившейся культуры и условий ПС, формирует несистемное множество и сумму автономных, но похожих по характеру антропогеоценозов, которые по сути являются **природно-техническими системами (комплексами)**. Они представляют собой совокупность подсистем производства, потребления и их связи с окружающей природной средой.

В этом случае используют следующие виды **хозяйственной деятельности**: промышленная, транспортная, демографическая и сельскохозяйственная. Все показатели, которые характеризуют воздействие на окружающую среду, можно разделить на две группы:

- *показатели, характеризующие негативное воздействие опосредованно*, т. е. потенциальная нагрузка, которая включает в себя уровень промышленного развития, плотность населения, урбанизированность территории, плотность транспортной сети, плотность поголовья скота и птицы, наличие орошаемых земель, площадь распаханых земель и др.;

- *показатели, характеризующие прямое воздействие* на природный комплекс или фактическую нагрузку (выбросы вредных веществ в атмосферу, плотность выбросов автотранспортом в полосе загрязнения, сброс сточных вод, внесение удобрений и др.).

Суммарная антропогенная нагрузка рассчитывается как среднее арифметическое баллов по каждому виду антропогенной нагрузки.

Принцип антропоцентризма, на котором базируется эколого-системное нормирование, предполагает дифференциацию норм в зависимости от различий социально-экологических функций территорий.

Уровень экологического качества территории можно охарактеризовать:

- степенью соответствия ее текущего состояния принятым стандартам – **показатели состояния качества**;

- способностью выдерживать антропогенную нагрузку, восстанавливать утраченное качество или перейти в новое качественное состояние, удовлетворяющее условиям стабильности природного сообщества – **показатели устойчивости**. Специфические особенности хозяйственного использования отдельных участков: территории, пригодные для сельскохозяйственного использования; лесное хозяйство; жилая застройка и т. д.

Разработка нормативов качества ОС основывается на структуризации территории, формировании частных характеристик каждого из ее элементов и разработке нескольких обобщающих показателей. В настоящее время единого рецепта оценки нет, и его следует разработать для гармонизации подходов инновационной деятельности в системе управления ПТК. С одной стороны, это связано с относительностью понятия нормы экосистемы в пространстве и времени, т. е. ее детерминированностью конкретным регионом и временным отрезком. С другой стороны, с необходимостью изменения экономических механизмов в системе принятия решений по продвижению инвестиционной составляющей в природоохранной деятельности и профилактических мероприятий по обеспечению техносферной безопасности при сохранении заданных свойств качества окружающей среды ПТС. Кроме того, для разных регионов допускаются различия в составе набора показателей и методов определения их количественных составляющих для объектов различного ранга в системе общей иерархии ПТС.

Основной механизм приложения природоохранного управления ПТК остается на локальном уровне: предприятие, регион. На этом уровне наиболее четко прослеживается взаимосвязь между силой воздействия и его последствиями для природоохранных систем и человека, конкретизируется область применения природоохранных, рекультивационных мероприятий, энергетических и материальных потоков веществ (отходов, вторичных материалов). Это позволяет на региональном уровне переходить к устойчивости ПТС, так называемой модели устойчивого развития региона.

Условием реализации типовых управленческих механизмов для функционирования ПТС является общность различных элементов и их соподчиненности (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Взаимосвязь элементов при функционировании ПТС

Этот механизм регламентирует воздействие, обосновывает целесообразность внедрения природоохранных и восстановительных мероприятий, регулирует экономические взаимоотношения в природоохранной сфере с учетом сложившихся социально-экономических и культурно-эстетических предпочтений населения данного региона.

В этом контексте Э. В. Гирусов приводит **региональный индекс антропогенной преобразованности (РИАП)** территории, который рассчитывается по формуле:

$$I_i = R_i \times S_i, \quad (3.11)$$

где  $R_i$  – ранг антропогенной преобразованности (табл. 3.5);  $S_i$  – доля территории в общей земельной площади региона, %.

Таблица 3.5 – Ранги для расчета антропогенной преобразованности ландшафта (Э. В. Гирусов)

Вид территории	Ранг антропогенной преобразованности
Охраняемые природные территории	1
Лес 1-й группы	2
Залежи	3
Сенокосы	4
Пастбища	5
Многолетние насаждения	6
Пашня	7
Земли под зданиями, сооружениями в с/х	8
Земли городов (под зданиями и сооружениями)	9
Земли под терриконами, свалками, карьерами, оползни, пески и т.д.	10

Следует отметить, что по методике, предложенной П. Г. Шищенко (1988), *ранги преобразованности* выглядели несколько иначе: охраняемые территории – 1; леса – 2; болота и заболоченные земли – 3; луга – 4; сады – 5; пашня – 6; сельскохозяйственная застройка – 7; городская застройка – 8; водохранилища, каналы – 9; земли промышленного использования – 10. Это говорит о значительном прессинге на ландшафты со стороны человека в результате его хозяйственной деятельности. Это необходимо учитывать, что РИАП подлежат корректировке во времени и по климатическим зонам.

Кроме зон антропогенной преобразованности, в системе оценки нагрузки существует понятие **зоны экологического состояния экосистемы**.

**Зона экологической нормы  $N$**  – устойчивые территории, способные выдержать существующую (и, может быть, дополнительную) экологическую нагрузку без снижения уровня экологического качества, деятельность объектов, на которых осуществляется без существенного увеличения рисков экономических потерь.

**Зона экологического риска  $P$**  – территории с нарушениями экологического качества, при которых возврат в устойчивое состояние возможен, но при условии либо снижения уровня антропогенного воздействия, либо проведения комплекса

восстановительных мероприятий. Риск получения ущербов в ходе осуществления деятельности на таких территориях существенно увеличивается, если объекты не предпринимают мер по защите от неблагоприятных воздействий, обусловленных снижением качества окружающей среды.

**Зона экологического кризиса К** – территории, разрушения в которых могут быть устранены при полном прекращении антропогенной нагрузки и проведении необходимого комплекса восстановительных работ. Иными словами, меры по снижению риска, предпринимаемые объектами, в данной ситуации оказываются недостаточными для избежания рисков экономических потерь.

**Зона экологического бедствия Б** – территории с практически необратимыми нарушениями ПС. Экономические ущербы при осуществлении деятельности в таких ПТК практически неизбежны при любых защитных мероприятиях.

Глубина нарушений ПТС оценивается по площади нарушений с учетом особенностей зон экологического состояния экосистем. Для этого можно использовать классификацию состояния территории по площади и глубине нарушений (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Классификация состояния территорий по площади и глубине нарушений

Глубина нарушения	Площадь нарушения, %			
	менее 5	5-19	20-50	более 50
Умеренная	Н	Н	Н	Р
Средняя	Н	Н	Н	К
Сильная	Н	Р	К	Б

**Уровень экологической напряженности** оценивается в баллах или условных единицах, исходя из пространственного соотношения внутри региона площадей с различной остротой экологических ситуаций, зафиксированных на экологической карте. На первом этапе проводится балльная оценка экологической напряженности для регионов с однородной экологической ситуацией, исходя из таблицы 3.7.

Таблица 3.7 – Взаимосвязь экологической напряженности с экологической ситуацией региона

Экологическая ситуация	Экологическая напряженность $e_i$ , усл.ед. (баллы)
Очень острая	10
Острая	5
Умеренно острая	3
Условно удовлетворительная	1

При оценке экологической напряженности  $i$ -го региона используется формула:

$$H_i = \left( \sum_{i=1}^4 e_i S_{li} \right) / 100, \quad (3.12)$$

где  $e_i$  – экологическая напряженность в условных единицах;  $S_{li}$  – доля площади с  $i$ -й экологической ситуацией в процентах от общей площади  $i$ -го региона.

Территория РФ, в соответствии с классификацией WWF (Всемирный фонд дикой природы), находится в палеарктической экологической зоне и включает в себя 8 биомов и 47 экологических регионов, для каждого из которых характерно относительное единство природных условий и типов антропогенного воздействия. Регионы имеют ранги от 1 до 7 (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Экологическая напряженность регионов различных рангов

Ранг региона	Характеристика экологической напряженности	Интервал, усл.ед.(баллы)	Средняя	Доля территории страны, %
1-й	Очень низкая	<1,20	1,08	17,00
2-й	Низкая	1,20-1,79	1,42	20,00
3-й	Относительно низкая	1,80-2,49	2,18	15,00
4-й	Средняя	2,50-3,39	3,00	14,00
5-й	Относительно высокая	3,40-4,59	3,87	17,00
6-й	Высокая	4,60-5,79	5,01	7,00
7-й	Очень высокая	>5,79	6,34	10,00

Важнейшим фактором оценки сохранения естественной территории является плотность населения. По состоянию на 1 января 2023 года средняя плотность населения в РФ равняется 8,55 чел./км<sup>2</sup>. Расселение людей на территории РФ и сопредельных государств весьма неравномерно. Самая высокая – в городах федерального значения: Москва, Санкт-Петербург – 5116,82 и 3991,48 чел./км<sup>2</sup> соответственно. Самая низкая плотность населения среди субъектов РФ – в Чукотском автономном округе – 0,07 чел./км<sup>2</sup>. Для выполнения ИДЗ по курсу для выбранного региона эту величину необходимо уточнить в информационной базе на период расчета.

В качестве комплексного показателя, который достаточно просто и укрупненно может охарактеризовать экологическую устойчивость региона, используют **коэффициент антропогенного давления (КАД)**. Он рассчитывается на основе информации о потреблении энергии на единицу рассматриваемой территории (закон максимизации энергии и информации 2). Между коэффициентом антропогенного давления и плотностью населения (табл. 3.6) имеется достаточно тесная связь, однако она может нарушаться для территорий, имеющих особую структуру энергообеспечения.

Показатель или точнее, коэффициент антропогенного давления в регионе  $j$ , рассчитывается по формуле:

$$K_j^a = \frac{\frac{\Pi_j}{S_j}}{\left[ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\Pi_j}{S_j} \right) \right]} / n , \quad (3.13)$$

где  $P_j$  – потребление энергии в регионе  $j$ , МДж/год или по величине присоединенных мощностей всех потребителей;  $S_j$  – площадь региона  $j$ , млн га;  $n$  – количество регионов.

Коэффициент антропогенного давления не учитывает ручной труд человека по использованию природных ресурсов (например, вырубка лесов без применения техники), а также продуктивность экосистем (тундра, например, более ранима, чем лес средней полосы). Критерий является относительным, так как энергетическая составляющая существенно зависит от климата и от местоположения региона. Однако он позволяет сравнивать антропогенное давление, которое оказывают территории с различным уровнем комфортности и технологического уклада производства с учетом энергоэффективности ТЭС на ПТС в целом. Для сравнения приведены величины антропогенного давления ряда развитых стран (табл. 3.9) на 2023 год с учетом перераспределения потребления в период кризиса. Расчетные величины – условные, без учета информации изменения показателей в зонах конфликтов.

Таблица 3.9 – Сопоставление некоторых государств по критериям антропогенного давления и плотности населения

Государства	Коэффициент антропогенного давления	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>
Российская Федерация	0,83	8.55
Германия	17.3	234.9
Великобритания	15.2	255
Япония	16,2	336
Франция	5,2	113
Китай	1,7	650.
Мир в целом	1,1	50

Следует отметить, что ряд территорий РФ имеют значение коэффициента антропогенного давления выше средне глобального, что свидетельствует о неравномерности нагрузок на территориях функционирования ПТС и требует системного подхода к отработке управленческих решений в развитии территорий.

**Эргодемографический индекс (ЭДИ)** является одним из вариантов укрупненной оценки эколого-экономической устойчивости территорий в заданных диапазонах нагрузки. Он базируется на энергетических показателях, которые отражают масштаб технической энергетики и плотность населения, а также биотический потенциал территории. Такая оценка может быть проведена с помощью следующей зависимости:

$$\text{ЭДИ} = (7 \cdot 10^{-6} \rho \cdot \varepsilon) / (\rho_0 \cdot R_s \cdot S), \quad (3.14)$$

где  $\rho$ ,  $\rho_0$  – средняя плотность населения территории и средняя плотность населения страны соответственно, чел./км<sup>2</sup>;  $R_s$  – суммарная солнечная радиация, т усл. топл/км<sup>2</sup> в год;  $S$  – площадь территории, км<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – общий расход топлива и топливных эквивалентов электроэнергии на территории, т усл. топл/год (тут –

тонна условного топлива, соответствующая примерно количеству тепла, выделяемого при сгорании одной тонны высококачественного каменного угля,  $1 \text{ тут} = 29,3 \times 10^9 \text{ Дж}$ ).

С учетом различных видов энергии, используемой ПТК, величина  $\varepsilon$  рассчитывается:

$$\varepsilon = 123Э + 143T + 0,85U + 1,1Г + 1,5Ж + 0,38Д, \quad (3.15)$$

где  $Э$  – потребление на территории электроэнергии, полученной от местных нетопливных источников (ГЭС, АЭС) или импортированной из соседних территорий (млн кВт·ч/год);  $T$  – импортированная тепловая энергия (тыс. Гкал/год);  $U$  – сжигание угля в топках на территории (т/год);  $Г$  – сжигание газа (тыс. м<sup>3</sup>/год);  $Ж$  – сжигание жидкого топлива (мазут, дизтопливо, бензин и др.) стационарными и мобильными потребителями (т/год);  $Д$  – сжигание растительного топлива и торфа (т/год).

Таблица 3.10 – Ранжирование территорий ПТС по эргодемографическим показателям

Тип	Характеристика территории	Границы ЭДИ
1-й	ООПТ (заповедники, государственные природные заказники, национальные парки) малонаселенные хозяйственно не освоенные территории	0-5
2-й	Лесное и сельское хозяйство; значительные площади непреобразованных ландшафтов; ПТС, вписанные в ландшафт без крупных населенных пунктов	5-10
3-й	Сельскохозяйственные территории с преобладанием площади агроценозов; перерабатывающая промышленность регионального значения; небольшие города и поселки	10-50
4-й	ПТК с наличием единичных крупных объектов энергетики, преимущественно аграрные или лесохозяйственные территории добывающей или перерабатывающей промышленности, вахтовые поселки	50-100
5-й	ПТК с крупными промышленными предприятиями небольшого числа отраслей и с отчетливым функциональным зонированием территории в окружении аграрного или аграрно-лесного (степного) ландшафта, тип средней городской агломерации	100-300
6-й	ПТК с многоотраслевым промышленным узлом, интенсивными транспортными магистралями в окружении лесного или аграрно-лесного ландшафта, тип крупный градообразующий объект с глубокой урбанизацией	300-500
7-й	ПТК с большой концентрацией различных отраслей индустрии и транспорта, без отчетливого функционального зонирования территории и с индустриально преобразованным ландшафтом, тип мегаполиса или очень крупного промышленного центра	500-1000

В табл. 3.10 приведена система ранжирования территорий ПТС в зависимости от границ значения величины ЭДИ. Диапазон рассматриваемых площадей – от 500 до 2000 км<sup>2</sup>. В соответствии с требованиями (Распоряжения № 207-р ) границы интервальных оценок могут расширяться по мере роста значений ЭДИ и вводятся дополнительные термины в определения территорий. Крупные ПТС урбанизированных мегаполисов должны быть отнесены к территории седьмого типа, в современной интерпретации «крупнейшая городская агломерация» – совокупность компактно расположенных населенных пунктов и территорий между ними с общей численностью населения более 1000 тыс. человек, связанных совместным использованием инфраструктурных объектов и объединенных интенсивными экономическими, в том числе трудовыми и социальными связями.

Следовательно, в этих агломерациях ЭДИ для отдельных территорий, точнее, ряда объектов в системе их иерархии, будет различен. Оценка ЭДИ конкретного объекта может быть выполнена либо расчетным путем по приведенной формуле, либо с использованием приведенной таблицы и дополнительной экспертизы.

В случае экспертной оценки и при выполнении ИДЗ область исследования (в виде выбранного региона) должна быть поделена на отдельные части, для которых можно ожидать различные величины ЭДИ. Если всю площадь области принять за 100 %, то эксперты должны указать долю территории в процентах, которая относится к каждому из семи типов территорий в предложенных в таблице 3.10 пределах деления:

$$P_i, i = 1,7 (\sum P_i = 100 \%). \quad (3.16)$$

Затем экспертам необходимо указать значения ЭДИ из диапазона для территории того или иного типа ЭДИ<sub>j</sub>. Расчет ЭДИ для области проводится по формуле:

$$\left( \sum_{j=1}^7 P_j \text{ЭДИ}_j \right) / 100 \%. \quad (3.17)$$

Результаты расчета ЭДИ сводятся в таблицу 3.11 при выполнении ИДЗ по выбранному региону развития:

Таблица 3.11 – Характеристика территории выбранного региона по заданию

Тип ПТС	Доля площади, %	ЭДИ <sub>i</sub>	(P <sub>i</sub> ЭДИ)/100
от 1 до 7			
Сумма	100	-	

Таким образом, в качестве вывода необходимо отметить, что главные свойства сложных ПТС определяются их спецификой иерархической организации, соподчиненностью и эмерджентностью. В качестве достаточно простого способа оценки эколого-экономической ситуации в регионе можно использовать вышеприведенные комплексные показатели, которые применимы для разработки концепции определения устойчивого состояния ПТС и определения тенденции безопасного развития для существующего ландшафта

или определение его необходимой степени преобразованности, не допуская тотального смыкания промышленных зон с полной потерей устойчивости ПТС.

Вопросы и объективные методы оценки устойчивости ПТС сегодня в период реализации так называемого устойчивого развития общества являются наиболее актуальными. Следует отметить, что в научной литературе наиболее часто оценивается не устойчивость системы, а чувствительность ПТС к определенному возмущению или типу воздействия на них. При этом учитывается площадь деградации, а в ряде случаев оценивается не интегративное (эмерджентное, сложное) свойство системы в целом, а изменчивость отдельных компонентов ПТС, качественного состава системы. По этому принципу выстроена проектная деятельность при создании новых технических или тиражировании имеющихся вариантов зеленых проектов. Систему оценки воздействия на окружающую среду и программное обеспечение для формирования раздела ОВОС проектной документации мы рассматривали в ранее изучаемых курсах. При создании объектов, к сожалению, не рассматривается комплексная взаимосвязь с ОС и формирующимися ресурсными циклами при неполном использовании природных ресурсов. Не выстраивается причинно-следственная связь динамики влияния технической системы на ландшафт. В большинстве случаев осознание этих просчетов происходит с необходимостью возмещения ущерба ОС с разработкой конкретных мероприятий по накопленному ущербу от предыдущей хозяйственной деятельности.

Об этом обстоятельстве необходимо помнить и правильно отрабатывать механизм принятия решения при реализации современной концепции устойчивого развития.

#### 4. КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Материалы и концепция устойчивого развития, разработанная международной Комиссией ООН по окружающей среде, достаточно подробно обсуждаются в курсе «Современные проблемы охраны окружающей среды» и приведены в учебном пособии (А. Б. Дягилева, 2012).

В настоящее время природная среда рассматривается как фундаментальная системы жизнеобеспечения человека и всей биоты. На базе этой парадигмы сформировалась концепция устойчивого развития, которая получает широкое распространение во всем мире. В этот период произошел резкий скачок в организации и финансировании глобальных исследований, в понимании термина «устойчивое развитие» (sustainable development), под которым стали понимать такую модель организации эколого-ориентированной экономики, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без лишения такой возможности будущих поколений. Необходимо особенно подчеркнуть, что в режиме развития рыночной «спекулятивной экономики» переход к сбалансированному экономическому развитию конкретных регионов **невозможен**. Как и невозможно создание абсолютно замкнутого цикла производства (вечного двигателя), но возможен сбалансированный механизм рационального природопользования, без существенных ущербов обществу и биоразнообразию.

В научной литературе по вопросу *устойчивого развития* накопилось много информации, которая подтверждает, что имеются фундаментальные противоречия в системе *ПС – ТС – ПТС – общество – экономика – человек*, не позволяющее достичь устойчивого развития, так как это рассматривалось первоначально. Эти противоречия можно сформулировать следующим образом:

- противоречие между пространственно-временной ограниченностью Земли и необходимостью сохранения развития проживающих сообществ вне зависимости от ограничений;
- противоречие между смертностью индивидуума и геологической вечностью территории;
- противоречие между ростом потребления (сформированное общество потребления в условиях рыночной экономики) и ограниченным воспроизводством гео- и биопродуктивности биосферы;
- разрыв между реальной массой произведенного обществом продукта и спекулятивным капиталом, не обеспеченным реальной мощностью;
- деградация экосистемных услуг из-за их «рассеянности» между потребителями и традиционной экономикой, когда они воспринимаются как условно бесплатные и не взаимосвязанные с ресурсным циклом;
- использование экологичного имиджа для создания ложного представления об экологичности компании (государства) или товара без достаточных для этого оснований (менеджментовый прием рыночной экономики для

продвижения товара к состоянию отхода /или способ утилизации за счет потребителя).

**Концепция устойчивого развития (КУР)** – процесс экологических и социально-экономических изменений, при котором природные ресурсы, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. На любом иерархическом уровне организации ПТС эта концепция включает систему принципов, процессов и оцениваемых результатов деятельности, направленной на баланс между экологической, социальной и экономической сферами как в отдельных компаниях – единицах ПТС, так и в обществе в целом. Соблюдение этого баланса способствует сохранению систем жизнеобеспечения и долгосрочному благосостоянию сообщества, но без завышенных потребительских амбиций, продиктованных рыночной глобальной экономикой.

В последние годы в промышленном комплексе идет активный переход на НДТ и внедрение **цифровизации технических процессов** в мониторинг систем качества ОС и всей сферы хозяйственной деятельности. Внедрение цифровых технологий, искусственного интеллекта (ИИ) поможет качественно повысить эффективность технологических процессов или даже полностью решить традиционные проблемы, например, в сфере транспорта или коммунального хозяйства, а также в сфере мониторинга и контроля безопасности объектов.

КУР связывают с термином *ESG-подход (Environmental, Social, Governance* – окружающая среда (ОС), общество и управление) к управлению рисками, учитывающим воздействие на ОС, общество, а также принципы эффективного управления процессом для снижения негативного воздействия различных факторов. Необходимо отметить, что в этом термине часто **управление** подменяют понятием **корпоративное управление** – что ограничивает само понятие *устойчивое развитие ПТС*, где компания является только частью в общей системе иерархии ноотехносферы. Этот подход является частью сложных процессов, определяющих условия функционирования ПТС, например, ESG-инвестирования, ESG-трансформации ESG-рейтингования и т. д. ESG – это промежуточный результат этапа развития ПТС, сам процесс оценок постоянно совершенствуется в бизнес-процессе с обязательным использованием НДТ в различных сферах хозяйственной деятельности и переходом в циркулярную экономику нового типа при максимально замкнутом ресурсном цикле. Для опасных производственных инфраструктурных и технологических объектов в этом подходе необходимо дополнительно ввести новый ESG-техносферная безопасность, что не предусмотрено отдельно в КУР, а ряд оценочных параметров устойчивого состояния ПТС размыты и ориентированы исключительно на социально-экономические аспекты с доминированием экономической выгоды.

Экологический, энергетический, экономический и политический кризис обнажил проблемы мировой глобализации экономики и определил

необходимость перехода к «устойчивому развитию» стран с использованием собственных ресурсов и учетом национальных приоритетов. Для оценки эффективности функционирования экономики целесообразно разрабатывать более релевантные сбалансированные ESG критерии для долгосрочного развития.

Эти критерии могут быть использованы институциональными инвесторами, а также политиками стран при заявлении о намерении следовать принципам ESG. Фокус внимания смещается на внедрение ресурсосберегающих технологий в разных сферах жизни, обеспечивающих существенное улучшение качества жизни и повышение благополучия людей, причем безопасность сегодня на конкретных территориях выходит на первый план.

Последние события 2022 и 2023 гг. заставляют несколько иначе рассматривать цели устойчивого развития (ЦУР) (Декларация, 2015) и возможности их реализации в условиях жестких санкций и гибридной войны по отношению к ряду государств, в том числе и к России.

Однако при формировании современного биполярного мира и возрастании роли региональных экономик в системе устойчивого развития конкретных регионов и ПТС, неразрывно связанных с ними, построение сбалансированного использования природных ресурсов является ключевым условием формирования национальной промышленной и продовольственной безопасности населения, создающих управляемые безопасные ПТС нового поколения при реализации триединой концепции устойчивого развития нового образца.

В основе реализации концепции устойчивого развития ПТК лежат три принципа: экологическая эффективность при соблюдении комплексной безопасности; экологическая целостность и экологическая справедливость. Основная задача управления ПТК состоит в разработке системы регулирования механизмов функционирования всех элементов ПТС в рамках конкретных социально-технических и экономических требований.

В контексте КУР политики и менеджеры от государственных (экономический блок) структур интерпретируют термин «экологическая устойчивость» как способность в течение длительного времени сохранять три основные функции: обеспечение ресурсами; функцию сбора и подготовки отходов; функцию применимости их для целевого использования. Таким образом, экологическую устойчивость с экономической точки зрения рассматривают как способность *увеличивать ценность ОС* и ее особенностей при условии реализации защиты, а также содействие возобновления природных ресурсов и сохранение экологического национального наследия. Однако необходимо отметить, что это может касаться только воспроизводимой части ресурсов, а что делать с невозпроизводимыми ресурсами, так называемой экологически опасной нефтяной иглой? Здесь и возникает необходимость пересмотра механизмов экономики и активный переход к сбалансированной циркулярной (управляемой) экономике на базе управляемых ПТС.

В этом случае возможна экономическая устойчивость – как способность экономических параметров ПТС создавать условия постоянного роста своих показателей. Это условие устойчивости необходимо привести в соответствие с естественно-научными тенденциями существования ПТС в различные периоды ее реализации, что требует значительной корректировки в механизмах экономического регулирования этих процессов. Ожидание постоянного роста экономической эффективности в настоящих условиях приводит к увеличению инфляции при необоснованных издержках использования невозпроизводимых ресурсах. В циркулярной экономике предполагаются плановые параметры перехода с одного состояния устойчивости на другое по аналогии с зависимостью на рисунке 2.2 (глава 2).

Социальная устойчивость – способность обеспечивать гарантированные параметры качества условий жизни населения независимо от социального статуса. К сожалению, эта часть социальной устойчивости ПТС отстает от роста сверхдоходов корпораций монополистов на урбанизированных территориях и снижает важный показатель ЦУР по доходности и покупательской способности населения нашей страны.

Странам, которые принимают условия КУР в соответствии с общепринятыми эколого-социальными и экономическими трендами, важно правильно оценивать свои позиции в этом процессе. Страны СНГ, БРИКС, ШОС улучшают свои показатели при оценке *Индекса устойчивого развития*. Среди стран СНГ лидирует Беларусь как социально ориентированное государство с сохраненными традициями образования, здравоохранения и использования природных ресурсов. С 2022 года, после мировой пандемии, общей тенденцией стало повышение средневзвешенных показателей региона СНГ в целом. Учитывая значительный ресурсный потенциал, у стран СНГ имеется реальный потенциал по улучшению рейтинга в системе так называемого устойчивого развития, точнее, перехода к *равновесному процессу* с динамическим равенством притока и оттока вещества, энергии и информации, поддерживающий экосистему ПТК в качественно определенном состоянии или ведущий к закономерной смене одной системы другой в перспективе на более высоком техническом уровне.

#### **4.1. Энергетическая трилемма в системе устойчивого развития ПТС**

Современные ПТС и комплексы, как искусственно созданные объекты, не могут существовать без энергообеспечения, которое может быть обеспечено от различных источников. Любая энергетическая система в общей иерархии ПТС сопряжена с рядом технологических процессов и имеет сложный и многофункциональный характер. Устойчивость работы этих систем напрямую зависит от надежности спроектированных систем, правильности проведения монтажных и строительных работ, а также режима эксплуатации этих объектов. То, что должно в первую очередь оцениваться со всех позиций управления этих объектов. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических

систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок отражены в документе (Приказ МЭ РФ № 630 от 03.08.2018).

В контексте устойчивого развития, согласно определению Мирового энергетического совета (WEC), под энергетической безопасностью следует понимать «уверенность, что энергия будет иметься в распоряжении в том количестве и того качества, которые требуются при данных экономических условиях (Energy Dictionary, 1992). В КУР из 17 целей устойчивого развития (ЦУР) две непосредственно относятся к энергетике и климату: ЦУР 7: «Дешевая и чистая энергия» и ЦУР 13: «Борьба с изменением климата». Они тесно взаимосвязаны и рассматриваются в общей концепции устойчивого состояния ПТС.

WEC был разработан в развитие КУР – *Индекс энергетической трилеммы (WETI)*, с которым можно ознакомиться по ссылке (World Energy, 2021).

Он представляет собой комплексный индекс, который может быть использован как отдельными странами, так и международными организациями и компаниями, определяющими функционирование ПТС для оценки состояния энергобезопасности на различных уровнях.

В рамках идеологии *WETI* и в соответствии с законами социально ориентированного государства следует выделить составные части энергетической устойчивости.

*Энергетическая безопасность (А)*, которая оценивается как способность государства и компаний, занимающихся энергетической деятельностью, удовлетворять текущий и будущий спрос на энергию, выдерживать и быстро восстанавливаться после возмущений различного уровня с минимальными (регламентированными) перебоями в поставках.

Структура индекса сформирована на основе материала (World Energy, 2021), приведена ниже.

<b>Индекс энергетической безопасности – 30 %</b>	A1 Безопасность поставок и спроса – 12 %	A1a. Безопасность поставок и спроса- 6%
		A1b. Независимость от импорта (самообеспечение) -6 %
	A2. Устойчивость энергетических систем – 18 %	A2a. Разнообразие способов генерации энергии-6 %
		A2b. Хранение энергии – 6 %
		A2c. Стабильность системы и способность к восстановлению – 6 %

*Энергетическая справедливость (В)* оценивается как способность территории (ландшафта, страны) обеспечить доступ к надежным имеющимся энергоресурсам, справедливо оцененным и реализуемым в достаточном количестве, в нужное время энергоресурсам для целевого использования (в том числе бытового). Этот параметр учитывает организованный доступ к электроэнергии и другим видам энергетических ресурсов через современные технологии для нужд населения. Оценивается возможность обеспечения объемов энергопотребления для устойчивого сбалансированного развития

экономики, а также наличие современной инфраструктуры для устойчивого энергоснабжения.

<b>Энергетическая справедливость – 30%</b>	В1. Доступ к энергии – 12 %	В1а. Доступ к электроэнергии – 6 %
		В1б. Доступ к чистому приготовлению пищи – 6 %
	В2. Доступ к качественной энергии – 6 %	В2а. Доступ к «современной» энергии – 6 %
		В3. Доступность энергии – 12 %
	В3а. Цены на электроэнергию – 4 %	
	В3б. Цены на бензин и дизельное топливо – 4 %	
	В3с. Цены на природный газ – 4 %	
В3д. Доступность электроэнергии для населения – 4 %		

*Экологическая устойчивость энергетических систем (С)* оценивается как возможность энергетической системы при рациональном функционировании перейти к снижению и предотвращению потенциального экологического ущерба от конкретной хозяйственной деятельности, в том числе с регулированием выбросов парниковых газов и эффектов, влияющих на изменение климата и температурными режимами в водных объектах, что определяет изменение состава биоты и климатических изменений в зоне воздействия. Данный параметр учитывает производительность и эффективность производства, передачи и распределения энергии, декарбонизацию и загрязнение ОС выбросами и сбросами от организованных и неорганизованных источников.

<b>Экологическая устойчивость – 30 %</b>	С1. Производительность ресурсов – 10 %	С1а. Энергоемкость конечной энергии – 5 %
		С1б. Эффективность производства энергии и научно-технических разработок – 5 %
	С2. Декарбонизация – 10 %	С2а. Низкоуглеродная выработка – 5 %
		С2б. Тенденция выбросов парниковых газов – 5 %
	С3. Выбросы и загрязнение – 10%	С3а. Интенсивность CO <sub>2</sub> – 2 %
		С3б. Выбросы CO <sub>2</sub> на душу населения – 2 %
		С3с. Выбросы CH <sub>4</sub> от энергии от единицы ktoe – 1%
С3д. Загрязнение воздуха PM <sub>2.5</sub> , среднегодовая экспозиция – 5 %		

Первые три выше приведенных индекса составляют 90 % всей оценки *WETI*. Остальные 10 % приходятся на учет параметра (D) – *национального аспекта* территории. Этот аспект включает основные макроэкономические, геотехнические и ландшафтные особенности региона, а также политические, институциональные особенности стран и компаний, позволяющие им осуществлять свою энергетическую политику.

<b>Национальный аспект – 10 %</b>	D1. Макроэкономическая среда – 2 %	D1a. Макроэкономическая стабильность – 2 %
	D2. Управление – 4 %	D2a. Эффективность правительства – 1 %
		D2b. Политическая стабильность – 1 %
		D2c. Верховенство закона – 1 %
		D2d. Качество регулирования – 1 %
	D3. Стабильность для инвестиций и инноваций – 4 %	Чистый приток ПИИ – 1 %
		D3b. Простота ведения бизнеса – 1 %
		D3c. Восприятие коррупции – 0,5 %
		D3d. Эффективность правовой базы при регулировании нормативных актов – 0,5 %
		D3e. Защита интеллектуальной собственности – 0,5 %
D3f. Инновационный потенциал – 0,5 %		

Каждый из перечисленных индексов оценивается по диапазонам А, В, С, D от лучшего до худшего. Оценка выставляется по трем основным параметрам.



Рисунок 4.1 – Основные компоненты индекса энергетической трилеммы

Суммарная оценка трилеммы имеет вид четырех букв (А, В, С, D), каждая из которых варьируется в процентном диапазоне. При этом основные параметры индекса имеют свои числовые значения в определенных диапазонах, каждый из которых имеет свою долю в общей оценке, приведенной в данных о структуре индекса.

#### 4.2. Устойчивость на региональном уровне на примере «зеленых» европейских таксономий

В общем случае *таксономия* – учение о принципах и практике классификации и систематизации. Для анализа функционирования сложных в иерархической соподчиненности ПТС этот принцип применяется давно и достаточно успешно в странах бывшего Советского Союза.

Евросоюз применил этот принцип к себе для продвижения так называемой «зеленой политики» с потерей суверенитетов стран, входящих в этот союз.

Таксономия ЕС (Regolamento (UE) 2020/852) – это система классификации, которая устанавливает и регламентирует список видов хозяйственной деятельности, соответствующих, по их мнению, экологической устойчивости. С документом необходимо ознакомиться самостоятельно при подготовке к семинару.

Предлагаемый механизм оценки деятельности предлагает компаниям, а главное, инвесторам и директивным органам ЕС ранжировать экономическую деятельность по критериям экологической устойчивости. В качестве основной цели европейской таксономии на этапе принятия документа в 2022 году обозначено как снижение рисков, в том числе инвестиционных, так и помощь компаниям стать более благоприятными для ОС и климата, выровнять рынок ЕС и помочь перераспределить инвестиции туда, где они наиболее необходимы. По сути, она играет роль системы перераспределения в ЕС устойчивых инвестиций и помогает реализовывать Европейскую зеленую сделку правящей коалиции. Что имеем на конец 2023 г. – спад экономики, переход на неэкологичное топливо, в том числе уголь, снижение уровня доходности населения и доступа к энергетическим ресурсам, вливание инвестиций в военные действия на Украине командой назначенных функционеров с надеждой получения ресурсов этой страны в пользование. Благие намерения буксуют.

В регламенте ЕС таксономии отражается 6 хорошо известных экологических целей.

1. Смягчение последствий изменения климата.
2. Адаптация к изменению климата.
3. Устойчивое использование и охрана водных и морских ресурсов.
4. Переход к экономике замкнутого цикла.
5. Предотвращение и контроль загрязнения.
6. Защита и восстановление биоразнообразия и экосистем.

Следует отметить, что механизмы управляемых ПТС прописаны достаточно поверхностно, и для реализации их на конкретной площадке или территории для российской действительности мало применимы с технологической точки зрения. Как показывает практика использования импортных технологий (например, систем водоочистки), при организации современных ПТС отмечаются существенные различия в системе оценки критериев надежности и сроков наработки на отказ технических элементов, что повышает риски неустойчивости ТС и цену на отпускаемые ресурсы для потребления.

С точки зрения экономической составляющей, модельная таксономия как основа для актуализации и верификации национальных решений может быть использована странами СНГ для недискриминационного доступа к «зеленым» валютным финансовым инструментам, но они предполагаются только для государств-членов, что ставит под сомнение их универсальность, например, для Турции. Модельная таксономия упрощает доступ компаний-инвесторов стран ЕАЭС к рынкам капитала стран-участниц через размещение инструментов финансирования на биржах стран. В структуре модельной таксономии ЕАЭС использован отраслевой подход, приоритет отдается отраслям, направленным на

снижение углеродного следа. Критерии «зеленых» проектов «пятерки» ведущих стран ЕС разработаны в соответствии с Договором о Евразийском экономическом союзе. Критерии зеленых проектов государств – членов Евразийского экономического союза отражены в материале (Критерии, 2023).

Подобные механизмы распространения передовых технологий в различных сферах хозяйственной деятельности для обеспечения сбалансированного развития реализовались и реализуются на территории таможенного союза в рамках стран СНГ с переходом на другие организации и страны. Материал по типовым проектам строительства Союзного государства, которые имеют положительное заключение экологической экспертизы, можно найти, например, на сайте (Реестр типовой документации).

Технические решения касаются различных отраслей деятельности. Приоритет, к сожалению, до сих пор остается за экономической выгодой и получением прибыли, а социально-экологические задачи остаются на втором плане. Доминирующие проблемы, которые требуют подхода с позиции КУР:

- энергетика – в соответствии трилеммой по доступности и качеству этого источника ресурсов, что особенно важно для России. Неустойчивость региональных энергосистем наглядно продемонстрировала себя в зимний период массовыми отключениями электроэнергии для населения.
- обращение с отходами в системе с переходом к комплексной переработке во вторичное сырье и новые продукты;
- строительство на принципах зеленых стандартов (ГОСТ Р 70346-2022) и максимального сохранения ландшафта со снижением степени преобразованных территорий;
- промышленность – многофункциональные кластеры на принципах биоценоза;
- транспорт и промышленная техника – с учетом жизненного цикла и ИИ при эксплуатации;
- водоснабжение и водоотведение в диапазоне требуемой обеспеченности и качества, а также в комплексе с аквакультурой для населенных мест;
- природные ландшафты, реки, водоемы и биоразнообразие как элемент ПС, ПТК и индикаторов устойчивости этих систем;
- сельское хозяйство – органическое и экологически безопасное для самообеспечения потребительской корзины для конкретных регионов и страны в целом.

### 4.3. Внедрение ESG-рейтингов в систему реализации российского бизнеса как организаторов новых единиц ПТС

В современных условиях геополитической неопределенности и при нарастающих центробежных тенденциях формирования национальных суверенитетов с желанием выстраивать устойчивую национальную экономику приобретает значимость система критериальной оценки новых инфраструктурных проектов для формирования системы развития регионов.

Необходимо отметить, что ключевые партнеры или провайдеры по продвижению рейтингов ESG-оценок приостановили свое сотрудничество с российскими компаниями, но поскольку этот процесс начался до специальной военной операции, то это направление работы в бизнес-сообществе получило свое самостоятельное развитие в российской действительности с национальным акцентом. Таким образом, в России складывается и развивается свой национальный подход и механизм оценки отбора проектов для развития инфраструктуры современных ТС, входящих в ПТК. Однако эта оценка прежде всего касается не комплексных критериев устойчивого развития ПТС, а именно, оценки устойчивого развития компаний преимущественно с экономической точки зрения и доходности, окупаемости за счет будущих потребителей.

Вариант ESG-индексов Российского союза промышленников и предпринимателей, Московской биржи, Рейтингового агентства «Эксперт РА», Аналитического кредитного рейтингового агентства, Национального рейтингового агентства сформулированы в документе «Отражение ответственной деловой практики в индексах устойчивого развития: результаты проектов Российского союза промышленников и предпринимателей и Московской биржи (Устойчивое развитие, 2024). В систему комплексных инструментов оценки устойчивого развития компаний в Российском варианте КУР по аналогии с вариантом ЕС входят ESG-индексы «Ответственность и открытость» и «Вектор устойчивого развития», а также Рейтинг раскрытия информации об интеграции ЦУР ООН (Рейтинг ЦУР ООН). *Индекс «Ответственность и открытость»* отражает общую ситуацию в сфере раскрытия информации по вопросам устойчивого развития и *корпоративной социальной ответственности* в *публичной корпоративной отчетности* крупнейших российских компаний. К сожалению, нужно отметить, что реальная реализуемая корпоративная ответственность (например, по накопленному ущербу или ущербу третьим лицам при хозяйственной деятельности) может существенно отличаться от отчетных материалов и интерпретируется как коммерческая тайна корпораций. *Индекс не предназначен для ранжирования компаний.* В рамках индекса уровень раскрытия информации оценивается по двум критериям: *объем* раскрытия информации (число раскрытых показателей) и *качество* раскрытия информации в публичной корпоративной отчетности (годовые отчеты, отчеты по вопросам устойчивого развития и корпоративной социальной ответственности). Таким образом, тематическая структура индекса *понимание корпоративной социальной ответственности* как ответственности организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и

окружающую среду, включая экономические, экологические и социальные аспекты этого воздействия, подразумевает понимание этих аспектов. Но это в реальности не значит обеспечения реализации и конкретной ответственности по внешнему контуру компании, что способствовало бы устойчивому состоянию ПТК в целом и благоприятной среде для населения, не работающего в компании.

*Индекс «Вектор устойчивого развития»* отражает динамику показателей социально-экономической и экологической результативности деятельности компаний, но не долю ее участия в обеспечении устойчивости конкретной территории или сбалансированного кластера. Он показывает, движение в каком направлении отражают показатели публичной отчетности, снижается ли экологическая «цена» производства, насколько ощутимее становится вклад компаний в общественное развитие.

В основе индексов – *прежде всего анализ информации*, поддающейся некоторой количественной оценке (наличие определенного набора показателей в рамках тематики устойчивого развития, значения этих показателей). Еще раз нужно подчеркнуть, что индексы не предназначены для ранжирования компаний в этом направлении. Их задача – *общая оценка ситуации и динамики ее развития*. Наиболее часто описываемыми в этом индексе количественными индикаторами являются:

- производительность труда;
- производственная безопасность, охрана труда;
- оплата труда и расходы на социальные программы для персонала;
- обучение персонала;
- текучесть кадров;
- выбросы в атмосферу, в том числе выбросы парниковых газов;
- водопотребление и сбросы в водные источники;
- энергоэффективность и энергопотребление;
- обращение с отходами;
- социальные инвестиции.

С 2022 года введены дополнительные индикаторы для формирования интегрального индекса:

- вовлеченность высшего руководства в управление устойчивым развитием;
- риски и возможности в сфере устойчивого развития;
- измеримые целевые ориентиры по аспектам устойчивого развития.

При этом фиксируются не собственно значения показателей, а количество «сигналов», которые указывают на направление изменений за 3 года.

Следует отметить, что в наборе этих индикаторов отсутствуют значимые мероприятия по экологической эффективности, реабилитации территории, доля использования воды в обороте, глубина переработки первичного сырья, не указывается доля использования вторичного сырья и технологии переработки побочных продуктов – то, что составляет основу циркулярной экономики и равновесного состояния экономики с учетом эколого-значимых социальных мероприятий.

В список лидеров, претендующих на устойчивое развитие, входят преимущественно предприятия по переработке невозпроизводимого сырья, а такие технологии с экологической точки зрения не могут иметь «устойчивого развития» в рамках ограниченности ресурсов. Без критерия глубины переработки сырья и рекультивации месторождений экологичность и безопасность производства остается достаточно невысокой и условной.

В списке лидеров практически отсутствуют предприятия по переработке воспроизводимого сырья, что говорит о закрытости информации об их деятельности, хотя именно они призваны выстраивать систему устойчивого развития конкретных территорий и регулировать карбоновый след.

Развитие ESG-подходов и их гармонизация может происходить как на региональном, так и на национальном уровнях. Как этап процесса внедрения ESG-рейтингов в России Банк России разработал проект рекомендаций и модельную методологию ESG-рейтингов, которой могут следовать кредитные рейтинговые агентства (Модельная методология 2023).

Банк России с осторожностью относится к сводному ESG-рейтингу. Причиной тому является структура агрегированного показателя. Его элементы не являются ни компенсирующими, ни дополняющими. Рейтинговые баллы, полученные по одним компонентам, не могут замещать слабую оценку по другим компонентам. Например, выбросы загрязняющих веществ выше нормативов не могут компенсироваться хорошим корпоративным управлением. Точнее, экологическое управление находится на низком уровне в общей системе управления, и своевременная оплата штрафов не является признаком хорошего управления, а является обязательным условием природопользования в рамках законодательства. В целом область применения сводного ESG-рейтинга сильно ограничена, если в принципе она применима. Международные исследования не выявили корреляцию сводного ESG-рейтинга с каким-либо значимым экономическим явлением, напротив, наметился спад экономики и кризис. Банк России рассматривает ESG-рейтинг как пакетную услугу. В рамках нее рейтингуемое лицо может получить три самостоятельных рейтинга по каждой компоненте для разработки внутренней стратегии развития.

Гармонизация ESG-рейтингов на новом уровне начнет происходить с 2023 года. По мере накопления рейтинговой практики планируется рассмотреть целесообразность введения регулирования ESG-рейтингов как особой категории – некредитных рейтингов. Будущее ESG-рейтингов зависит от их практического применения. Присвоение ESG-рейтингов в соответствии с модельной методологией позволит создать тестовую выборку ESG-рейтингов, по которой может быть произведен эконометрический анализ причинно-следственных связей с другими переменными, характеризующими деятельность рейтингуемых объектов, которые являются элементами ПТС.

С вопросами для консультаций и рекомендаций по разработке методологии и присвоению ESG-рейтингов ознакомиться самостоятельно по ссылке, приведенной выше.

Предварительные итоги социально-экономического развития Российской Федерации за январь–июль 2023 г. и ожидаемые итоги социально-экономического развития РФ за год и характеристика прогноза социально-экономического развития на 2024–2026 гг. представлены в документе (Прогноз, 2023). Он может быть рассмотрен как материал для формирования будущих рейтингов и выполнения самостоятельной работы.

Материалы для блока Индекса «Вектор устойчивого развития» по отдельным направлениям необходимо формировать на базе отчетов по состоянию качества окружающей среды.

## 5. ЭКОСИСТЕМНЫЕ И ТЕХНОСФЕРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Как отмечалось выше, каждый ПТК образован совокупностью взаимосвязанных элементов, характеризующихся специфическими формами реакции на различные виды воздействия между конкретными элементами и ПС в целом. Эти специфические реакции являются исходной базой для определения обобщенной характеристики эмиссии веществ, генерируемых ТС, возможность ПС принять определенную нагрузку и рассеять по территории в целом. Это означает, что разработка нормативов качества окружающей среды основывается на структуризации территории, формировании частных характеристик (нормативов) каждого из ее элементов. Для принятия ряда стратегических решений используются сгенерированные один или несколько обобщающих показателей. Для давно действующих ПТК, таких как крупные городские агломерации, с 2000 года созданы и работают государственные информационные системы в сфере охраны окружающей среды «Экологический паспорт территории». Следует отметить, что каждый паспорт достаточно индивидуален (хотя содержит регламентированный набор информации), что объясняется относительностью понятия нормы экосистемы в пространстве и времени, т. е. ее детерминированностью конкретным регионом и временным отрезком. При этом для разных регионов (в смысле месторасположения, размера, структуры) допускается различие и в составе показателей, и в методах определения их количественных значений.

Для перехода к стратегическому и плановому развитию территорий, в том числе тех, которые уже подвергались определённому воздействию, необходимо понимать *потенциальную емкость территории*. Это понятие используется при проектировании хозяйственного освоения и заселения территорий, для регламентации хозяйственной деятельности с целью обеспечения совместимости ее с окружающей средой (экологического равновесия в ПТС). Экологическое равновесие возможно достичь в том случае, если соблюдаются предельно допустимые антропогенные нагрузки в системе взаимодействия элементов ПТС и окружающей природной среды, которые устанавливаются через емкость территории.

*Полная экологическая емкость территории* – количественная способность ландшафта удовлетворять потребности населенных мест без нарушения экологического равновесия. Она определяется, во-первых, объемами основных природных резервуаров – воздушного бассейна, совокупностью водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны, во-вторых, мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного атмосферного газообмена, пополнением объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивности биоты.

Познать сложное явление формирования компонентного состава и качества ПТК можно, изучив: 1) источники химических элементов в конкретном

ландшафте 2) факторы формирования; 3) процессы формирования; 4) обстановки формирования; 5) этапы формирования.

К факторам формирования состава различных ресурсов и фона на конкретной территории принято относить 6 основных групп. Например, к основным факторам формирования состава подземных вод как индикатора хозяйственной деятельности, можно отнести следующие:

- 1) физико-географические (рельеф, гидрология, климат, выветривание, цементация);
- 2) геологические (геологическая структура, тектонические движения, *тип пород*, магматизм, *газовый фактор*);
- 3) физико-химические (химические свойства элементов, растворимость химических соединений, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия);
- 4) физические (температура, давление, время и пространство);
- 5) биологические (влияние живого вещества почвы, ландшафт);
- 6) антропогенные (воздействие деятельности человека).

Значение каждого из приведенных факторов далеко не равноценно. Различают *прямые* факторы, непосредственно воздействующие на состав компонентов ПС, и *косвенные*, определяющие условия, в которых происходит взаимодействие компонентов системы. Например, тектонические движения являются косвенными, для формирования *качества подземной воды*, так как под их воздействием вода из одних пород отжимается в другие, где и может изменять свой состав. В этом случае горные породы – *прямой фактор*: растворяясь, они непосредственно обогащают воду ионами и химическими соединениями.

По важности воздействия на состав воды факторы формирования делят также на *главные* и *второстепенные* или *ведущие* и *подчиненные*. Для понимания этих процессов целесообразно рассмотреть более подробно систему соподчиненности факторов (рис. 5.1).

Все природные факторы формирования состава вод взаимосвязаны, и поэтому изменение одного из них вызывает целую цепь причинно-следственных изменений. Так, например, интенсивность водообмена есть сложная функция количества атмосферных осадков, степени их испарения, характера рельефа, проницаемости горных пород, их литологического состава и т. д. Следовательно, все перечисленные факторы воздействуют на состав воды косвенно, через интенсивность водообмена. **Водообмен** – процесс перехода воды из одного состояния в другое, с разложением молекулы на ионы и с последующим синтезом ее при биохимических, химических и геохимических процессах, происходящих между атмосферными, поверхностными и подземными водами. Скорость водообмена зависит от скорости движения подземных вод, от типа водовмещающих пород и т. д., чем больше водопроницаемость пород и меньше их объем, тем быстрее совершается в них водообмен даже при одних и тех же гидравлических уклонах.

При любом нарушении сложения почв специфика взаимодействия влияет на водоисточники, используемые для водообеспечения, что необходимо учитывать при оценке емкости территории под определенное использование.

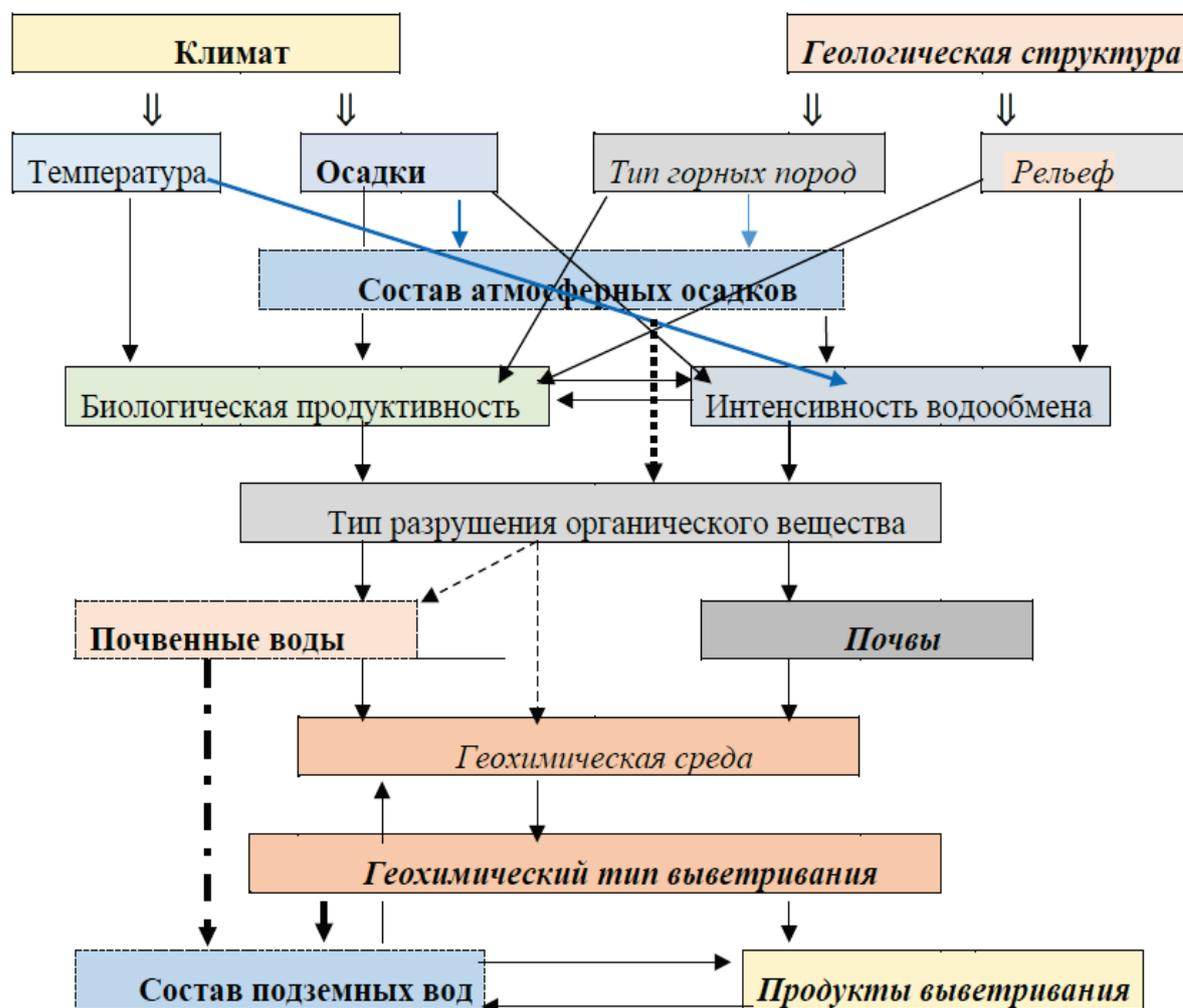


Рисунок 5.1 – Соподчиненность основных факторов формирования химического состава подземных вод по С. Л. Шварцеву

Таким образом, водообмен, являясь производным ряда более общих факторов, выступает в качестве не производного, а задающего относительно состава воды. А если это так, то налицо следующая соподчиненность и взаимозависимость: *осадки* → *водообмен* → *состав воды*. В этом ряду каждый следующий (после первого) фактор является производным впереди стоящего и одновременно определяющим для каждого из последующих.

Аналогичным образом можно проследить связи между климатом, почвами и составом воды. Совершенно очевидно, что и здесь прослеживается связь *климат* → *почва* → *состав воды*. Точно также рельеф, как производное геологической структуры, влияет на водообмен и через него на состав воды, т. е. через промежуточные звенья, а не прямым образом.

Более сложные связи выявляются между геохимической средой, типом выветривания и составом воды. Рассмотрение генетических связей позволяет

наметить следующую соподчиненность группы факторов: *климат → биологическая продуктивность → тип трансформации органического вещества → геохимическая среда → тип выветривания → состав воды.*

Таким образом, устанавливается соподчиненность, обеспечивающая состав подземных вод. Причем качество подземной воды, питающей поверхностные водоисточники, не связано напрямую ни с количеством атмосферных осадков, ни с рельефом местности, ни с типом горных пород, хотя каждый из них и оказывает определенное влияние на геохимию формирующихся растворов. Но характер этого влияния проявляется через такие параметры, как *биологическая продуктивность ландшафта, интенсивность водообмена, характер геохимической среды* и т. д. Поэтому любые попытки искать связь состава подземных вод только с составом горных и вмещающих пород, характером рельефа или количеством осадков не приводят к ожидаемым результатам. В каждом конкретном случае рассматриваемой территории ведущий фактор будет свой, который необходимо устанавливать на стадии изысканий перед принятием технического решения по освоению территории.

Гетерогенный характер формирования состава (рис. 5.1) подземных вод, обусловленный различными факторами, и их отдельные составляющие выделены на рисунке пунктирными линиями. *Атмосферная составляющая* определяется в основном климатическими факторами, *биогенная* – дополнительно составом и типом разрушения органического вещества, *литогенная*, кроме того, типом разрушения (выветривания) горных пород, средой и временем взаимодействия воды с горными породами (см. гл. 1.3–1.4), что контролируется рельефом, водообменом и проницаемостью горных пород. Литогенная составляющая воды непосредственно связана с геохимическим типом выветривания, который контролируется характером среды, среда – интенсивность водообмена, биологической продуктивностью ландшафта, типом разрушения органического вещества и т. д. Именно в такой последовательности необходимо искать связи между *составом воды*, с одной стороны, и *климатом*, рельефом и типом горных пород, с другой.

Вот почему климатический фактор в системе управления ПТК сегодня является определяющим и влияет на характер использования территории для хозяйственных целей.

При определении тех или других видов деятельности и способов нормирования их необходимо помнить, что каждая экосистема образована совокупностью элементов, характеризующимися специфическими реакциями на различные виды воздействия. Данные реакции и являются исходной базой для определения обобщенных показателей качества всей территории. Это значит, что разработка нормативов качества ОС основывается на структуризации территории, формировании частных характеристик каждого ее элемента и связывании их в один или несколько обобщающих показателей качества, так называемые обобщенные показатели качества.

В системе управления ПТК, где доминирует экономическое начало, целесообразно оценить экологическую емкость территории, в который входят

такие понятия, как демографическая емкость, репродуктивный потенциал биоты, экологическая техноёмкость территории.

Под **демографической емкостью территории** понимают максимально возможное количество жителей, которые потенциально могут проживать на определенной территории при нормативной обеспеченности потребностей на душу населения при условном сохранении экологического равновесия территории. Демографическая емкость оценивается по наличию земель, пригодных для промышленного и гражданского использования, водных и рекреационных ресурсов, по условиям организации для самообеспечения агропромышленной продукции, а также зон для накопления и переработки отходов различного типа.

Демографическая емкость определяется исходя из наименьшего значения частных демографических емкостей по аналогии с эргодемографическим индексом (гл. 3.2). Сравнив соотношение частных демографических емкостей территории ( $D_1-D_6$ ), определяют наименьшую из них, являющуюся лимитирующей, значение которой определяет экологически оптимальное число жителей для данной территории.

Частные демографические индексы определяются из следующих составляющих:

1. По наличию территории

$$D_{T1} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot 1000}{H} , \quad (5.1)$$

где  $D_{T1}$  – частная демографическая емкость,  $S_i$  – территория, имеющая наиболее благоприятные условия для проживания, га,  $H$  – потребность в территории для 1000 жителей в зависимости от характера производственной базы (для сельскохозяйственных зон с высокой потребностью в частных наделах  $H$  составляет 30–40 га, для промышленных районов  $H = 20–30$  га), в том числе беллигеративные земли (отведенные под использование, связанное со значительным разращением их разрушением).

2. По обеспеченности водными ресурсами  $D_w$  (складывается из запасов подземных и поверхностных вод):

$$D_w = D_2 + D_3 , \quad (5.2)$$

где  $D_2$  – частная демографическая емкость по запасам поверхностных вод, чел.,  $D_3$  – то же по запасам подземных.

$$D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot K \cdot 1000}{B_{нов}} , \quad (5.3)$$

$$D_3 = \sum_{i=1}^n \frac{E_i \cdot S_i \cdot 1000}{B_{подз}} , \quad (5.4)$$

где  $Q$  – сумма расходов воды в водотоках на входе в территорию, м<sup>3</sup>/сут,  $K$  – коэффициент разбавления сточных вод водой (для северных районов – 0,1, для южных – 0,25),  $B_{нов}$  – нормативная обеспеченность водой поверхностных источников 1 тыс. жителей в сутки на нужды бытовые, производственные,

рекреационные, принимается в пределах 1000-2000 м<sup>3</sup>/сут (в сельскохозяйственных районах с большим числом индивидуальных хозяйств  $B = 2000$  м<sup>3</sup>/сут),  $E$  – эксплуатационный модуль подземного стока, м<sup>3</sup>/(сут×га),  $S$  – площадь территории, га,  $B_{подз.}$  – нормативная водообеспеченность подземными водами 1 тыс. жителей в экстремальных ситуациях (40 м<sup>3</sup>/сут) или 0,04 м<sup>3</sup>/(сут×чел.).

3. Под *рекреационным ресурсом* понимают долю территории, обеспечивающей доступность населения для отдыха в лесных массивах и у водных объектов. *Демографическая емкость по организации отдыха в лесу:*

$$D_4 = \frac{SF \cdot 0,5 \cdot 1000}{HM}, \quad (5.5)$$

где  $S$  – территория района, га,  $F$  – лесистость района в долях от общей площади, 0,5 – коэффициент, учитывающий зеленые зоны городов (может варьироваться от 0,1 до 0,8),  $H$  – ориентировочный норматив потребности 1000 жителей в рекреации (при средней допустимой нагрузке 5 чел./га принимается равным 2 км<sup>2</sup>),  $M$  – коэффициент распределения отдыхающих в лесу и у воды (в умеренном климате  $M = 0,3$ , в жарком  $M = 0,1$ ).

*Демографическая емкость по организации отдыха у воды:*

$$D_5 = \frac{2LC \cdot 1000}{0,5M}, \quad (5.6)$$

где  $L$  – протяженность водотоков, пригодных для купания, км,  $C$  – коэффициент, учитывающий возможность организации пляжей (в лесной зоне 0,5, в степной 0,3), 0,5 – средний норматив потребностей 1 000 жителей в пляжах, км,  $M$  – коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в лесу и у воды (умеренный климат 0,1-0,15; жаркий, сухой – 0,3-0,4).

4. Демографическая емкость территории по *условиям организации пригородной сельскохозяйственной базы:*

$$D_6 = \frac{S_s E \cdot 1000}{P}, \quad (5.7)$$

где  $S_s$  – площадь территорий, благоприятных или ограниченно благоприятных для ведения сельского хозяйства, га,  $E$  – коэффициент, учитывающий возможность использования сельскохозяйственных угодий под пригородную базу (0,1-1,0),  $P$  – показатель ориентировочной потребности 1 тыс. жителей в землях пригородной сельскохозяйственной базы, га (500-2000 га).

Обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной *техногенной нагрузке*, которую может выдержать и переносить совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств в течение определенного времени, называют *экологической техноемкостью территории (ЭТТ)*.

Расчет превышения ЭТТ сводится к определению фактической интегральной техногенной нагрузки на определенную территорию или совокупность реципиентов и сопоставлению ее с предельно допустимой техногенной нагрузкой на эту территорию, по аналогии с расчетом устойчивости ландшафта. Расчет ЭТТ основан на эмпирически подтвержденном допущении, согласно которому ЭТТ составляет долю общей экологической емкости

территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеризуемого состояния среды от естественного уровня и его колебаний. Превышение этого уровня изменчивости приписывается антропогенным воздействиям, достигшим предела устойчивости ПТК.

Если трем компонентам среды обитания человека – воздуху, воде и земле (включая биоту экосистем и совокупность реципиентов) – приписывать индексы соответственно 1, 2 и 3, то ЭТТ может быть приближенно вычислена по формуле:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 \mathcal{E}_i X_i A_i, \quad (5.8)$$

где  $H_T$  – оценка ЭТТ, выраженная в единицах массовой техногенной нагрузки (усл. т/год),  $\mathcal{E}_i$  – оценка экологической емкости  $i$ -й среды (т/год),  $X_i$  – коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде,  $A_i$  – коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей), усл. т/т.

Экологическая емкость каждого компонента среды рассчитывается по формуле (Коротченко, 2021):

$$\mathcal{E} = V \times C \times F, \quad (5.9)$$

где  $V$  – экстенсивный параметр, определяемый размером территории, площадью ( $\text{км}^2$ ) или объемом ( $\text{км}^3$ ):

- для воздуха: 
$$V_1 = S \times H, \quad (5.10)$$

где  $S$  – площадь территории,  $\text{км}^2$ ;  $H$  – приведенная высота слоя воздуха (км), подвергающегося техногенному загрязнению (в зависимости от типа природной геосистемы от 0,01 до 0,05 км);

- для воды:  $V_2$  – полный среднегодовой объем всех поверхностных водоемов и водотоков на территории,  $\text{км}^3$ ;

- для земли: 
$$V_3 = S; \quad (5.11)$$

$C$  – содержание (концентрация) главных экологически значимых субстанций в  $i$ -й среде ( $\text{т/км}^2$  или  $\text{т/км}^3$ ):

- для воздуха: (содержание кислорода и углекислого газа)  $C_1 = 3 \cdot 10^5$ ,  $\text{т/км}^3$ ;

- для воды:  $C_2 = 10^9$   $\text{т/км}^3$ ;

- для земли:  $C_3$  – плотность поверхностного распределения сухого вещества биомассы на территории,  $\text{т/км}^2$ ;

$F$  – скорость кратного обновления объема или массы среды,  $(\text{год})^{-1}$ :

- для воздуха: 
$$F_1 = 55896v/S^{1/2}, \quad (5.12)$$

где  $v$  – годовая средняя скорость ветра, м/с;

- для воды: 
$$F_2 = (0,0315 \cdot f + 3 \cdot 10^6 WS) / V_2, \quad (5.13)$$

где  $f$  – сумма расходов воды в водотоках при входе в территорию,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$W$  – среднее годовое количество осадков, мм;

- для биоценозов территории: 
$$F_3 = P_6 / B, \quad (5.14)$$

где  $P_6$  – средняя годовая продукция сухого вещества биомассы, т/год;

$B = C_3 \cdot V_3$  – среднегодовая биомасса сухого вещества, т.

Значения коэффициента вариации  $X$ :

- для воздуха: (естественные колебания содержания кислорода и углекислого газа в атмосферном воздухе)  $X_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ ;
- для воды равнинных рек и озер:  $X_2 = (4 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ ;
- для биоты: на основании данных о дисперсиях продукции биоценозов, в зависимости от типа биоценозов изменяется от 0,03 до 1:  $X_3 = 0,43 \cdot F_3$  (5.15)

**Агроклиматический потенциал (АП)** характеризует специфические требования сельскохозяйственной культуры к агроклиматическим условиям произрастания. Для зерновых культур АП рассчитывают по формуле:

$$АП = \frac{\sum t > 10^\circ \cdot (КУ - P)}{КК + 100}, \quad (5.16)$$

где  $\sum t > 10^\circ$  – сумма температур выше  $10^\circ$ ; КУ – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков к испаряемости); величины КУ более 1,1 принимают равными 1,1; P – поправка к КУ,

при  $КУ > 0,76$   $P = 0,20 - 0,6(1,1 - КУ)$ ;

при  $КУ = 0,76 - 0,36$   $P = 0$ ;

при  $КУ = 0,35 - 0,30$   $P = 0,35 - КУ$ ;

при  $КУ < 0,30$   $P = 0,05$ ;

КК – коэффициент континентальности климата рассчитывают по формуле:

$$КК = \frac{360(t_{\max} - t_{\min})}{\lambda + 10}, \quad (5.17)$$

где  $t_{\max}$  – средняя температура самого теплого месяца,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\min}$  – средняя температура самого холодного месяца,  $^\circ\text{C}$ ;

$\lambda$  – широта местности (с точностью до десятых долей градуса);

КК – берут в целых числах. Величины КК более 200 принимают равными 200.

**Суммарная предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН)** определяется из условия сохранения целостности экосистем и качества среды путем преобразования солнечной энергии для процессов самоочищения и регенерации.

Энергетический эквивалент суммарной ПДТН рассчитывается по формуле:

$$ПДТНЭ = k_{ан} \cdot (72R + 123 W + 0,6 P) S - k_e N, \quad (5.18)$$

где  $k_{ан}$  – коэффициент, учитывающий антропогенную насыщенность территории ( $k_{ан} = 1 + \lg(\text{ЭДИ})$ ), где ЭДИ – эргодемографический индекс (см. гл. 3.2);

R – радиационный баланс территории, ккал/(см<sup>2</sup>×год); W – средний модуль поверхностного стока, м<sup>3</sup>/(га×сут) (при отсутствии прямых указаний для большинства районов  $W \sim 0,01w$ , где w годовое количество осадков, мм);

P – удельная продукция сухого вещества биомассы, т/(км<sup>2</sup>×год) ( $P = P\%/S$ );

$k_e$  – нормативный минимум бытового расхода энергии на одного человека, тут/(чел.× год) (в зависимости от климатических условий в пределах СНГ  $k_e$  изменяется от 0,5 до 1,5); N – общая численность населения территории, чел.

Для сопоставимости ряда показателей, используемых при оценке нагрузок на ПТС при нормировании в различных единицах измерения, была предложена и применена формула (А. А. Чибилёв и др., 2019) с использованием номеруемых показателей в интервале от 0 до 1, где 1 соответствует максимальному значению

соответствующего показателя среди рассматриваемых регионов одной климатической зоны:

$$x_{ij}^{\text{норм}} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, \quad (5.19)$$

где  $x_{ij}^{\text{норм}}$  – нормированное значение  $j$ -го показателя, которым обладает  $i$ -й территория,  $x_{ij}$  – максимальное значение  $j$ -го показателя среди исследуемых территорий,  $i$  – номер исследуемых объектов в системе ПТС климатической зоне (в предлагаемом случае от 1 до 17 степных районов РФ),  $j$  – номер нормируемого показателя (от 1 до 15).

Нормированные показатели сгруппированы в 6 блоков – факторов антропогенной нагрузки: селитебной (I), загрязнения воздушного (II) и водного (III) бассейнов, сельскохозяйственной (IV), транспортной (V) и образования отходов (VI). Для каждого из выбранного региона по каждому из блоков рассчитаны многомерные средние индексы, позволяющие совершить переход от многомерного пространства признаков к одномерному (А. А. Чибилёв и др., 2019) и вычисляются по формуле 5.20:

$$\bar{P}_{mi} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_{ij}^{\text{норм}}, \quad (5.20)$$

где  $\bar{P}_{mi}$  – индекс антропогенной нагрузки по блоку показателей,  $m$  – номер блока сгруппированных показателей,  $k$  – число показателей в блоке.

**Блок I – индекс селитебной нагрузки ( $P_1$ )** определяется для территорий ПТС с антропогенно нарушенными землями природного ландшафта под дорогами, земли застройки и земли, утратившие свою хозяйственную ценность и выведенные из оборота в категорию промзоны или в результате производственно-хозяйственной деятельности человека ставшие источником отрицательного воздействия на окружающую среду.

Для оценки  $P_1$  в выражении 5.20 рекомендуется использовать следующие показатели:  $x_1$  – общая плотность населения (чел./км<sup>2</sup>);  $x_2$  – плотность городского населения (чел./км<sup>2</sup>);  $x_3$  – плотность сельского населения (чел./км<sup>2</sup>);  $x_4$  – доля антропогенно нарушенных земель в общей территории ПТК (%).

**Блок II – индекс загрязнения атмосферного воздуха ( $P_2$ )** по выражению 5.20 включает показатели:  $x_5$  – плотность выбросов вредных веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников (т/км<sup>2</sup>);  $x_6$  – плотность выбросов вредных веществ в атмосферу, отходящих от автомобильного транспорта (т/км<sup>2</sup>). Расчет имеет рекомендательный характер, но может быть использован для укрупненной оценки ПТК.

Следует отметить, что эти результаты необходимо сравнивать с результатами анализа и требованиями (Приказ № 106, 2022) которые будут обсуждаться в следующей главе пособия.

**Блок III – индекс нагрузки на водный бассейн ( $P_{III}$ )** определяется показателями:  $x_7$  – доля используемых пресных вод из поверхностных источников (забор воды из поверхностных источников / ресурсы речного стока,

‰);  $x_8$  – плотность сброса загрязненных сточных вод ( $\text{м}^3/\text{га}$ ). Плотность сброса загрязнённых сточных вод рассчитана как отношение суммы загрязненных и недостаточно очищенных сточных вод к площади территории по показателям ПАН<sup>б</sup> (см. раздел 5.1).

Величина достаточно ориентировочная и занижена, (модуль 3 курса ЭУПТК), но  $P_{III}$  используется для укрупненной оценки нагрузки в зоне влияния ПТК.

**Блок IV – индекс сельскохозяйственной нагрузки ( $P_{IV}$ )**, для его расчёта по выражению 5.20 рекомендовано использовать следующие показатели:  $x_9$  – распаханность территории (‰);  $x_{10}$  – внесение пестицидов ( $\text{кг}/\text{га}$ ) и показатель животноводческой нагрузки. Животноводческая нагрузка представлена плотностью поголовья (голов/ $\text{км}^2$ ):  $x_{11.1}$  – крупного рогатого скота;  $x_{11.2}$  – овец и коз;  $x_{11.3}$  – свиней и  $x_{11.4}$  – птицы. Список этот неполный и требует существенной корректировки, но может быть использован для ориентировочных расчётов.

**Блок V – индекс транспортной нагрузки ( $P_V$ )**, в его расчет рекомендуется вводить:  $x_{12}$  – плотность легковых автомобилей (шт./ $\text{км}^2$ ) и  $x_{13}$  – плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (км путей на 1000  $\text{км}^2$ ). Ни в одном из блоков из предлагаемых индексов для оценки антропогенной нагрузки не введено количество используемого топлива подвижным составом.

**Блок VI – индекс образования отходов производства и потребления ( $P_{VI}$ )** учитывает показатели:  $x_{14}$  – вывоз твердых коммунальных отходов без учета отправленных на переработку ( $\text{м}^3/\text{км}^2$ );  $x_{15}$  – образование отходов производства и потребления на единицу площади ( $\text{т}/\text{км}^2$ ).

Интегральный показатель антропогенной нагрузки рассчитан путем суммирования многомерных средних индексов ( $P_I - P_{VI}$ ) каждого блока показателей для конкретной территории

$$I_i^{\text{ан}} = \sum_{m=1}^6 \bar{P}_{mi}, \quad (5.21)$$

где  $I_i^{\text{ан}}$  – интегральный индекс антропогенной нагрузки.

Для выполнения ИДЗ в этой части курса можно использовать предложенный алгоритм для определения расчетных величин антропогенной нагрузки в качестве промежуточного варианта для сравнения с экосистемными показателями качества территории.

В качестве информационной базы в работе рекомендуется использовать открытые данные Федеральной службы государственной статистики и Министерства природных ресурсов, также данные региональных служб и отчетные данные объектов хозяйственной деятельности на территории ПТК.

## 5.1. Экологическая оценка ПТК по экосистемным показателям качества

Проведение экологической оценки территории, по существу, означает анализ качества окружающей природной среды и ее изменения под воздействием антропогенных факторов.

Экологическая оценка территории, входящей в ПТК, включает оценку следующих характеристик:

- установление типа природного ландшафта, на основе которого построена ТС (кластер производственный);
- определение состояния ландшафтов, степени деградации по зонам использования и отдельным его компонентам;
- установление допустимых нагрузок на ландшафт и его компоненты;
- идентификация характера возмущений на ландшафт;
- выяснение потенциальных возможностей ландшафтов противостоять антропогенным нагрузкам;
- определение экологических ситуаций и оценку степени их остроты;
- разработку рекомендаций и мероприятий по восстановлению утраченных функций ПТС при переходе в ПТК;

Экологический анализ и оценка состояния территории проводятся с целью:

- определения степени напряженности социально-медицинской ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами различного происхождения на ПТК;
- для экологической паспортизации территории в системе социально-экологического страхования и внедрения ESG-рейтингов в практику развития регионов;
- организации рационального использования ресурсов (воспроизводимых, невозпроизводимых и вторичных) и регламентации производственной деятельности в регионе;
- определения необходимости и разработки комплекса природоохранных мер.

В практике проведения таких исследований используется несколько подходов: 1) оценка состояния окружающей среды по отдельным приоритетным факторам с дальнейшей интеграцией показателей; 2) использование комплексных показателей, характеризующих состояние реципиентов, воспринимающих негативное воздействие факторов окружающей среды; 3) определение и ранжирование территорий с сопоставлением ресурсных потенциалов территории с антропогенным давлением.

Наиболее распространен вариант экологической оценки ПТК через учет воздействия на территорию по показателям качества основных природных сред (почвы, воды, атмосферного воздуха). Система определения напряженности медико-экологической ситуации ПТК включает оценку качества среды обитания по показателям эколого-гигиенического состояния окружающей среды (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Показатели санитарно-экологического состояния объектов окружающей среды в этом варианте оценки приводятся к единой шкале, отражающей возможную степень изменения качества среды обитания. Переход на безразмерную шкалу оценок может быть произведен как с учетом гигиенических стандартов, так с помощью *обобщенных показателей качества* объектов среды обитания (базового показателя антропогенной нагрузки ПАН<sup>6</sup> на водные экосистемы, индекса загрязнения воды водоемов ИЗВ, индекса загрязнения атмосферы ИЗА, показателей суммарного загрязнения атмосферного воздуха Р, суммарного показателя загрязнения почв Zс, показателя химического загрязнения воды поверхностных водоемов ПХЗ и др.).

Санитарно-экологическую ситуацию на любой территории (ПС и ПТК) по показателям загрязнения основных природных сред можно отнести к соответствующей из 5 категорий: удовлетворительная; относительно напряженная; существенно напряженная; критическая; условно катастрофическая.

В главе 3 рассматривались вопросы ранжирования территории преобразованного ландшафта по характеру использования и выделялись отдельные участки в ПТС и зоны, пригодные для лесного хозяйства, для сельскохозяйственной деятельности, селитебные и промышленные зоны, зоны дорог, рекреационные зоны и водные экосистемы.

Экологическое состояние *зоны лесного хозяйства* может быть оценено по характеру фитоценоза. Из них наиболее информативными о влиянии негативного воздействия и реакции лесной экосистемы являются параметры древостоя (плотность, сомкнутость полога, запас, санитарное состояние, видовой состав и т. п.); возобновляемость пород-лесообразователей (количество и качество подроста), надпочвенный покров (видовой состав, биомасса и т. п.). На основе современного мониторинга наиболее легко поддаются учету количественные показатели первой группы. Среди них принято выделять:

- видовой состав фитоценоза (число видов из 0.25 га для древесных сообществ);
- сомкнутость эдификаторного яруса (в %);
- возрастной состав ценопопуляций доминирующих видов деревьев (в % от участия конкретного вида каждой возрастной группы).

Внимание к этой группе при оценке ПТС сопряжено с тем, что древостой наиболее чувствителен к антропогенной нагрузке, от его состояния зависит циркуляция основных компонентов полианитов в экосистеме. С принятием климатической доктрины РФ в ноябре 2023 года это внимание еще более усиливается и подлежит контролю.

Существенное значение приобретает информация о влиянии качества атмосферного воздуха на экологические нормативы по охране лесных экосистем в соответствии с ГОСТ Р 56166-2019.

Показатель *возобновляемости* является менее информативным с точки зрения влияния токсикантов, точнее, это влияет опосредованно (через

изменение ценотической среды). Из-за этого реакция подростка на загрязнение запаздывает.

Наиболее чувствителен по отношению к антропогенной нагрузке травянисто-кустарниковый слой. Именно на него следует обращать внимание при оценке состояния лесных экосистем различного уровня организации. При анализе определяют видовой состав кустарников и трав (структура видов на 100 м<sup>2</sup> – *индексы видового состава*).

Признаком нормального состояния *зон сельскохозяйственного использования* является ненарушенность почвенного покрова. При оценке почвенного покрова к нагрузке и устойчивости выделяют тем свойствам конкретных ландшафтов, которые более чувствительны к воздействию антропогенных фактов. Совокупность характеристик, отражающих эти свойства, условно можно разделить на следующие группы:

*Показатели химического загрязнения почв;*

*Показатели физического состояния почв* (влажность, плотность, гранулометрический состав и т. д.);

*Показатели живой части почвы и биологического состояния* (дыхание, видовой состав, скорость разложения целлюлозы и т. д.);

*Показатели эрозионного воздействия на почву* (относительная мощность гумусового горизонта, наличие погребенных горизонтов).

Наиболее часто используемый и достаточно информативный перечень показателей для оценки экологического состояния различных почв в зонах преобразованного ландшафта:

- уровень ЕКО-емкость катионного обмена (в слое 0–20 см, мг-экв /100 г почвы);
- величина ОВП – окислительно-восстановительного потенциала на глубине 10 см;
- рН на глубине 10 см;
- водопроницаемость гумусового слоя почвы (0–20 см, мм/мин);
- дыхание почвы – интенсивность выделения углекислоты (СО<sub>2</sub>/га);
- характеристика видового состава фитоценоза;
- концентрации химических веществ и соединений в почве и их обобщенная характеристика.

К факторам, которые определяют окислительно-восстановительные процессы, следует отнести: кислородный баланс почвенного воздуха; наличие и изменение окисных и закисных соединений (Fe, Al, Mn – см. главу 1.3.1); органическое вещество, окисляющая и восстанавливающая деятельность микроорганизмов. ОВП определяется потенциометрически. Диапазон изменения ОВП для почв – от 100 до 800 мВ.

В верхней зоне аэрации показатели ОВП выше, чем в нижнем горизонте. В различных почвах ОВП варьируется (мВ): в подзолах 550–750, в черноземах 400–600, в сероземах 350–450.

В болотных экосистемах зависимость обратная. Оптимальные условия для нормального развития растительности 200–750 мВ.

Водопроницаемость – достаточно чуткий индикатор многих видов антропогенного воздействия, особенно механического характера, что приводит к уплотнению почвы. Фоновый уровень водопроницаемости определяется типом почвы и режимом ее использования: у черноземов обыкновенных, находящихся под лесом – 8,0 мм/мин, у пахотных – около 2,0 мм/мин, у подзолистых почв под лесом – 1,8 мм/мин, а у пахотных подзолистых почв – около 0,6 мм/мин.

Снижение содержания гумуса в почве (ее дегумификация) является следствием значительной антропогенной нагрузки (уничтожение растительности, снятие верхнего слоя почвы, неправильная технология обработки и т. п.). «Дыхание» почвы выражает уровень биологической активности системы и определяется интенсивностью выделения углекислоты почвой. Отклонение от его фонового уровня свидетельствует о нарушении почвенной поверхности и устойчивого ее состояния. Фоновые показатели содержания гумуса в верхнем слое различных типов почв и их дыхания приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Фоновые показатели содержания гумуса и интенсивность выделения углекислоты в различных типах почвы

Тип почвы	Содержание гумуса и гумусовых горизонтах, %	Дыхание почв, кг/га×ч
Луговые черноземы, лугово-болотные	10	10
Черноземы обыкновенные	6-10	10
Серые лесные, темно-каштановые	4-6	7-10
Дерново-подзолистые, сероземы	2-4	5-7
Подзолистые, бурые	2	2-5

При определении фитоценоза для определения экологического состояния отдельных зон экосистем (прежде всего сельскохозяйственной, лесной, белигеративной) встречаются трудности в связи со значительной реакцией растительного покрова на разные виды антропогенного воздействия и первичной идентификацией фитоценоза.

По мнению большинства специалистов, для этой цели могут подойти характеристики видового состава фитоценоза, в частности, коэффициенты Жаккера и Сьеренеена, количественные оценки, которые несложно определить на практике на основании следующих выражений:

$$K_{ж} = [C / (a+b-C)] \times 100 \% ; \quad (5.22)$$

$$K_{с} = [2C / (a+b)] \times 100 \% , \quad (5.23)$$

где С – общее число видов в фоновом и исследованном ценозе; а – число видов в фоновом фитоценозе; в – число видов и исследованном фитоценозе.

Уменьшение этих показателей ( $K < 100\%$ ) свидетельствует о нарушениях в исследуемой экосистеме.

Биохимические критерии глубины экологических нарушений территории можно оценить по показателям, приведенным в таблице 5.2.

Экологическое качество территории и её компонентов может быть оценено по уровню превышения концентраций загрязнителей относительно ПДК или их фонового содержания в почве. Отношение менее 1 характеризует

нормальное состояние почв, 1,0–3,0 – почвы попадают в категорию риска, 3,0–10,0 – кризисное состояние, свыше 10,0 – бедствие.

Динамические критерии обычно предполагается применять при определении уровня состояния на территории с повышенным фоновым уровнем «неблагополучности» при комплексном влиянии на смежные компоненты ОС. Их примерами являются приросты негативных изменений некоторых показателей состояния (нарушенных площадей, нижних горизонтов и т. д.).

Таблица 5.2 – Обобщенные показатели веществ, характеризующие биохимические изменения в фитоценозе

Показатели	Степень нарушения			
	норма	умеренное	среднее	сильное
Соотношение C:N в растениях	8-12	6-8	4-6	<4
Содержание P, Cd, Hg, Ni, Cr, As, Sb (по отношению к максимально допустимому уровню)	1,1-1,5	2-4	5-10	>10
Содержание Tl, Se (по превышению фона)	<1,5	2-4	5-10	>10
Содержание Al, Sn, Bi, Te, W, Mn, Ca, Ce, In, Rb (по превышению фона)	<1,5	1,5-2,0	2,0-10	10-50
Содержание в растениях, мг/кг:				
Cu	10-30	30-70	70—100	>100
Zn	10-30	30-60	60-100	100-500
Fe	20-50	50-100	100-200	200-500
Mo	2 - 3	3-10	10-50	>50
Co	0,1-0,3	0,3-1,0	1-5	5-50

В качестве примера приведены динамические критерии нарушения земельных зон (как зон экологического состояния экосистемы – см. раздел 3.2) и наиболее уязвимых, влияющих на большинство компонентов окружающей среды и, к сожалению, не так часто контролируемых (табл. 5.3) по индивидуальным показателям.

Таблица 5.3 – Динамические критерии нарушения земельных зон, %

Показатели (средние значения за 5-8 лет наблюдений)	Н	Р	К	Б
Увеличение площади нарушенных экосистем	менее 1,0	1-2	2-4	более 4
Уменьшение годичной растительной продукции	менее 1,0	1-3,5	3,5-7,5	более 7,5
Увеличение площади сбитых пастбищ	менее 2,0	3-5	5-8	более 8,0
Увеличение площади эродированных земель	менее 0,5	0,5-2	2-5	более 5,0
Увеличение площади засоленных почв	менее 1,0	1-2	2-5	более 5,0

**Показатели качества почв** для оценки динамики изменения устанавливаются с помощью методов, регламентированных в ГОСТ Р 70229-2022. Эти исследования применяют при проведении мониторинга плодородия и государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. Основными критериями оценки качества являются бонитет почв и показатель нормативной урожайности зерновых культур.

При деградации почвенного покрова и использовании земель под антропогенной нагрузкой используется метод, рекомендованный в ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Настоящий стандарт устанавливает метод определения влияния почвы и околопочвенных материалов на всхожесть семян и ранние этапы роста высших растений. Конечные результаты являются показателями, которые позволяют оценить качество почвы как ареала обитания организмов. Настоящий стандарт применим ко всем почвам, в которых почвенные организмы активны и используются для оценки следующих факторов:

- характера воздействия почвы на растения в силу токсичности твердых или жидких химикатов, загрязняющих почву или иные материалы (компост, ил, отходы), а также химикатов, добавленных в почву;

- изменений в характере воздействия почвы на растения после проведения мероприятий по восстановлению почвы.

**Суммарный показатель загрязнения почвы ( $Z_c$ )** используется в системе гигиенической оценки **почв населенных пунктов**, принятой на практике, обоснованный НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМИ и включенный в действующий ГОСТ 17.4.3.06-2020. В зависимости от величины указанного показателя различают **четыре категории** загрязнения почв с аналогичными названиями, но критерием оценки служит изменение уровня заболеваемости детей в зависимости от суммарного показателя.

Оценка уровня загрязнения почв населенных пунктов проводится по двум показателям: коэффициенту концентрации отдельного вещества  $K_c$  и суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  при наличии в почве нескольких загрязняющих компонентов.

Коэффициент концентрации загрязняющих веществ определяется соотношением:

$$K_z = C_i / C_{\phi i}, \quad (5.24)$$

где  $C_i$  и  $C_{\phi i}$  – фактическая в данной точке и фоновая для типа почв концентрация (мг/кг)  $i$ -го загрязняющего вещества соответственно.

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций загрязняющих почву химических элементов:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_i - (n-1), \quad (5.25)$$

где  $n$  – число учтенных в данной точке веществ.

Оценка опасности загрязнения почв по найденному суммарному показателю  $Z_c$  проводится с помощью таблицы 5.4.

Таблица 5.4 – Ориентировочная оценочная шкала категории загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ ) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.06-2020

Категории загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

**Экологическое состояние водных экосистем** определяет значительное число показателей, отражающие физические параметры, биологический и химический состав и ряд других свойств. Различные состояния водных объектов рассматриваются в пособии А. Б. Дягилевой по курсу «Современные проблемы окружающей среды».

Виды антропогенной нагрузки на водные экосистемы можно разделить на три группы: изъятия водных и биологических ресурсов, загрязнение вод различными веществами и изменение режима функционирования водных и прибрежных экосистем.

Признаки, характеризующие устойчивость водных экосистем, как вида ландшафта (см. главу 1.4), к антропогенной нагрузке, подразделяют на три группы: физико-географическое положение и климатические особенности; гидрологические параметры, морфология объекта.

Реакции водных экосистем на эти нагрузки подразделяются на **первичные** и **вторичные**.

Первичная реакция характеризуется следующими изменениями:

- площадь акватории, глубины и т. п.;
- скоростей течения, водообмена, температурного режима и т. д.;
- биотопического разнообразия, запасов ценных и редких видов гидробионтов;
- концентрации органических и минеральных взвесей и веществ.

Вторичная реакция проявляется в следующих изменениях состояния водного объекта:

- содержания кислорода, содержание органики (ХПК, БПК) свободной углекислоты;

- биомасса и численность доминирующих видов, концентрация гидрокарбонатов, наличие инвазий;
- концентрация химических веществ и соединений в водном слое и донных отложениях.

Для оценки состояния водных объектов с экологических позиций используется вариант выполнения работ, предусмотренных в ГОСТ Р 70279-22. Сегодня это обязательный этап экспертных работ, связанных с использованием в хозяйственной деятельности ресурсов водотоков и водоемов при обосновании условий водопользования, необходимости реабилитационных работ, целесообразности водоохраных мероприятий.

Целью настоящего стандарта является разработка с экологических позиций системы оценки качества (класса качества) поверхностных проточных вод и исследования динамики их состояния для водотоков и водоемов.

**Базовый показатель антропогенной нагрузки ПАН<sup>б</sup>** – комплексный удельный показатель, характеризующий суммарную кратность разбавлений загрязненных (сточных) вод, условно необходимую для снижения концентраций базовых аналитов-маркеров негативных воздействий до их безвредного содержания.

В перечень базовых аналитов-маркеров включает: рН, сухой остаток, взвешенные вещества, азот аммония, азот нитритов, азот нитратов, фосфор общий или фосфор фосфатов, железо общее, марганец общий, химическое потребление кислорода (ХПК), БПК<sub>5</sub>.

Расчет **ПАН<sup>б</sup>** в соответствии с ГОСТ Р 57075 по данным мониторинга или испытаний проб воды выполняется в Excel или с помощью другого программного обеспечения с аналогичными функциями.

Оценка классов качества поверхностных водных объектов с экологических позиций производится в соответствии с данными (ГОСТ Р 58556–2019), приведенными в таблице 5.5.

В практике оценочных показателей качества поверхностных вод с экологических позиций используют информацию из документа, сформированного Советом Экономической Взаимопомощи (Единые критерии качества вод. СЭВ. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран – членов СЭВ, 1982 г.) в части *критериев снижения интенсивности биохимической трансформации*. Эти материалы представлены в таблице 5.6. Они использовались при обосновании нагрузки на водные объекты в сочетании с нормами водопотребления и водоотведения объектов хозяйственной деятельности.

Сегодня эти нормы включены в информационные технологические справочники по отраслям, где приводятся НДТ.

Метод оценки качества воды при определенном типе негативного воздействия и расчетные формулы для ПАН<sub>і</sub> показателей, приведенных в приложении В (ГОСТ Р 58556—2019) по базовым показателям антропогенной нагрузки. Для выполнения самостоятельной работы по курсу необходимо воспользоваться этими материалами в качестве примера.

Общий показатель антропогенной нагрузки ПАН<sup>б</sup> вод по установленным базовым типам воздействий определяют суммированием ПАН<sub>i</sub>

$$\text{ПАН}^{\text{б}} = \sum_{i=1}^n \text{ПАН}_i, \quad (5.26)$$

где ПАН<sub>i</sub> – ПАН i-го типа воздействия; n – количество учитываемых типов воздействия.

Таблица 5.5 – Шкала значений для базового показателя антропогенной нагрузки природных вод по классам качества

Оценочный показатель	Класс качества воды водных объектов с экологических позиций				
	I	II	III	IV	V
Состояние кризисности экосистемы	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная
	Состояние обратимых изменений		Пороговое уязвимое состояние	Состояние обратимых и необратимых изменений	
ПАН <sup>б</sup> по базовым показателям, усл. м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	<4,2	4,2-10,8	10,9 - 24	24,1 - 70	70,1 - 135
Снижение интенсивности биохимической трансформации**	0	0	<10%	<30%	>70%

Таблица 5.6 – Нормативы качества поверхностных вод с экологических позиций

Показатели	Класс качества вод				
	I	II	III	IV	V
Значение pH	6.5-8.0	6.5-8.0	6.5-8.5	6.0-8.5	6.0-9.0
Минерализация (сухой остаток) мг/дм <sup>3</sup>	<500	500	800	1000	1200
Взвешенные вещества природного происхождения	<20	20-30	31-50	51-100	101-200
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	<0.5	0.5-1	0.5-1	0.5-5	5.1-10
Марганец мг/дм <sup>3</sup>	<0.05	0.05-0.1	0.2-0.3	0.4-0.8	0.9-1.0
Аммоний мг/дм <sup>3</sup>	<0.1	0.1-0.2	0.3-0.5	0.6-2.0	3.0-6.0
Нитриты (N) мг/дм <sup>3</sup>	<0.002	0.002-0.005	0.005-0.02	0.03-0.05	0.05-0.1
Нитраты (N) мг/дм <sup>3</sup>	<1	1-3	4-5	6-10	11-20
Фосфаты мг/дм <sup>3</sup>	<0.025	0.025-0.2	0.3—0.5	0.6-1.0	1.1-2.0
Общий фосфор мг/дм <sup>3</sup>	<0.05	0.05-0.4	0.5-1.0	1.1-2.0	2.1-3.0
Химическое потребление кислорода (ХПК) мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<15	15-25	26--60	61--70	71-100
Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> ) мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<2	2-4	5-6	9-15	16-5=25
Органический углерод мг /дм <sup>3</sup>	<3	3-6	6-8	9-12	13-20
Азот общий мг /дм <sup>3</sup>	<1.5	1.5-4.0	4.0-7.5	7.6-17	17.1-34
Примечание: При значении параметра выше значения, указанного для V класса качество воды характеризуется как «хуже V класса качество воды»					

**Интегральный показатель антропогенной нагрузки** на водные объекты (ПАН<sub>i</sub>, усл. м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) рассчитывают по формуле:

$$\text{ПАН}_i = (C_i / \text{ЦП}_i^{\text{э-ндт}}) - 1, \quad (5.27)$$

где ЦП<sub>i</sub><sup>э-ндт</sup> – виртуальное целевое значение концентрации показателя (аналита-маркера) по i-му типу воздействия, мг/усл.дм<sup>3</sup>, достижимое при использовании НДТ и удовлетворяющее условиям предотвращения деградации качества воды поверхностного водного объекта в соответствии с требованиями (ГОСТ Р 58556—2019 – см. таблица В.1 приложения В стандарта);

C<sub>i</sub> – концентрация аналита-маркера в сточных или загрязненных природных водах, отражающего определенный тип негативного воздействия, мг/дм<sup>3</sup>.

Оценка экологического качества подземных вод обычно осуществляется по соотношению фактической концентрации веществ в воде, соответствующих ПДК. На этой основе C<sub>i</sub>/ПДК<sub>i</sub> < 1, или соответствующим значением индекса рассчитанной по всей совокупности загрязнителей, по площади распространения загрязненного участка к общей площади территории. Состояние риска определяют концентрации загрязнителей – 3–5 ПДК, кризисное состояние – 5–10 ПДК и бедственное состояние – концентрации свыше 10 ПДК.

**Экологические нормативы качества атмосферного воздуха в части сохранения лесных экосистем** – это критерий качества атмосферного воздуха, который отражает предельно допустимое содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, при котором отсутствует вредное воздействие на лесные экосистемы (ГОСТ Р 56166-2019).

При установлении экологических нормативов качества атмосферного воздуха природно-антропогенных объектов учитывают природные особенности лесных экосистем, природных объектов и ПТК, а также природных ландшафтов.

Определение ПДК для растений рекомендуется проводить в факторостатных (контролируемых) условиях при оптимальных для фотосинтеза температуре окружающей среды, освещенности, относительной влажности воздуха и минеральном питании растений.

В полевых условиях определение значений экологических нормативов качества атмосферного воздуха для экосистем позволяет максимально учитывать региональные особенности климатических и метеорологических условий, характера загрязнения промышленными выбросами в условиях местопроизрастания насаждений.

В качестве показателей реакции на воздействие используют интенсивность фотосинтеза ассимиляционного аппарата, активность пероксидазы в листьях (хвое), проницаемость клеточных мембран листьев (хвои) и другие физиолого-биохимические показатели, рекомендуемые для применения при определении значений экологических нормативов качества атмосферного воздуха в факторостатных условиях.

Для установления **значительного загрязнения атмосферного воздуха** в урбанизированных территориях (городских агломерациях), которые

дополнительно включаются в эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух используется методика, отраженная в Приказе № 106 2022.

Определение загрязнения атмосферного воздуха на урбанизированных территориях производится на основании данных государственного мониторинга атмосферного воздуха. В целях определения *высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха* используются данные измерений концентраций *не менее пяти* загрязняющих веществ при количестве наблюдений не менее 500 за каждым загрязняющим веществом за календарный год на каждом пункте наблюдений при дискретном отборе проб и не менее 20000 при непрерывных методах измерений.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха проводится расчет трех взаимозавязанных показателей состояния атмосферного воздуха:

- **стандартный индекс (СИ)** – наибольшая измеренная по данным всех пунктов наблюдений максимальная разовая концентрация ЗВ в долях ПДК;
- **наибольшая повторяемость (НП)** – наибольшее значение повторяемости превышений ПДК максимальными разовыми концентрациями индивидуального загрязняющего вещества по данным всех пунктов наблюдения на определенной территории, %;
- **индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА)** – сумма среднегодовых значений концентраций (в долях ПДК, с соотношением класса опасности каждого загрязняющего вещества с классом опасности диоксида серы) пяти загрязняющих веществ, которые вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха городских агломераций.

Расчет стандартного индекса *i*-го загрязняющего вещества (**СИ<sub>i</sub>**) (пункт 12) по формуле:

$$СИ_i = q_{mi}/ПДК_i \quad , \quad (5.28)$$

где  $q_{mi}$  – максимальная концентрация *i*-го загрязняющего вещества,  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация *i*-го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе.

Если значение показателя СИ > 10, то кроме показателя НП определяется количество дней с показателем СИ<sub>i</sub> > 10.

**Наибольшая повторяемость (g<sub>i</sub>, %)** определяется формуле:

$$g_i = (m/n) 100, \quad (5.29)$$

который учитывает *парциальные индексы загрязнения (I<sub>i</sub>)*,

где n – количество наблюдений за рассматриваемый период;

m – количество превышений разовыми концентрациями каждого загрязняющего вещества 1 ПДК<sub>м.р.</sub> на каждом пункте наблюдений на контролируемой территории.

Если значения повторяемости превышений ПДК, рассчитанные для различных загрязняющих веществ, равны, то показатель НП определяется по загрязняющему веществу, для которого зафиксировано наибольшее количество дней за календарный год, когда значение показателя СИ было более 10.

**Комплексный индекс загрязнения атмосферного воздуха** по урбанизированной территории определяется с использованием всей информации о загрязнении атмосферного воздуха, количества  $n$  загрязняющих веществ, который рассчитывается по формуле:

$$(In) = \sum_{i=1}^n (I_i) = \sum_{i=1}^n \frac{(q_{срi})}{ПДКi)^{C_i}}, \quad (5.30)$$

где  $q_{срi}$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества по данным всех пунктов наблюдений в городе;

$ПДКi$  – предельно допустимая среднесуточная или среднегодовая (при наличии) концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе;  $C_i$  – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень опасности  $i$ -ого загрязняющего вещества к степени опасности диоксида серы. Значения  $C_i$  равны 1,5; 1,3; 1,0 и 0,85 соответственно для 1, 2, 3 и 4 классов опасности загрязняющих веществ;

$I_i$  – парциальный индекс, выраженный отношением среднегодовой концентрации  $i$ -ого загрязняющего вещества к среднесуточной предельно допустимой концентрации ( $ПДКс.с.i$ ) или среднегодовой предельно допустимой концентрации ( $ПДКс.г.i$ ) при наличии для данного загрязняющего вещества среднегодовой предельно допустимой концентрации, приведенный к степени опасности диоксида серы.

Для обеспечения сравнения значений  $In$  для разных урбанизированных территорий, где программы наблюдений различаются по количеству и перечням загрязняющих веществ, парциальные индексы рассчитываются для одинакового количества загрязняющих веществ, вносящих значимый вклад в загрязнение атмосферного воздуха.

Для этого по значениям парциальных индексов  $In$  для отдельных загрязняющих веществ вначале составляется убывающий вариационный ряд, в котором  $I_1 > I_2 > \dots > I_n$ . Далее по формуле 5.26 рассчитывается для заданного и одинакового количества загрязняющих веществ.

Показатель ИЗА рассчитывается как сумма пяти наибольших парциальных индексов, являющихся суммой среднегодовых значений концентраций (в долях ПДК, с соотношением класса опасности каждого загрязняющего вещества с классом опасности диоксида серы) пяти загрязняющих веществ, которые доминируют в загрязнении атмосферы. Показатель ИЗА округляется до целых чисел.

Значение показателей состояния воздуха урбанизированной территории для *высокой степени загрязнения* ИЗА, СИ и НП находятся следующих диапазонах: ИЗА – от 7 до 13; СИ – от 5 до 10; НП – от 20 % до 50 %.

Загрязнение атмосферного воздуха определяется как *очень высокое* при выполнении следующих условий: ИЗА 14; СИ > 10; НП > 50 %, количество дней > 7 с показателем СИ $i$  > 10.

Если значения показателей ИЗА, СИ и НП попадают в разные диапазоны, то загрязнение атмосферы оценивается по показателю ИЗА.

В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения считается низким при ИЗА ниже 5, повышенным при ИЗА от 5 до 6, высоким при ИЗА от 7 до 13 и очень высоким при ИЗА от 14 и больше.

По критерию ИЗА можно выделить следующую градацию медико-экологической ситуации в любом регионе или населенном пункте:

- удовлетворительная при ИЗА < 5;
- относительно напряженная при 6-15;
- существенно напряженная при 16-50;
- критическая при 51-100;
- условно катастрофическая >100.

Рассмотренный перечень показателей качества ОС не является законченным и по мере проведения исследований и накопления информации антропогенное воздействие может существенно измениться и расшириться.

На основании множества приведенных показателей качества экологического состояния преобразованных зон ландшафта, входящего в ПТК, может быть определена обобщенная экологическая характеристика ее состояния. Для этих целей можно использовать *обобщенный индекс качества*, количественное значение которого определяется путем расчета:

$$I_k = \frac{\sum_i \sum_j S_j^i \frac{P_{ij}}{P_{i\phi}(\text{ПДК}_{ij})}}{S}, \quad (5.31)$$

где  $S_j^i$  – площадь территории  $i$ -й зоны с  $j$ -м нарушением;  $S$  – общая площадь территории;  $P_j^i$  – текущий уровень  $j$ -й учитываемой характеристики нарушения экологической ситуации в  $i$ -й зоне;  $P_{i\phi}$  – фоновый уровень нарушения по  $j$ -й характеристике в районе расположения территории;  $\text{ПДК}_{ij}$  – ПДК  $j$ -го загрязнения в  $i$ -й зоне.

В расчетах индекса химических соединений и параметров оценки качественных характеристик рекомендуется использовать максимальные значения  $P_{ij}$  и  $\text{ПДК}_{ij}$  и использовать отношение  $P_{ij}/P_{i\phi}$  или  $P_{ij}/\text{ПДК}_{ij}$ .

В случае, если индекс экологического нарушения территории равен 1, при условии  $P_{ij} = P_{i\phi}$ , а суммарная площадь по элементам иерархии соответствует общей площади территории.

В расчете индекса экологического качества территории используются весовые коэффициенты, отражающие значимость определенной природной среды в каждой зоне по наиболее значимому антропогенному давлению, с учетом соподчиненности процессов на состояние ПТС. С учетом этого, формула 5.27 для расчета индекса качества территории трансформируется в следующий вид:

$$I_k = \frac{\sum_i \sum_j \beta_j^i \frac{P_{ij}}{P_{i\phi}(\text{ПДК}_{ij})}}{S}, \quad (5.32)$$

где  $\beta_j^i$  – весовой коэффициент, отражающий значимость качества  $i$ -й зоны при  $j$ -м загрязнении.

Предложенные варианты оценки территории по индексу качества (5.31), (5.32) при оценке степени ухудшения экологической ситуации на территории

учитывают как площадь нарушения ее по зонам преобразованности, так площади нарушений по ее зонам, так и силу нарушений.

Если выражение (5.27) представить в развернутом виде с введением составляющих индекса экологического качества:

$$I_k = \frac{S_1 \sum_j \frac{P_1}{P_{ij\phi}} + \dots + S_r \sum_j \frac{P_r}{P_{ij\phi}}}{S}, \quad (5.33)$$

Каждое слагаемое  $\sum_j \frac{S_i^j \cdot P_i^j}{S \cdot P_{ij\phi}}$  характеризует вклад нарушений в *i*-й зоне в общее ухудшение экологической обстановки территории и является частным индексом качества  $I_{ki}$ .

Для всей территории *общий индекс экологического качества* определяется как средневзвешенный показатель по площадям разных зон их частных индексов:

$$I_{ik} = \sum_j S_i I_{ik} / S, \quad (5.34)$$

Значение  $S_i^j$  вычисляется как сумма площадей с нарушениями по всем воздействиям, за вычетом пересечений, т. е. зон, на которых имеется два или более нарушений. Это используется при создании кластеров с пересекающимися СЗЗ, но это не значит, что влияние на устойчивость ПТС не выйдет по ряду показателей за пределы рассматриваемых территорий, например, по изменению качества дренажных вод, где шлейф изменений может быть протяженным и неоднозначным.

Следует отметить, что выражение (5.27) является предпочтительным для оценки экологического состояния ПТК, так как учитывается степень нарушенности каждой из ее зон.

Использование в оценочных подходах одновременно нескольких видов устойчивости элементов ПТС и фиксирование изменения параметров естественного и антропогенного режимов – необходимое условие оценки устойчивости ПТС. Такая оценка позволяет делать выводы о соотношении природных и антропогенных составляющих в интегральной оценке или, изменяя одну из них, выявлять, способна ли система сохранять тот класс (продуктивности, качества, устойчивости, благополучия), который имела до воздействия. Это необходимое условие, достаточно трудоемкое с точки зрения сбора достоверной информации.

В практику управленческих механизмов на различных уровнях хозяйственной деятельности (определение рейтингов проектов развития территории, научно-исследовательских проектов и работ, поддерживаемых фондами) прочно вошла система балльной оценки. Она и дальше будет продвигаться, о чем говорилось в гл. 4. Поэтому целесообразно в системе управления ПТС познакомиться с механизмом формирования балльного оценочного подхода блока оценок ESG подхода к устойчивому развитию.

## 5.2. Оценка устойчивости территории к антропогенной нагрузке на основе балльных критериев устойчивости

Практика экологического управления ПТК ориентирована на получение количественной оценки воздействия на ОС отдельных компонентов иерархической ее системы в их конкретное участие в устойчивости экосистем, сопряженных с определенными ландшафтами.

В системе оценки различных видов деятельности преобладают балльные и балльно-индексные подходы и методы оценивания устойчивого состояния отдельных систем с последующим суммированием эффектов. Как отмечалось в главе 3, устойчивость является интегративным свойством ПТС в целом, ее нельзя измерить напрямую. Поэтому оценка по косвенным показателям на основе балльного подхода доминирует при принятии решений. Целесообразно ПТС разложить по иерархическим признакам и взаимодействию с ландшафтом и определять ее устойчивость к каждому конкретному возмущающему фактору.

Механизм оценки устойчивости ПТС будет зависеть от механизма ее организации (динамика геноза глава 1.5), что должно быть отражено в системе оценочных шкал. В этом случае важную роль играет системообразующий тип анализируемой ПТС и генетические особенности развития территории в зоне ее влияния. Тип системообразующего элемента ПТС, например, по специфике жизненного цикла: 1 – циклический, 2 – транзитный, 3 – каскадный.

Для сложных технических систем достаточно медленно развивается индексология устойчивости. В литературе сегодня редко встречаются индексы устойчивости, для которых разработаны полноценные оценочные шкалы. Имеющиеся наработки в этой сфере подменяют балльное оценивание балльными шкалами, что снижает их ценность с экологической точки зрения.

Анализируя выше рассмотренный перечень показателей качества ОС для ПТС, который не является исчерпывающим и может быть расширен в зависимости от особенности функционирования ПТС, приведем возможный алгоритм оценки устойчивости выбранной территории, предварительно ранжированной по характеру использования. Каждая зона и объект хозяйственной деятельности имеет декларированный перечень нагрузки на ОС, который формирует общую картину устойчивости ПТС. Уровень каждого из них (см. таблицы раздела 5.1) оценивается баллами (преимущественно по 5-балльной шкале) от меньшего к большему, по аналогии с энергетической трилеммой. Это не всегда совпадает с базовыми показателями антропогенной нагрузки на отдельные компоненты природной среды, например, для природных вод по классам качества низкий балл 1 – чистая вода, а V – наоборот, грязная (таблица 5.5, составленная в соответствии с ГОСТ Р 58556—2019). Это обстоятельства должны быть учтены при интерпретации результатов.

В общем случае усредненная оценка устойчивости  $i$ -ой зоны территории может быть определена с учетом всех факторов в соответствии с выражением:

$$y^i = \frac{\sum_{r=1}^R d_r^i \times f_r^i}{\sum_{r=1}^R d_r^i}, \quad (5.35)$$

где  $y^i$  – усредненная оценка устойчивости  $i$ -й зоны;

$f_r^i$  – балльная оценка  $r$ -го фактора устойчивости в  $i$ -зоне, отождествляемого с этим влиянием, оцениваемого в баллах (например, по 5-балльной шкале);  $f_r^i = 1; 2; 3; 4; 5$ .

$d_r^i$  – «вес» или доля влияния  $r$ -го фактора, его значимости при определении устойчивости системы;

$$\sum_r d_r^i = 1 \quad d_r^i = 1 - \text{для всех } i.$$

В случае равнозначности факторов с позиции влияния их на устойчивость  $d_r^i = 1/R$ . Для более корректной оценки целесообразно по ряду факторов выстраивать модель их соподчинённости по аналогии дерева события – изменения состояния системы при работе на отказ.

В предлагаемом варианте расчетного значения  $y^i$  находится в пределах от 1 до 5. Зона с высоким уровнем устойчивости характеризуется значением  $4 < y \leq 5$ , к среднему уровню устойчивости можно отнести показатель в диапазоне значений  $2.5 < y^i \leq 4$ , низкий уровень устойчивости будет соответствовать значениям в диапазоне  $1 < y^i \leq 2.5$ .

Эти диапазоны, через весовые факторы по значимости на базе интегральных показателей качества (раздел 5.2), определяющие структурные единицы ПТС и их взаимосвязь с основными элементами ландшафта (лесные массивы, почвы, водные экосистемы, энергетическая, туристическая и другие виды нагрузок) должны определять границы риска, кризисные зоны и бедственное состояние для конкретной территории. Увеличение или изменение нагрузки возможно только при учете всех совокупных факторов.

Основной инструмент оценки устойчивости ПТС – правильное ранжирование территории и факторов влияния на функциональное поведение проектируемой или эксплуатируемой системы на выбранной территории. Для новых объектов выделяется ряд критериев, которые рассматривались в главе 4. Расчет для ранжирования может быть проведен с использованием стандартного программного обеспечения, и площадь в долевых частях преобразованного ландшафта может быть представлена в виде, например, круговой диаграммы (рис. 5.2) В ИДЗ по дисциплине необходимо привести описание территории по ГИС системе или кадастровой карте определенного региона. В качестве примера приведена круговая диаграмма (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Графическое представление ранжирования территории в виде круговой диаграммы преобразованности ландшафта

Например, ранг 2 – земли лесного хозяйства (рис. 5.2), которые составляют 15 % от общей площади ПТК, куда следует относить охотничьи угодья, рекреационные зоны, почвозащитные полосы и лес первой категории. Площадь территории i-й зоны с каждым нарушением и текущий уровень учитываемой характеристики нарушения экологической ситуации сводятся в таблицу 5.7 с примечаниями по объекту учета выбранной территории.

Для ориентировочных расчетов можно использовать ниже приведенный документ для оценки состояния территорий по выявлению зон экологического бедствия или чрезвычайных экологических ситуаций, возникших в результате антропогенного воздействия по критериям оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия (Критерии оценки, 1992).

Таблица 5.7 – Пример представления промежуточных таблиц для расчета

Показатель	норматив, фон	Текущий уровень нарушений	Площадь территории га	Примечание
Плотность основных пород деревьев, шт/га	2000-2200	1500	10	Требуется санитарная очистка массива. Переход на режим самовосстановления
Возрастной спектр ценопопуляции доминант, возобновление в относит. ед	40 лет/2000	15/800	23	Требуется приостановка хозяйственной деятельности по изъятию деловой древесины
Повреждение хвойных пород техногенными выбросами (повреждение хвои), %	1,5	12	3	Требуется снижение нагрузки по выбросам в атмосфере

При выполнении работы требуется сравнение ряда критериев, приведенных в Методике, с актуальными требованиями, приведенными выше в

разделах 4 и 5 по экосистемным показателям качества. Функции территории анализируются на основе возможных отклонений от состояния устойчивости, например, лесных экосистем, и наиболее значимые сводятся в таблицу. Материалы для расчета и анализа необходимо сравнить с данными табл. 3.5.1.1 «Критерии».

Для балльной оценки при проектной и финансовой деятельности экологическая составляющая этих оценок остается достаточно условной. Внимательно необходимо подходить к значимым величинам КИЗа, ПАН<sup>б</sup> и др., которые имеют иную градацию медико-экологической ситуации территории, чем расчетный балл, и входят в обязательный том при обосновании технических решений в составе ОВОС и расчета нагрузок на ОС.

Для проектирования и строительства крупных объектов выделяются основные аспекты, вызывающие антропогенные нагрузки и реакции на изменение ландшафта и ПТС в целом, и их переводят в балльное выражение.

Направления деятельности и учет в расчетных схемах используют по перечню показателей, которые должны составлять базу для получения комплексной оценки внутренних факторов развития, включающей оценку возможностей социально-экономического развития территорий, в том числе совокупного потенциала социально-экономического развития. Рекомендации и требования отражены в методических рекомендациях по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации (Приказ № 132 от 23.03.2017).

С принципами формирования развития регионов и их пространственного устройства можно ознакомиться к обсуждению на семинаре.

В приложении 1 отражен перечень показателей, рекомендуемых для включения в разделы стратегии социально-экономического развития территорий, которые целесообразно учитывать при оценке устойчивости территорий в дополнительной нагрузке и отработке мероприятий по защите окружающей среды.

По направлению «Рациональное природопользование и охрана окружающей среды» обязательно включается следующая информация:

- об охране атмосферного воздуха;
- об особо охраняемых природных территориях;
- текущие затраты на охрану окружающей среды;
- индекс физического объема природоохранных расходов;
- о выполнении водохозяйственных и водоохранных работ на водных объектах;
- информация о воспроизводстве лесов (лесистость территории), %.

По направлению «Пространственное развитие муниципальных образований» должны быть учтены следующие показатели:

- земельная площадь по видам угодий; распределение числа предприятий по видам экономической деятельности;
- плотность населения;

- число муниципальных образований;
- удельный вес городского и сельского населения в общей численности населения, %;
- коэффициент демографической нагрузки;
- коэффициент миграционного прироста;
- плотность автодорог общего пользования с твердым покрытием (км путей на 1000 км<sup>2</sup> территории);
- региональные и межрегиональные перевозки грузов и пассажиров внутренним водным транспортом;
- передача электроэнергии потребителям распределительными сетевыми организациями;
- баланс производства и потребления электроэнергии;
- объем услуг связи, оказанных населению, на 1 жителя (рублей);
- коэффициент транспортной доступности населенных пунктов (города более 10 тыс. человек населения), %.

К этим показателям необходимо подходить на основе специфики развития конкретного ландшафта и взаимосвязанной ПТС по приоритетным направлениям хозяйственной деятельности. Основные экосистемные показатели ПТС, которые целесообразно учитывать, и расчетные зависимости приведены выше. К ним целесообразно отнести прежде всего те, которые входят в разделы проектной документации на проведение ОВОС по конкретным видам деятельности и методические указания.

Основные расчетные величины по совокупности показателей качества системы можно представить в виде профиля устойчивости ПТС (рис. 5.2). В качестве примера приведен профиль устойчивости одного из объектов ПТК Северо-Западного региона.

Инструмент оценки для экспертов может быть выражен по пятибалльной системе не только в диапазонах показателей  $u_i$ , но и по позициям от 5 до 1 (что используется для экономического продвижения проектной деятельности).

<b>Нет претензий</b> 5	<b>Незначительные претензии</b> 4	<b>Базовый уровень: нет существенных недостатков</b> 3	<b>Недостатки</b> 2	<b>Значительные недостатки</b> 1
---------------------------	--------------------------------------	---	------------------------	-------------------------------------

Экологическая оценка по Критериям систем в связи с создавшейся экологической обстановкой в стране имеет отчет от состояния «относительно удовлетворительная». Она также классифицируется по пяти позициям систем в соответствии с Критериями (1992).

<b>1</b> Относительно удовлетворительная	<b>2</b> Напряженная	<b>3</b> Критическая	<b>4</b> Кризисная (зона ЧЭС)	<b>5</b> Катастрофическая зона бедствия
---	-------------------------	-------------------------	----------------------------------	--

Для отдельных анализируемых территорий выстраивается профиль устойчивости (значения в приводятся к балльному варианту) для обоснования приоритетных показателей и далее оценивается общее состояние устойчивости по общему профилю устойчивости территории в целом.

В представленном примере диаграммы устойчивости ПТС имеют место примерно 45 % потерь в 2022 году по экологическим показателям качества территории, но она сама еще способна компенсировать потери с переходом к процессам регенерации, о чем свидетельствуют значимые показатели ПАН и вторичная нагрузка, и как следствие, повышение устойчивости на 55 % к 2023 году. Однако необходимо учитывать, что повышение энергетической эффективности в части доступности энергии для населения может повышать антропогенную нагрузку. Это требует реализации программ по снижению риска в сфере энергетики. Кроме того, в данном случае отдельно не учтены эффекторы по парниковым газам. Сохранность рекреационных функций имеет базовый уровень на первом этапе, но это не значит, что в этом направлении будет сохранена устойчивость, хотя годовая тенденция положительна. В идеальном случае, профиль должен стремиться к окружности до внешнего периметра.

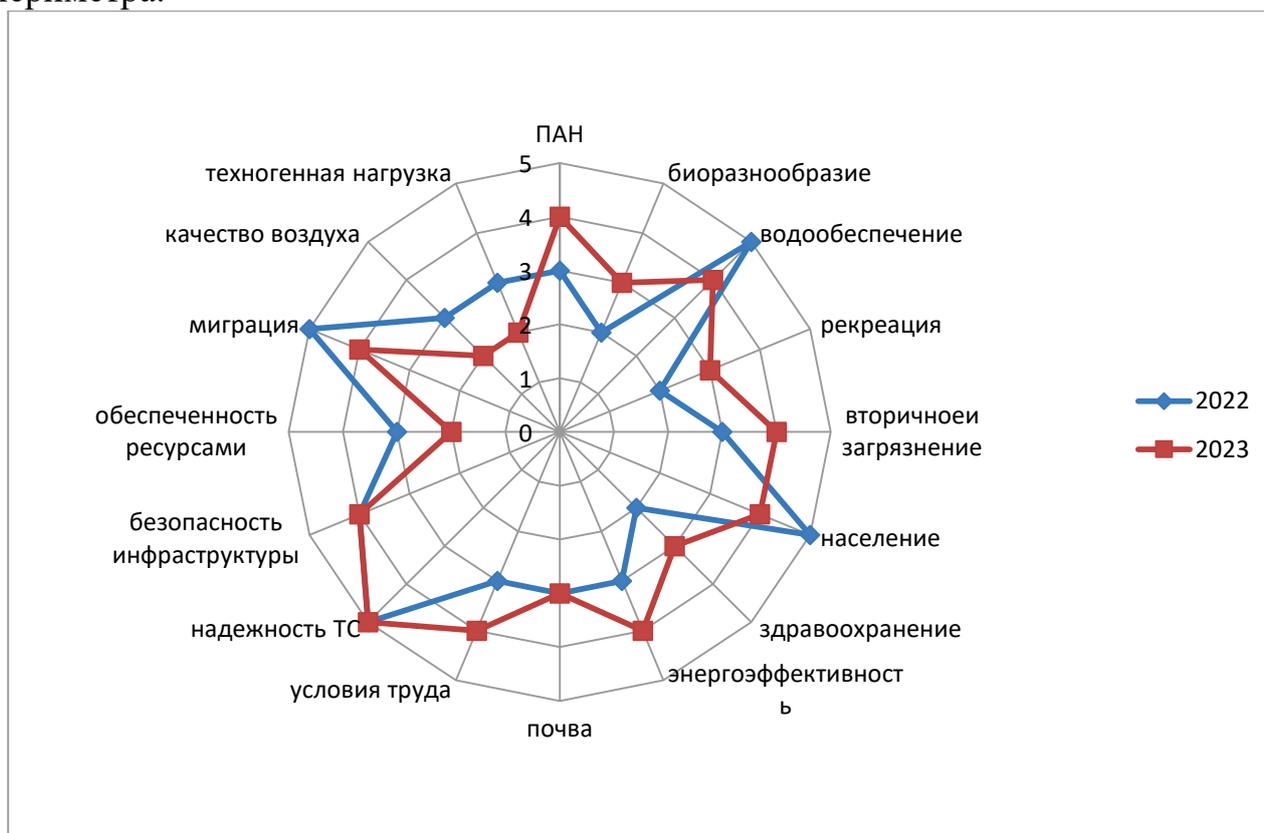


Рисунок 5.3 – Пример построения профиля устойчивости ПТС по балльной системе оценки с учетом приоритетных показателей

Данный пример является доказательством того, что классическое понятие «шагреновой кожи», описанной Оноре де Бальзаком, остается актуальным, и сегодня в системе управления ПТК любой проект и необоснованные потребности бизнеса с экологической точки зрения неминуемо приведут к

финалу, описанному в одноименном романе. Все позиции и компоненты ПТС должны быть взаимосвязаны и не противоречить нормальному функционированию системы в целом. Система эколого-социально-экономических ограничений и стремление к «отличному» состоянию всех компонентов многоуровневой системы для безопасности и комфортности природопользователей в этой искусственно созданной ПТС является условием ее устойчивого состояния.

Это еще раз говорит о том, что трилемма в отдельности работать не может, и требуется более качественная оценка эколого-социальных аспектов функционирования ПТС.

Такие профили могут быть использованы как для ПТС в целом, так и для структурных элементов для отработки возможных режимов их устойчивого функционирования.

При выполнении индивидуального практического задания необходимо продемонстрировать навыки расчета и умение выбирать значимые показатели для анализа устойчивости по доступной информации по мониторингу ПТС.

### **5.3. Формирование индекса качества городских агломераций и его использование в системе управления ПТС**

Учитывая, что для ряда территорий имеются особые зоны с высокой степенью преобразованности (ранг 8–9), к ним относятся городские агломерации, и на этих территориях иначе оцениваются критерии социально-экономического развития и экологическая устойчивость этих объектов.

Городская среда сегодня должна характеризоваться совокупностью сохраненных зон ландшафта, природных и исторически искусственно созданных зон культурного наследия в сочетании с архитектурно-планировочными экологичными новыми пространствами и решениями по организации социальных, промышленных и других объектов, смягчающих антропогенную нагрузку урбанизированной территории и формирующих среду жизнедеятельности города на определенной территории с определенным уровнем комфортности проживания.

Учитывая тот факт, что значительная часть населения проживает в городских агломерациях различного уровня (от городов миллионников до малых городов с численность до 5 тыс. человек) и реагирует на систему государственного управления качеством услуг. Эта информация входит в обратную связь в виде приема/отрицания ее по качественным индексам среды проживания. Система формирования оценки индекса соответствующего города происходит путем сбора (создания) информации самим населением, поэтому позиция рейтинга и его поддержание на высоком уровне со стороны горожан и бизнеса имеет существенное значение для социально-экологической устойчивости и привлекательности территории, а также принятия и поддержки политики его руководства в реализации национальных проектов.

Индекс города представляет собой цифровое значение (в баллах) состояния городской среды, полученное в результате комплексной оценки количественных и поддающихся измерению индикаторов, характеризующих уровень комфорта проживания в соответствующем городе. Для объективности оценки уловления этих агломераций используется единая система оценок, которая утверждена распоряжением правительства РФ в виде методики формирования индекса качества городской среды (Распоряжение № 510-р от 23.03.2019).

На основании совокупности значений индикаторов определяются только два уровня качества городской среды, в отличие от других, более устойчивых в экологическом отношении ПТС.

Качество городской среды	Категория оценивания качества
Благоприятная городская среда	Количество набранных баллов составляет <b>более 50 %</b> максимально возможного количества баллов индекса города
Неблагоприятная городская среда	Количество набранных баллов составляет <b>менее 50 %</b> максимально возможного количества баллов индекса города

Целевым назначением формирования индекса качества городских агломераций является:

- определение текущего состояния городской инфраструктуры и определение мероприятий по локализации проблем с переходом на устойчивое состояние функционирования;
- формирование системы мониторинга процессов реализации программ развития городской среды и вовлечение заинтересованного населения в процесс управления конкретными территориями;
- подготовка отчетных материалов на различных уровнях управления ПТС;
- ранжирование уровня жизни по регионам;
- реализация принципов открытости работы органов власти в сфере развития городской среды с оценкой эффективности их работы в этой сфере;
- стимуляция населения и бизнеса в реализацию мероприятий по комплексному благоустройству территорий.

Индекс городской среды формируются несколько иначе, чем индексы качества ОС. Для их формирования используются следующие подходы:

- значения индикаторов рассчитываются ежегодно на основе данных за отчетный период по состоянию на 1 января текущего года Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, кроме данных о численности населения города, которые учитываются 1 января года, предшествующего году проведения;
- для расчета индикаторов используется только актуальная, достоверная и верифицируемая информация;
- доступ к информации об индексах городов – свободный для неопределенного круга лиц;

- оценка индикаторов осуществляется по перечню показателей на основе комплексного анализа по аналогии с системными исследованиями, приведенными выше, позволяющими получить наиболее значимые составляющие для городской среды;
- используются только рассчитываемые индикаторы, исключая субъективный характер оценки и обеспечивающие их достоверность и объективность.

Для расчета индикаторов используются данные, содержащиеся в государственных информационных системах и других открытых источниках, например, «Фонд развития территорий». Индекс города определяется на основании суммы значений всех индикаторов.

В данном виде оценок используется также балльная система. Индикаторы города оцениваются по шкале от 1 до 10 баллов, где 1 шаг соответствует 1 баллу. 1 балл означает минимальное значение, 10 баллов – максимальное значение. По аналогии с балльной оценкой (глава 5.3).

Необходимо обратить внимание, что для ряда индикаторов, обозначенных позициями 1, 4, 7, 9, 30 и 31 в приложении 1 методики формирования индекса качества городской среды 1 балл означает максимальное значение, 10 баллов – минимальное значение.

Минимальные и максимальные абсолютные значения определяются после сбора данных для каждой группы из размерной и климатической групп.

Для каждого балла индикатора определяется пороговое значение вычисляемого шага одного балла.

Для наглядности расчетов целесообразно использовать стандартное программное обеспечение и для промежуточных расчетов составлять профиль показателя, если он имеет несколько весовых значений по аналогии с рис. 5.3.

Пороговое значение вычисляемого шага 1 балла ( $x_N$ ), которое рассчитывается как разница между максимальным значением в массиве данных и минимальным значением в массиве данных, разделенная на количество шагов условной шкалы, определяется по формуле:

$$x_N = \text{Min} + (N \times (\text{Max} - \text{Min})) / (A - 1), \quad (5.36)$$

где  $\text{Min}$  – минимальное значение в массиве данных;  $N$  – порядковый номер шага шкалы;  $\text{Max}$  – максимальное значение в массиве данных;  $A$  – количество баллов, являющееся максимально возможным для соответствующего индикатора (показателя, входящего в состав индикатора).

Для устранения статистических выбросов: максимальное значение в массиве данных ( $\text{Max}$ ) определяется по формуле:

$$\text{Max} = Q_3 + 1.5 \times (Q_3 - Q_1), \quad (5.37)$$

где  $Q_1$  – значение нижнего квартиля по выбранным абсолютным значениям;  $Q_3$  – значение верхнего квартиля по выбранным абсолютным значениям; минимальное значение в массиве данных ( $\text{Min}$ ) определяется по формуле:

$$\text{Min} = Q_3 - 3 \times (Q_3 - Q_1). \quad (5.38)$$

Эти расчеты используются как максимальные и минимальные значения для расчета баллов по группе. Любые абсолютные значения, выше Max, автоматически являются по индикатору (10 баллов), а любые абсолютные значения ниже Min, автоматически являются оценкой по индикатору (1 балл). Корректировка абсолютных значений осуществляется при наличии статистических выбросов в совокупности данных.

Нулевое значение (0 баллов) по индикатору выставляется в случаях, если отсутствуют данные об индикаторе, а также в случае выявления недостоверных данных.

Весь перечень индикаторов для расчета индекса качества городской среды с формулами и алгоритмом расчета приведен в приложении 1 методических рекомендаций с учетом изменения на 20.09.2023 года.

Этим материалом необходимо воспользоваться для оценки городской среды при выполнении ИДЗ по этой теме.

## 6. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ ЧЕРЕЗ УПРАВЛЯЕМЫЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Термин «циркулярная экономика» прочно входит в экономическую теорию. Целью такого типа экономической деятельности является создание максимально замкнутых технологических схем производства и потребления по аналогии механизма функционирования природных биогеоценозов (*экономика замкнутого цикла* ЭЗЦ). Эти принципы на территории России могут быть реализованы только лишь при отказе от спекулятивной экономики линейного типа и при целенаправленном создании *управляемых природно-технических систем* в различных климатических зонах с национальным колоритом.

*Управляемая природно-техническая система УПТС* – особый симбиоз взаимосвязанных природных, природно-технических и промышленных (технических) и урбанизированных (антропогенных) объектов, функционирование которых можно целенаправленно изменять под конкретные цели ответственного природопользователя на определенной территории. Независимо от степени преобразованности ландшафта, владелец участка и ТС на нем вносятся в реестр объектов негативного воздействия регионального или федерального значения с присвоением ему соответствующей категории в соответствии с постановлением правительства РФ (Постановление № 2398 2020).

Любое предприятие, независимо от его размера, все равно остается частью иерархической системы ПТК, где границы одного комплекса могут плавно или резко переходить в другой или граничить с естественным особо охраняемым ландшафтом или его частями.

Для создания или перевода ПТС в управляемое состояние необходимо соблюдение двух важных условий.

В системе необходимо наличие хотя бы одного технически значимого элемента, обладающего *регуляторными функциями*. Этот объект, называемый *регулятором ПТС*, может контролировать состояние других элементов, не допуская ухудшения их состояния и защищая от неблагоприятных воздействий в экстремальных ситуациях.

В настоящее время в зависимости от способа создания и функционирования ПТС эти регуляторы можно условно разделить на две категории:

- регуляторы, которые изначально специально создаются с целью основного регулирования условий окружающей среды и сохранения благоприятной экологической ситуации, так называемые *специализированные управляемые ПТС*;
- регуляторы, которые вписываются в действующую систему для выполнения экологической оптимизации инженерно-технической системы; сооружения и объекты, первоначально созданные с иными целями (определение функций объектов реконструкции), так называемые *оптимизационные управляемые ПТС*.

Следует отметить особые зоны урбанизированных территорий и зоны особо охраняемых территорий – это «**Исторические природно-технические системы**» (**ИПТС**), которые представляют собой особую категорию управляемых ПТС в современных условиях. В регулирование таких систем входит задача сохранения памятников истории и культуры в совокупности со свойственной им окружающей средой. Этой деятельности придается особое внимание в рамках государственного регулирования, о чем свидетельствует действующая нормативно-правовая база РФ (ФЗ № 73-ФЗ; ГОСТ Р 70630-2023 и др.) В качестве разновидности можно привести системы гидротехнических сооружений в виде фонтанов в комплексе с садово-парковым ансамблем или объекты культурного наследия в виде промышленной застройки, например, ансамбль «Комплекс построек Бумажной фабрики Варгуниных», основанной в 1839-1840 годах и ожидающей нового импульса для культурно-технического развития на новом технологическом уровне организации управляемой ПТС регионального значения.

В системной инженерии зависимые от регулятора ПТС элементы являются **стейкхолдерами (stakeholder)**. В период активного развития искусственного интеллекта процессы принятия технических решений в управлении ряда функций достаточно хорошо реализуемы. Состав стейкхолдеров может быть весьма разнообразен и зависит от видов хозяйственной деятельности в рамках ПТС, например, если регулятором ПТС является лесопромышленный комплекс, то к числу стейкхолдеров можно отнести некоторые элементы природной среды (участки водозаборов / водовыпусков, участки леса для заготовки сырья, выбросы в атмосферу с системой организации САК). Одновременно к стейкхолдерам данной ПТС относятся все хозяйствующие субъекты, использующие сырье и продукцию ЛПК. Эти предприятия получили название **интегрированные** по соподчиненности процессов.

Следует отметить, что соблюдение только наличия регулятора ПТС достаточно для формирования не управляемой, а **регулируемой ПТС**. **Управляемая ПТС** возникает в том случае, когда связь между регулятором ПТС и зависимыми от него стейкхолдерами приобретает устойчивый, постоянный характер, а их деятельность объединяется общей целью взаимосвязанных процессов по принципу ценоза. Соподчиненность элементов в иерархической цепи ПТС сопровождается созданием и сохранением благоприятной среды для существования и деятельности всех элементов системы, обеспечивая ей устойчивое состояние.

Необходимо четко различать некоторое отличие между регулируемыми и управляемыми ПТС. Оно заключается в том, что регулируемые ПТС позволяют контролировать ситуацию, и при этом не позволяют ей выйти за определенные границы; управляемые ПТС направлены на манипуляцию ею, гибкое подстраивание под ограничивающие условия. Подобное различие весьма условно, но оно является достаточно важным для перспективного их развития. Переход потенциально регулируемых ПТС в управляемые системы является основой для реализации механизма управляемого техногенеза. Для обозначения этой системно спланированной деятельности используется термин «экологическая оптимизация регуляторов ПТС».

## 6.1. Обобщенный вариант процесса создания экологически управляемых ПТК и их совмещение с цифровой платформой

Обобщенный вариант процесса создания управляемых ПТС (А. Л. Суздалева, 2016) предлагает представить в виде обобщенной схемы, включающей следующие последовательно выполняемые этапы:

- 1 этап. Создание экологического регулятора УПТС.
- 2 этап. Установление основных параметров управляемой системы и подсистем ПТК.
- 3 этап. Субъективизация элементов управляемых объектов ПТК.
- 4 этап. Формирование управляемых ПТС.
- 5 этап. Разработка механизма комплексного взаимодействия управляемого ПТК с аналогичными системами.

Все эти этапы природоохранной деятельности ПТС, как правило, формируются на стадии проектирования для любого объекта хозяйственной деятельности (нового или проходящего реконструкцию).

На первом этапе проводится экологическая оптимизация инженерно-технического объекта в общей иерархии соподчиненности элементов и выбирается тот или те, которые способны выполнять данную функцию. Часто целесообразна разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих устойчивое сохранение технологического процесса и сохранение благоприятной экологической ситуации (на объекте и за его пределами).

*Экологический регулятор* может быть:

- *индивидуальным*, т. е. представляющим собой единый объект – центральное звено, от которого зависят все остальные элементы УПТС. Его нельзя разделить на несколько частей, выполняющих в полном объеме функцию экологического регулятора. Примером может служить комплекс очистных сооружений градообразующего предприятия ЛПК, от режима работы которой зависит обширный комплекс объектов в водоохранной зоне и нижнем бьефах, а также на прилегающей территории;
- *групповым*, состоящим из группы технологически связанных объектов, которые могут играть роль нескольких самостоятельных экологических регуляторов или объединяться, составляя единый регулятор (например, система водозабора из поверхностного источника, хранение сырья и поставка с территории водосбора водного объекта);
- *комплексным*, при котором управление ПТС происходит в результате работы объектов, которые между собой, на первый взгляд, технологически не связаны, но их скоординированная деятельность, управляемая из единого центра, выполняет функцию экологического регулятора (параметры, объекты мониторинга эмиссий загрязняющих веществ, входящие в КЭР через систему САК с обратным механизмом). В качестве другого примера можно привести систему комплекса городских служб и функционирование коммунальных объектов, обеспечивающих их стабильность в обеспечении благоприятной экологической ситуации в урбанизированной зоне городской агломерации.

Второй этап характеризуется установлением параметров граничных условий функционирования УПТС при обеспечении функционального назначения, выполняемых ее регулятором. Размеры зоны значимого воздействия регулятора могут изменяться в зависимости от периода эксплуатации и внешних факторов (например, фона). Поэтому границы УПТС необходимо фиксировать, включая в нее только территорию, в пределах которой регулятор, с высокой долей вероятности, способен выполнять свои задачи (например, природоохранную и средозащитную функции в рамках ответственности и территориальных разграничений). Эту задачу регулятора можно обозначить как «средозащитная функция».

На 3 этапе, в соответствии с правилами организации экологического менеджмента, устанавливается круг юридических лиц (субъективизация), ответственных за объекты хозяйственной деятельности («стейкхолдеры»), являющиеся элементами УПТС и обязанные выполнять требования в части безопасности этих объектов и сохранения благоприятных экологических условий на участках их размещения. Все объекты на конкретной территории подлежат внесению в реестр, в том числе это распространяется и на участки природной среды, находящиеся в границах УПТС и становящиеся ее элементами, если даже не имеют на ней ТС.

На 4 этапе предусматривается разработка механизма взаимодействия между элементами УПТС, преимущественно между руководством ее экологического регулятора и стейкхолдерами. В основе их взаимоотношений могут лежать различные процессы и явления. Это самый сложный и ответственный процесс для любой УПТС. Упорядочение отношений требует выработки обобщенных критериев, дающих возможность оценить масштаб и функции регулятора. Сложность заключается в том, что такой критерий должен быть применим к самым различным категориям объектов от основных и вспомогательных цехов ЛПК до водного объекта. Исходя из смысла поставленных задач, критерий должен отражать связь компонентов системы в единое целое, характеризовать степень зависимости регулируемых объектов от регулятора. Для этой цели предлагается использовать показатель «индекс зависимости-уязвимости» (ИЗУ), отражающий реальную и/или потенциальную зависимость влияния регулятора на выход процесса, осуществляющегося на конкретном объекте. Как показывает практика, это могут быть различные показатели процессов, выраженные в балльной оценке, о которой говорилось в гл. 5. По сути, они закладываются на анализ ряда показателей в системе рейтингов ESG-подхода и входят в блок социально-экологического комплекса этих оценок (см. гл. 4).

Разработка механизма взаимодействия УПТС с аналогичными системами является пятым – завершающим этапом создания такого типа систем. Результатом может стать создание комплексного регулятора функционирования ЛПК как управляемой ПТС, совмещенной с системой «умного города». Другие примеры решения этой задачи будут рассмотрены в части курса УПТК при организации бассейновых принципов управления ПТК.

## 6.2. Совмещение управляемых ПТК с цифровой платформой как этап перехода к экономике замкнутого цикла

Практика разработки и управления кластерами при организации ПТК в сочетании с прогнозированием уровня потребления и нагрузки на окружающую среду, с цифровым сопровождением этих процессов показывает реальность перехода к экономике замкнутого цикла (ЭЗЦ) для России. Принципы циркулярной экономики необходимо использовать при формировании зон современного промышленного развития регионов и создания новых *искусственных управляемых ПТС*. Суть организации этих систем заключается в том, что основной объект ПТС (например, градообразующее промышленное предприятие) должен максимально эффективно использовать энергию, сырье, материалы и ресурсы (в том числе людские) и при этом минимизировать образование потерь, выбросов, сбросов и отходов, а место проживания персонала и населения в зоне влияния ТС должно быть организовано по принципу «умного дома – умного города». В этой сквозной системе важным этапом является управление вторичным сырьем и отходами, которое требует разработки дополнительных технологических циклов с вовлечением в хозяйственный оборот на конкретных предприятиях или дочерних структурах региона с помощью использования современных/типовых технологий. Примером успешной переориентации российской экономики (В. С. Петросян и др., 2021) от линейной модели потребления ресурсов к модели ЭЗЦ является опыт реорганизации промышленного узла в г. Новотроицк по объединению предприятий различных отраслей.

Внедрение платформы управления территорией с применением технологии интеллектуальной поддержки типа «умный город» с принятием решений и модели прогнозирования событий апробирован на одном из объектов управляемой ПТС в Ленинградской области и показал применимость таких решений и рекомендован к тиражированию.

*УПТС* совмещается с *цифровой платформой управления территорией*, которая представляет собой ситуационный центр для управления поселением, городом или целым регионом. Информационно-аналитическая система (например, программный продукт Sitronics Group) повышает эффективность управления за счет сервисов, предоставляющих объективную информацию по ключевым направлениям.

Для городской среды это следующие позиции, которые фактически определяют основные индикаторы её качества: анализ реализации региональных и госпрограмм, ситуации в сферах конкретных экономических показателей, строительства, энергетического блока и ЖКХ, здравоохранения, образования, социальной защиты населения и т. д.

Для внедрения цифровой платформы управления территорией особенно важно усиление роли *государственного регулирования* и планирования промышленного развития. Основные направления экологической и промышленной политики РФ и их поэтапная реализация сопряжена с системной модернизацией промышленности, обеспечивающей повышение экологической эффективности с сокращением НВОС

от прямых производственных эмиссий, а также при сокращении отходов с использованием вторичных материалов производства в хозяйственном ресурсном цикле. Система реформирования охватывает практически все объекты хозяйственной деятельности, которые сегодня ранжированы и поставлены на учет по уровню НВОС и формируют костяк конкретных ПТК.

Особое место в процессе перехода к циркуляционной экономике занимают крупные объекты первой категории НВОС, которые в системе реформирования экономического развития должны относиться к УПТС, которые регламентируют безопасное развитие технических объектов в симбиозе с окружающей средой и сохранением биоразнообразия. Методология разработки систем замкнутого производственного цикла на примере ЛПК рассматривались достаточно давно, начиная с работ В. Ф. Максимова. Основные технологии и взаимосвязанные с ними природоохранные технологии входят в современные информационно-технические справочники по НДТ (ИТС НДТ) для этой отрасли и систем очистки бытовых сточных вод и в настоящее время.

Важным инструментом в системе реализации экологической и промышленной политики государства является введение комплексного экологического разрешения (КЭР) для объектов первой категории НВОС, которые, как правило, являются ресурсоемкими и интегрированными предприятиями, что уже определяет первоначальные условия создания ЭЗЦ регионов. Они часто бывают градообразующими предприятиями и замыкают на себя значительный сектор решения социально-экологических проблем.

Основная информация для КЭР собирается на базе результатов ПЭК при системной организации производственного процесса. В разработку программы ПЭК в перспективе должна быть включена *система автоматического контроля (САК)* с модулем по *программному обеспечению для метролога* (например, МерСИ) в качестве современного и оптимизированного веб-сервиса по системе технического обслуживания измерительной техники.

Все это является важным элементом для перехода к цифровой, плановой экономике замкнутого цикла. В состав КЭР входит в обязательном порядке при несоответствии основных процессов производства и обезвреживания выбросов, сбросов технологиям НДТ программа повышения экологической эффективности. Она включает в себя перечень перспективных технологий, мероприятий по реконструкции, техническому перевооружению объектов НВОС, в которые и должны быть внесены новые экологические регуляторы для существующей системы в целом с переводом ее в категорию УПТС.

Для реализации сбора всех необходимых данных, ранжирования по значимости и анализа повторяемости при создании многофункциональной задачи по отработке управленческих решений используется потенциал искусственного интеллекта, который оперирует большими объемами данных для обработки и анализа информации с помощью различных методов, в том числе машинного и глубокого обучения. После обработки система создает модель для прогнозирования событий, которая позволяет специалистам из управляющего звена ПТК принимать эффективные и ответственные решения.

Сегодня на рынке представлены проекты управления ПТК в рамках концепции «умного города» во многих регионах страны. Они охватывают разные сферы жизни – от интеллектуального управления транспортом и городским хозяйством до создания зарядной инфраструктуры для электромобилей и собственного производства городского водного электротранспорта. Системы умного управления технологическими процессами не отстают по ряду отраслей промышленности на конкретных площадках. Остается не до конца разработанным процесс ресурсного цикла, который и определяет устойчивое развитие регионов и страны в целом и напрямую зависит от продуктивности ландшафта, который трудно поддается изменениям в определенных климатических зонах.

Включение цифровой платформы управления социально-экономическим развитием территории в перечень эффективных практик в «умном городе» осталось совместить с системой экологического мониторинга и управления выбросов и сбросов, по ресурсному циклу, по иерархии объектов в структуре ПТК, и может быть запущена модель УПТС для адаптации на новом уровне.

В системе организации УПТК в качестве элемента, обладающего регуляторными функциями, следует отнести ландшафт. И обязательное его планирование, целью которого является разработка интегральной концепции устойчивого развития территории, с учетом функции сохранения ее природного потенциала и восстановления после нагрузки будет связано с другими экологическими регуляторами.

Подготовка документов территориального планирования ПТК выполняется в соответствии с программой социально-экономического развития конкретного субъекта РФ, где планируется построить конкретный объект. Работа выполняется в соответствии с методическими указаниями по подготовке проектов схем территориального планирования (Приказ № 169, 2013) субъектов РФ. Документ при подготовке к семинару необходимо проработать самостоятельно для выполнения ИДЗ.

Подготовка документов территориального планирования осуществляется на основании стратегий и программ развития отдельных отраслей экономики, инвестиционных программ субъектов естественных монополий.

Для получения концептуального представления о планируемой территории субъекта РФ целесообразно разработать модель ее пространственной организации (рис. 6.1) с выделением укрупненных зон интенсивного, экстенсивного и ограниченного развития территории, отличающихся степенью воздействия на окружающую природную среду.

Оценку состояния природно-ресурсного комплекса проводят для выявления потенциальных возможностей с конкретными экологическими ограничениями для допустимого развития природопользования и укрупненной оценки возможных направлений использования территории.

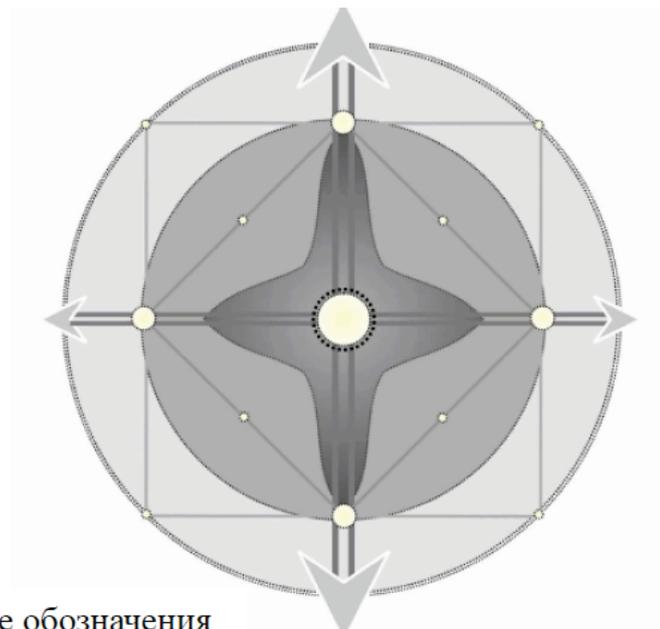
В систему анализа состояния и использования территории входит работы по выявлению ареалов с нарушенными природными экосистемами, наличие ООПТ или территорий, ценных в экологическом, рекреационном и природоохранном аспектах на базе инженерно-экологических изысканий. Все это выполняется для

моделирования экологического каркаса территории, необходимого для устойчивого ее развития, недопущения или снижения негативного воздействия от планируемых объектов негативного воздействия регионального значения и разработки мероприятий (или технологий) по обеспечению благоприятных условий жизнедеятельности человека, включая объекты бизнеса по сбору и переработке отходов с данной территории.

Реализация выше указанных принципов обеспечивается формированием системы каркасов территории (рис. 6.1) на основе сбалансированного учета фундаментальных внешних условий и ограничений развития территории:

- экономический каркас, формируется планировочными осями и центрами I и II ранга (территориально-производственные комплексы, промышленные узлы, кластеры различного профиля, индустриальные парки, центры инновационного развития, крупные объекты инженерно-транспортной инфраструктуры и т.д.);
- социальный каркас, формируется центрами расселения (центры административного, организационно-хозяйственного, культурно-бытового обслуживания в области образования, здравоохранения, социального обеспечения, физкультуры и спорта – центры систем расселения разного ранга, формируемые на основе наиболее развитых и удобно расположенных по доступности городских и сельских населенных пунктов);
- экологический каркас, формируется территориями с особым природоохранным статусом (особо охраняемые природные территории, лечебно-курортные и рекреационные местности, водоохранные зоны, лесозащитные полосы, зеленые зоны городов и др.) что обычно воспринимается как зоны спальных районов.

Эти каркасные зоны имеют условный характер, но они пришли в градостроительную практику в период интенсивного жилищного строительства СССР и постоянно совершенствуются в условиях современных взаимоотношений между всеми природопользователями и ориентируют на развитие социально ответственного бизнеса на современном этапе развития РФ.



Условные обозначения

#### Планировочный каркас

1 планировочные оси  
и центры



1 ранг

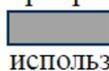


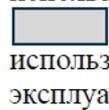
2 ранг



3 ранг

II зонирование территории по интенсивности и  
приоритетным направлениям использования:

 Зона интенсивного многопрофильного  
использования территории

 Зона экстенсивного многопрофильного  
использования территории (преимущественно  
эксплуатация природных ресурсов);

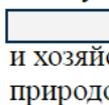
 Зона ограниченного градостроительной  
и хозяйственного освоения с приоритетом  
природоохранной деятельности

Рисунок 6.1 – Схема формирования каркаса территории

«Идеальная модель» развития территории субъекта РФ, сформированная системой экономического, социального и экологического каркасов, позволяет создать благоприятные условия жизнедеятельности человека, обеспечить инфраструктурные условия развития и диверсификации экономики, в т.ч. формирование зон опережающего развития разного вида и «точек роста», обеспечить рациональное использование природных ресурсов и сохранение ценных природных комплексов, а также позволяет прогнозировать рациональное, экологически сбалансированное развитие различных частей территории.

Для выполнения ИДЗ по дисциплине необходимо проанализировать специфику формирования каркаса конкретной выбранной территории с учетом оценки устойчивости этой территории к антропогенной нагрузке, в том числе от предыдущей хозяйственной деятельности.

Необходимо отметить, что планировочные ранги по рассматриваемой территории со значениями ранга по преобразованности территорий (см. гл. 3) не совпадают и по значениям имеют зеркальное отражение, что необходимо учесть при построении профиля территории по нагрузкам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Долгое время, до активного реформирования природоохранной деятельности на территории России, которая поэтапно проводится с 2014 года, этот вид деятельности рассматривался по остаточному принципу в системе построения экономической рыночной модели, и бизнесу было невыгодно заниматься социально-экологическими аспектами планирования территории. Сегодня ситуация существенно меняется, и предприниматель может выбирать свою стратегию, опираясь на анализ затрат и результатов. Однако все экологические параметры деятельности, являющиеся для бизнеса внешними, сегодня становятся регуляторами развития территории, на которой расположен этот бизнес, и приходится менять подход к системе организации и ведения бизнес-планов, преимущественно на стадии предоставления инвестиций.

Экологическая система формирования регуляторов нового типа и обоснование их действия при организации управляемых территорий становится основной задачей при переходе к устойчивому развитию конкретных регионов.

Необходимость рационального использования ландшафтов, оставленных нам предками, требует сбалансированного экологически осознанного управления природными процессами с недопущением и устранением негативных последствий антропогенного воздействия на природу. Управление ТПК понимается как деятельность, направленная на изменение или поддержание заданного состояния природных систем согласно заранее поставленным целям. В пособии рассмотрены особенности поведения и деградации ландшафтов. В связи с этим определяется вид управляющей деятельности для ТПК: опережающее или оперативное управление. И в зависимости от этого необходимо научиться обосновывать и выбирать экологический регулятор для существующей или проектируемой УПТС.

Задачей перспективных ТПК опережающего управления является преобразование природных систем в *управляемые природно-технические системы* с улучшенными с точки зрения использования свойств. Опережающее управление природными системами включает: информационное обеспечение управления; прогнозирование изменений геосистем при различных формах использования и методах антропогенного воздействия; оценку изменений природных систем; проектирование природно-технических систем; эколого-географическую экспертизу проекта и осуществление проектных мероприятий.

Все эти вопросы подробно подлежат обсуждению на практических и семинарских занятиях, подготовка к которым предполагает внимательное изучение предлагаемого материала с учетом ссылок на дополнительные источники информации. Некоторые из направлений в системе экологического управления ТПК вынесены в самостоятельные курсы при подготовке магистров.

Система оценки изменения природных систем осуществляется с привлечением методической базы по оценке риска, который входит в следующий блок изучаемых дисциплин при подготовке специалистов по направлению 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль подготовки «Защита окружающей среды территориально-производственных комплексов».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, А. А. Урбоэкология: учебник / А. А. Александров, Е. В. Титов, В. А. Девисилов. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 2021. – 400 с. — ISBN 978-5-7038-5402-0. // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/123682.html> (дата обращения: 07.09.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. – Текст: электронный.
2. Васильев Ю. С., Ермилов В. В. Устойчивое развитие техносферы в системе природа – общество – человек: введение в проблему // Сетевое научное издание «Международный Журнал: @journal-urazvitie Устойчивое развитие: наука и практика»: Электронный ресурс. Статья в выпуске: 2 (7), 2011 года. Сайт: URL: <http://www.uzrazvitie.ru>. – Текст: электронный.
3. Декларация Генеральной Ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 г. «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» // [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420355765> (дата обращения 26.05.2024). – Текст: электронный.
4. Дмитриев В. В. и др. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // International journal of applied and fundamental research №9, 2017 – с. 110-114. – URL: (<https://s.applied-research.ru/pdf/2017/9/11837.pdf>) (дата обращения 20. 01.2024). – Текст: электронный.
5. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии: учебник для вузов / В. В. Добровольский. – М.: Академия, 2003. – 400 с. – Текст: непосредственный.
6. Дягилева, А. Б. Современные проблемы окружающей среды. Часть 1. Основные положения: учебное пособие / А. Б. Дягилева. – СПб: СПбГТУРП. – 2012. – 109 с. – Текст: непосредственный.
7. Дягилева, А. Б. Современные проблемы окружающей среды. Часть 2. Проблемы водных ресурсов: учебное пособие / А. Б. Дягилева. – СПб: СПГУПТД. – 2016. – 125 с. – Текст: непосредственный.
8. Коротченко, И. С. Урбоэкология и мониторинг: учебное пособие / И. С. Коротченко. – Красноярск: КрасГАУ, 2021. – 159 с. // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/225155> (дата обращения: 10.02.2024). – Текст: электронный.
9. Кочуров, Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории / Б. И. Кочуров. – Смоленск: СГУ, 1999. – 154 с. – Текст: электронный.
10. Косарева, Н. Б. Экономическая урбанизация [Текст] / Н. Б. Косарева, Т. Д. Полиди, А. С. Пузанов. – М.: Фонд «Институт экономики города», 2018. – 418 с. // [сайт]. – URL: [https://urbanecomics.ru/sites/default/files/hse2018iue\\_econurban.pdf](https://urbanecomics.ru/sites/default/files/hse2018iue_econurban.pdf). – Текст: электронный.

11. Критерии зеленых проектов государств – членов Евразийского экономического союза. ЕЭК–2023. // [сайт]. – URL [https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/df7/Kriterii-dlya-opublikovaniya-Modelnaya-taksonomiya\\_.pdf](https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/df7/Kriterii-dlya-opublikovaniya-Modelnaya-taksonomiya_.pdf). – Текст: электронный.
12. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. МПР, 1992. // [сайт]. – URL: (<https://docs.cntd.ru/document/901797511>) (дата обращения 2.02 2024). – Текст: электронный.
13. Модельная методология ESG-рейтингов, М, 2023. // [сайт]. – URL [https://cbr.ru/Content/Document/File/144085/Consultation\\_Paper\\_17012023.pdf](https://cbr.ru/Content/Document/File/144085/Consultation_Paper_17012023.pdf). – Текст: электронный
14. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М.: Географгиз, 1961. – 496 с. // [сайт]. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006222626>. – Текст: электронный.
15. Петросян, В. Опыт создания промышленного симбиоза предприятий химической промышленности / В. Петросян, И. Тихонова, А. Епифанцев, К. Щелчков, Е. Цветкова. Экология и промышленность России, 2021. – 25(8):28-33. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-28-33>. – Текст: электронный.
16. Платонова, В. С. Геоэкономическая оценка районов угледобычи на примере новокузнецкого района Кемеровской области // В. С. Платонова, Т. О. Стрельникова, В. В. Скрибко и др. География и природные ресурсы, 2019. – № 1. – С. 156–167. // [сайт]. – URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/ed4/ed4006ef74ea947bc1a7bd5561acc495.pdf>. – Текст: электронный.
17. Постановление № 2398 от 31 декабря 2020 г. правительства РФ «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий. // [сайт]. – URL: <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/9fb/Постановление%20от%2031.12.2020%20№2398.pdf>. – Текст: электронный.
18. Приказ № 371 Минприроды России от 27.05.2022 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения: 17.05.2024). – Текст: электронный.
19. Приказ № 630 МЭ от 03.08.2018 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542630877> (дата обращения 25.05.2024). – Текст: электронный.
20. Приказ № 106 МПРиЭ РФ от 17.02.2022 «Об утверждении методики определения высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728307242#6580IP> (дата обращения 27.01.2024). – Текст: электронный.

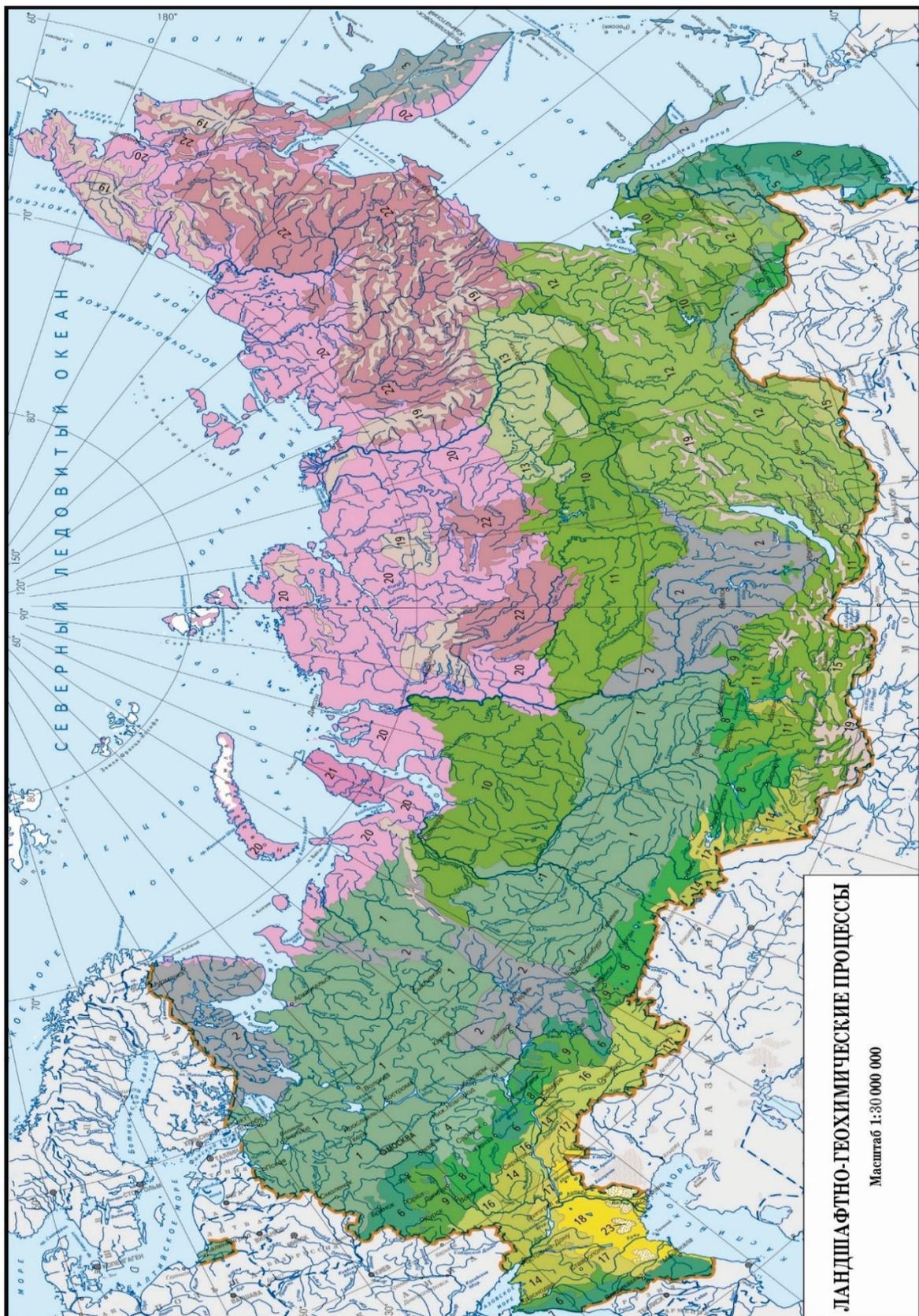
21. Приказ № 132 от 23.03.2017 МЭР «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054578> (дата обращения 27.05.2024). – Текст: электронный.
22. Приказ № 169 от 19.04.2013 года Министерства регионального развития РФ) «Об утверждении Методических рекомендаций по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499017648> (дата обращения 8.02.2024). – Текст: электронный.
23. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2024 год и плановый период 2025-2026 годов. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/310e9066d0eb87e73dd0525ef6d4191e/prognoz\\_socialno\\_ekonomicheskogo\\_razvitiya\\_rf\\_2024-2026.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/310e9066d0eb87e73dd0525ef6d4191e/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_2024-2026.pdf). – Текст: электронный.
24. Распоряжение ПРФ № № 207-р от 13.02.2019 года «Об утверждении стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» (с изменениями на 30 сентября 2022 года). // [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/552378463>. – Текст: электронный.
25. Распоряжение № 510-р от 23.03.2019 Правительства РФ (ред. от 20.09.2023) «Об утверждении Методики формирования индекса качества городской среды» // [сайт]. – URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-23032019-n-510-r/> с изменениями на 20.09.2023 г. (дата обращения 3.02.2024) – Текст: электронный.
26. Реестр типовой проектной документации // [сайт]. – URL: <https://www.npmaar.ru/possnips/ppp/312-reestr.html>. – Текст: электронный.
27. Реймерс, Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М: Мысль, 1990. – 637 с. – Текст: непосредственный.
28. Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии. – М: Наука, 1984. – 240 с. – Текст: непосредственный.
29. Светлосанов В. А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям. – М, 2009. – 100 с. – Текст: непосредственный.
30. Стадницкий, Г. В. Экология: учебник для вузов / Г. В. Стадницкий. – 9-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Химиздат, 2007. – 288 с. – ISBN 5-93808-128-9. // ЭБС «Консультант студента»: [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5938081289.html> (дата обращения: 10.02.2024). – Текст: электронный.
31. Стандарт деятельности МФК. Руководство Международной финансовой корпорации: Стандарты деятельности по обеспечению экологической и социальной устойчивости IFC, 2012. – С. 19. // <https://inveb-docs.ru/attachments/article/sd-library/08-2020-5/IFC-standarty.pdf>. – Текст: электронный.

32. Суздалева, А. Л. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов / А. Л. Суздалева, С. В. Горюнова. – М.: Энергия, 2014. – 456 с. – Текст: непосредственный.
33. Суздалева, А. Л. Создание управляемых природно-технических систем / А. Л. Суздалева. – М.: Энергия, 2016. – 160 с. – Текст: непосредственный.
34. Титлянова, А. А. Биологическая продуктивность травяных экосистем / А. А. Титлянова, Н. И. Базилевич, В. А. Снытко и др. Географические закономерности и экологические особенности / 2-е издание, исправленное и дополненное – Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. 110 ISBN 978-5-600-02350-5 DOI: <https://doi.org/10.31251/978-5-600-02350-5>). – Текст: электронный.
35. Устойчивое развитие 2023. Отражение ответственной деловой практики в индексах устойчивого развития: результаты проектов Российского союза промышленников и предпринимателей и Московской биржи // [сайт]. – URL ([https://rspp.ru/sustainable\\_development](https://rspp.ru/sustainable_development) (дата обращения 12.01.2024)). – Текст: электронный.
36. Филипчук, А. Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. Н. Югов. // Лесохоз. информ.: электронный сетевой журнал. – 2020. – № 1. – С. 92–113. URL: <http://dx.doi.org/10.24419/LNI.2304-3083.2020.1.10> (дата обращения 23.05.2024). – Текст: электронный.
37. Шищенко, П. Г. Прикладная физическая география / П. Г. Шищенко. – Киев : Выща школа, 1988. – 192 с. – Текст: непосредственный.
38. Чибилёв А. А. (мл.) Пространственная оценка уровня антропогенной нагрузки степных регионов России / А. А. Чибилёв (мл.), Д. В. Григорьевский, Д. С. Мелешкин // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2019. Т. 161. – Кн. 4. – С. 590–606. doi: 10.26907/2542-064X.2019.4.590-606. – Текст: электронный.
39. Экология и экономика природопользования: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям / Под ред. Э. В. Гирусова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 591 с. – Текст: непосредственный.
40. Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento europeo e del del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088 (Testo rilevante ai fini del SEE) // [сайт]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0852> ( дата обращения 27.05.2021) – Текст: электронный.
41. World Energy Trilemma Index // [сайт]. – URL: [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE\\_Trilemma\\_Index\\_2021.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Trilemma_Index_2021.pdf) ( дата обращения 26.05.2021). – Текст: электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Мигрирующие		Миграционно-аккумулятивные												
		Второстепенные					Ведущие, второстепенные							
Ведущие	Мигрирующие	Водные	Мерзлотные	Склоновые	Эоловые	Зоогенные	Детри-тогенез	Хелато-генез	Гумато-генез	Глее-генез	Окси-тогенез	Кальци-тогенез	Гало-генез	Пеплопады
1							+	+		+	+			
2				+			+	+		+	+			
3			+	+					+		+			+
4						+			+					
5							+		+		+			
6				+	+				+					
7				+					+		+			
8						+			+			+		
9				+		+			+			+		
10			+				+			+	+			
11			+				+		+		+			
12			+							+				
13			+						+		+		+	
14						+			+			+		
15			+						+			+		
16				+					+			+		
17						+			+			+		
18					+	+			+			+	+	
19		+		+										
20		+					+			+				
21		+			+		+			+				
22		+		+			+			+				
23		+												



Учебное издание

**Дягилева Алла Борисовна**

**Экологическое управление  
территориально-производственными комплексами**

**Часть 1**

*Учебное пособие*

Редактор и корректор Е. О. Тарновская  
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2024 г., поз. 5148/24

---

Подписано к печати 06.06.24.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 8,5.	Уч.-изд. л. 8,5.
Тираж 30 экз.	Изд. № 5148.	Цена «С». Заказ №

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,  
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.